

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 066**

51 Int. Cl.:

G21F 9/12 (2006.01)

G21F 9/16 (2006.01)

G21C 19/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09711778 .2**

96 Fecha de presentación: **17.02.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2253000**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.11.2010**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE DESCONTAMINACIÓN DE UN EFLUENTE LÍQUIDO RADIOACTIVO CON UNO O VARIOS ELEMENTOS QUÍMICOS RADIOACTIVOS MEDIANTE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO QUE IMPLEMENTA UN BUCLE DE RECICLAJE.**

30 Prioridad:
18.02.2008 FR 0851023

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.11.2011

73 Titular/es:
**Commissariat à l'Énergie Atomique et aux
Énergies Alternatives
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:
**PACARY, Vincent;
BARRE, Yves y
PLASARI, Edouard**

74 Agente: **de Justo Bailey, Mario**

ES 2 369 066 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de descontaminación de un efluente líquido radioactivo con uno o varios elementos químicos radioactivos mediante extracción sólido-líquido que implementa un bucle de reciclaje

Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento de descontaminación de un efluente líquido radioactivo que comprende uno o varios elementos químicos que hay que eliminar, dichos elementos siendo radionúclidos, dicho procedimiento haciendo intervenir una etapa de extracción sólido-líquido (o etapa denominada de co-precipitación).

Un procedimiento de este tipo encuentra su aplicación en particular en el re-tratamiento de efluentes líquidos radiactivos, en particular cargados en estroncio, rutenio, americio, plutonio, uranio o incluso en cesio.

Antecedentes de la invención

El tratamiento de descontaminación de efluentes líquidos, en particular de efluentes líquidos radiactivos, mediante co-precipitación se desarrolló en los años 60. Este consiste en introducir en el efluente líquido que hay que descontaminar unas partículas sólidas preformadas y/o unos reactivos precursores de dichas partículas, dichos reactivos reaccionando *in situ* en el efluente líquido que hay que descontaminar para formar dichas partículas. Estas partículas se seleccionan por su capacidad para captar y retener de forma selectiva dicho o dichos elementos que hay que eliminar. Entre las partículas sólidas susceptibles de captar y retener elementos metálicos, se pueden citar:

- las partículas de sulfato de bario aptos para captar y retener el estroncio;
- las partículas de hidróxidos de hierro y de cobre aptos para captar y retener el rutenio y los emisores α , como el americio, el plutonio y el uranio;
- las partículas de ferrocianuros de níquel y de cobalto aptos para captar y retener de forma selectiva el cesio.

El tratamiento de descontaminación se puede realizar de dos modos:

- un modo discontinuo, en el que únicamente se trata un volumen predeterminado de efluente líquido que hay que descontaminar introducido dentro de un reactor, en el que se introducen las partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos que hay que eliminar y/o los reactivos precursores de dichas partículas;
- un modo continuo, en el que se introduce dentro de un reactor de forma continua, con un caudal constante o variable, el efluente que hay que descontaminar, las partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos que hay que eliminar y/o los reactivos precursores de dichas partículas, la adición de las partículas y/o reactivos pudiendo realizarse en una cascada de reactores.

Ya sea mediante el modo discontinuo o continuo, al final del tratamiento en el reactor, se obtiene una suspensión de partículas sólidas que han captado los elementos que había que eliminar inicialmente presentes en el efluente líquido. El desenlace final del tratamiento consiste, a continuación, en realizar una etapa de separación líquido/sólido de forma general en un decantador. Esta etapa se puede simplificar añadiendo a la suspensión un agente coagulante y/o un agente floculante. La fase sólida que se recoge al final de esta etapa de separación (llamada en este estado "lodo") se considera entonces como un desecho final y se encierra de forma general dentro de asfalto o dentro de una matriz de cemento, antes de almacenarla. El líquido descontaminado, por su parte, se devuelve al medio ambiente, si su composición radiológica y química lo permite. Si no es así, se puede hacer que el líquido experimente, de nuevo, un tratamiento posterior de descontaminación.

Para los efluentes líquidos que presentan una elevada actividad o que no han experimentado más que una descontaminación parcial tras un tratamiento previo, puede resultar útil someter a estos efluentes a una nueva puesta en contacto con unas partículas sólidas complejantes de elementos químicos, lo que conduce, al final de la operación de tratamiento, a una cantidad del lodo generado multiplicada por el número de tratamientos necesarios y, por lo tanto, por último, a un importante volumen de almacenamiento.

El documento DE-3744699 enseña un tratamiento de descontaminación con ultrafiltración con la ayuda de membranas.

Existe, por lo tanto, la necesidad real de un procedimiento continuo de descontaminación de efluentes líquidos radiactivos, que permita limitar la cantidad de partículas sólidas que hay que utilizar para descontaminar un volumen de efluente líquido determinado, y esto con el fin de limitar el volumen de lodo de descontaminación que se obtiene al final del procedimiento de descontaminación y, de este modo, el volumen de confinamiento de los lodos que se obtienen preservando al mismo tiempo, e incluso mejorando, la eficacia de la descontaminación.

Descripción de la invención

De este modo, la invención se refiere a un procedimiento continuo de descontaminación de un efluente líquido radiactivo que comprende uno o varios elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, que comprende las siguientes etapas:

- una etapa de puesta en contacto, dentro de un primer reactor, de dicho efluente líquido con unas partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, mediante la cual se obtiene una suspensión de partículas sólidas que contiene dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar;

- una etapa de decantación dentro de un segundo reactor de dicha suspensión, mediante la cual se obtienen una fase sólida, que comprende las partículas sólidas que contienen dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, y una fase líquida empobrecida o despojada de dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar;

- una etapa de separación de dicha fase sólida y de dicha fase líquida;

que se caracteriza porque una parte de dicha fase sólida que se obtiene al terminar la etapa de decantación se inyecta de nuevo dentro del primer reactor para la puesta en marcha de una etapa de puesta en contacto tal y como se ha definido con anterioridad.

De este procedimiento que se aplica de nuevo se derivan las siguientes ventajas:

- para una cantidad determinada de elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, una mejora de la eficacia de la descontaminación sin un aumento de la cantidad de fase sólida generada, debido a la reutilización de una parte de la fase sólida para descontaminar el efluente líquido;

- al final, una disminución de los desechos sólidos, debido a la reutilización de una parte de la fase sólida para eliminar los elementos químicos radiactivos deseados;

- en consecuencia, una mejora de la eficacia de la descontaminación y/o una concentración de los elementos químicos radiactivos que hay que eliminar en un volumen de desechos sólidos más reducido.

Hay que especificar que por procedimiento continuo se entiende de forma habitual un procedimiento en el que las etapas se aplican sin interrupción, es decir que, en el momento t, un volumen de efluente líquido experimenta la etapa de puesta en contacto mientras otro volumen experimenta la etapa de decantación y de separación.

De acuerdo con la invención, el procedimiento comprende una etapa de puesta en contacto dentro de un primer reactor de dicho efluente líquido con unas partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, mediante la cual se obtiene una suspensión de partículas sólidas que contienen dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar.

Las partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos de la etapa de puesta en contacto son, de forma habitual, de acuerdo con el procedimiento de la invención, de dos tipos:

- una parte procede de un flujo continuo, dentro del primer reactor, de partículas no usadas (esto es, que aun no han experimentado ninguna etapa de puesta en contacto con el efluente líquido) y/o de reactivos aptos para generar mediante una reacción química dichas partículas; y

- la otra parte procede de la etapa de reinyección mencionada con anterioridad.

Debido a que el procedimiento de descontaminación es un procedimiento continuo, el primer reactor está alimentado, de forma habitual, a lo largo de todo el procedimiento, por un flujo de efluente líquido que hay que descontaminar y por un flujo de partículas y/o de reactivos, como los que se han mencionado en párrafos anteriores, una parte de flujo de partículas proviniendo de la etapa de reinyección.

El primer reactor puede comprender, de forma ventajosa, un dispositivo de agitación que permite garantizar la mezcla de los flujos entrantes y la homogeneización del contenido del reactor. En este caso concreto, el conjunto constituido por el efluente líquido y las partículas forma una suspensión, sin que haya sedimentación de las partículas sólidas dentro del primer reactor.

Debido a que los flujos entrantes son continuos, se puede producir la formación de un sobrante, en cuyo caso el procedimiento podrá comprender, de forma simultánea a la etapa de puesta en contacto, una etapa de evacuación del sobrante, por ejemplo, mediante desbordamiento.

Las partículas sólidas aptas para captar y retener el o los elementos químicos radiactivos que hay que extraer del efluente líquido se seleccionarán de tal forma que capten y retengan el o los elementos químicos radiactivos en cuestión. Los elementos químicos radiactivos se pueden seleccionar entre el estroncio, el rutenio, el cesio, los emisores α , como el americio, el plutonio y el uranio, y las mezclas de estos últimos. El procedimiento de descontaminación de la invención puede ser un procedimiento de descontaminación de efluentes líquidos radiactivos procedentes, por ejemplo, de instalaciones nucleares.

A modo de ejemplos, cuando el elemento químico es el estroncio, las partículas sólidas pueden ser partículas de sulfato de bario, de carbonato de bario, de carbonato de calcio, de hidróxido de hierro, de fosfato de calcio, de fosfato de hierro, de dióxido de manganeso, de dióxido de titanio o, de preferencia, de sulfato de bario.

Cuando el elemento químico es el rutenio o un emisor α , como el americio, el plutonio y el uranio, las partículas sólidas pueden ser partículas de hidróxido de hierro y de cobre.

Cuando el elemento químico es el cesio, las partículas sólidas pueden ser partículas de ferrocianuros de níquel y de cobalto, de tetrafenilborato y/o, de forma más general, unas partículas que presenten una estructura zeolítica. De preferencia, las partículas sólidas aptas para captar y retener el cesio son partículas de ferrocianuros de níquel y de cobalto.

Una vez realizada la etapa de puesta en contacto, el procedimiento de la invención comprende una etapa de decantación, esta etapa de decantación consistiendo de forma habitual en dejar en reposo, dentro de un reactor de tipo decantador, la suspensión que se ha obtenido en la etapa anterior, de tal forma que se obtenga una sedimentación de las partículas que han captado y retenido al o a los elementos químicos que hay que eliminar. De este modo, al final de esta etapa, se obtiene una fase que comprende dichas partículas en la parte inferior del decantador y una fase líquida sobrenadante empobrecida e incluso despojada de dicho o de dichos elementos químicos radiactivos que había que eliminar y, en consecuencia, de dicha o de dichas partículas sólidas.

La etapa de decantación, debido a que no hace intervenir a ninguna membrana, presenta la ventaja de no generar una contaminación radioactiva de membrana y, de este modo, los problemas que se derivan de una descontaminación de este tipo. En efecto, el uso de una membrana, en particular de una membrana orgánica como la que se utiliza de forma habitual en el campo de la separación sólido-líquido, generaría unos problemas de transporte y de envasado de estas membranas contaminadas, en particular a causa de una emanación potencial de hidrógeno ligada a la radiólisis de estas por parte de los elementos radiactivos atrapados en estas.

Desde un punto de vista práctico, el segundo reactor de tipo decantador está alimentado por un flujo de salida del primer reactor, este flujo de salida comprendiendo dicha suspensión. La decantación se puede simplificar mediante una etapa de adición dentro del segundo reactor de un coagulante y/o un floculante.

Debido a que el procedimiento de la invención es un procedimiento continuo, la cantidad de fase líquida superior y de fase sólida inferior tendría que ir en aumento, si no estuviera previsto ningún medio de evacuación.

De este modo, el procedimiento de la invención comprende una etapa de separación de dicha fase sólida y de dicha fase líquida, la fase líquida sobrenadante evacuándose de forma habitual mediante desbordamiento, mientras que la fase sólida se evacua de forma habitual mediante trasvase, por lo general, de forma discontinua, una parte de esta fase sólida reinyectándose dentro del primer reactor para participar de nuevo en la etapa de puesta en contacto con otro volumen de efluente líquido que hay que descontaminar. La fase líquida que se recupera empobrecida e incluso despojada de los elementos químicos radiactivos retenidos por la fase enriquecida en partículas sólidas puede ser o bien devuelta al medio ambiente, si el examen radiológico lo permite, o bien someterse a otros tratamientos, si fuera necesario.

Como ya se ha mencionado anteriormente, una parte de la fase sólida que se obtiene tras la decantación se inyecta de nuevo dentro del primer reactor, de forma general en forma de un flujo que dirige la fase sólida del segundo reactor hacia el primer reactor (pudiendo calificarse este flujo como "bucle de reciclaje").

El funcionamiento de este bucle tiene como efecto volver a poner en contacto a la fase sólida con el efluente líquido cargado de elemento(s) químico(s) que hay que eliminar. La fase sólida todavía es apta para fijar una cierta cantidad de estos elementos químicos, por lo que tiene como consecuencia el aumento de la actividad química de estas partículas.

De este modo, debido al carácter continuo del procedimiento de la invención, la cantidad de partículas que salen del primer reactor y se dirigen hacia el segundo reactor es el resultado de dos contribuciones:

- por una parte, la que está ligada a la inyección de las partículas preformadas y a las reacciones químicas inducidas por la puesta en contacto con los reactivos, en caso necesario; y

- por otra parte, la que aporta el bucle de reciclaje.

Se sobreentiende que la cantidad de elementos químicos radiactivos retenidos en la fase sólida aumenta con la cantidad de partículas sólidas dentro del primer reactor. En la medida en que la etapa de reinyección de las partículas sólidas permite aumentar la concentración de partículas sólidas dentro del reactor, el procedimiento de la invención permite de este modo realizar una descontaminación más efectiva de los efluentes que hay que tratar.

Por otra parte, gracias a la etapa de reinyección, también se puede reducir la cantidad total de reactivos y/o de partículas sólidas que hay que introducir a lo largo del tratamiento. A pesar de que se introduce una menor cantidad de reactivos y/o de partículas sólidas dentro del primer reactor, la eficacia de la descontaminación se puede mantener, e incluso mejorar, ajustando el caudal de reintroducción de las partículas del segundo reactor hacia el primer reactor.

La disminución de la cantidad de partículas y/o de reactivos que se introducen dentro del primer reactor conduce a una reducción del volumen total de los desechos sólidos. Al mantenerse la eficacia, e incluso mejorarla, la actividad extractiva se ve aumentada.

De forma previa a la aplicación de las etapas ya mencionadas (etapas de puesta en contacto, decantación y separación), el procedimiento de la invención puede comprender de forma ventajosa una etapa de llenado del primer reactor con un volumen predeterminado de efluente líquido que hay que tratar y con una cantidad predeterminada de partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar y/o con reactivos como los que se han definido con anterioridad y, de forma ventajosa, una etapa de llenado del segundo reactor con una suspensión que comprende unas partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, con el fin de que, en el primer arranque de la etapa de puesta en contacto, pueda tener lugar la etapa de reinyección a partir de dicha suspensión.

Una vez que el procedimiento se ha puesto en marcha, la fase sólida que se reinyecta posteriormente estará constituida por partículas sólidas que ya han experimentado la etapa de puesta en contacto.

Se observarán mejor otras características y ventajas de la invención tras la lectura del siguiente ejemplo, que se da a título ilustrativo y no excluyente, en referencia a la figura única anexa.

Breve descripción de los dibujos

La figura única representa, en forma de esquema de principio, un ejemplo de una instalación destinada a permitir la aplicación del procedimiento de la invención.

Exposición detallada de modos de realización particulares

EJEMPLO

Este ejemplo ilustra la aplicación del procedimiento de la invención para la descontaminación de un efluente líquido que contiene estroncio.

Para la descripción de este ejemplo, se hace referencia a la figura única que representa, en forma de un esquema de principio, un ejemplo de una instalación 1 diseñada para la aplicación del procedimiento de la invención en el marco de un procedimiento industrial de descontaminación de un efluente acuoso, por ejemplo procedente del tratamiento de un combustible nuclear irradiado, que comprende estroncio.

La instalación 1 comprende respectivamente:

- un primer reactor 3, destinado a recibir el efluente acuoso que hay que descontaminar y las partículas sólidas (o los reactivos susceptibles de reaccionar para formar las partículas apropiadas) aptas para captar y retener el estroncio contenido en el efluente líquido, presentándose este primer reactor con la forma de un reactor de vidrio con un volumen útil de 2,5 litros; el primer reactor 3 estando provisto de un dispositivo de agitación 5 y de placas deflectoras metálicas, y de un rebosadero (no representado, destinado a evacuar el exceso en caso necesario);

- un segundo reactor 7 que garantiza la función de decantador destinado a recibir la suspensión formada dentro del primer reactor, esta suspensión comprendiendo las partículas sólidas que han complejoado el estroncio, este último reactor siendo un reactor de tipo cilindro-cónico que presenta un volumen útil de 13 litros, la alimentación de la suspensión realizándose en su centro;

- un primer conducto 9 conectado al primer reactor 3 que garantiza la alimentación de este último con efluente acuoso, que comprende el elemento estroncio que hay que eliminar, facilitándose su circulación por medio de una bomba peristáltica (no representada);

- un segundo conducto 11 conectado al primer reactor 3 que garantiza la alimentación de este último con reactivos

aptos para reaccionar y así formar unas partículas sólidas aptas para captar y retener el estroncio y/o con partículas sólidas ya formadas (estas partículas siendo, en este caso, unas partículas sólidas de sulfato de bario), facilitándose su circulación por medio de una bomba peristáltica (no representada);

- 5 - un tercer conducto 13 que une al primer reactor 3 con el segundo reactor 7 y que garantiza la conducción, en forma de un flujo de rebosamiento, de la suspensión que comprende las partículas sólidas que han captado y retenido el estroncio del primer reactor hacia el segundo reactor;
- 10 - un cuarto conducto 15 que une al segundo reactor 7 con el primer reactor 3 y que garantiza la conducción de una parte de la fase sólida decantada dentro del segundo reactor hacia el primer reactor (también denominada bucle de reciclaje);
- un quinto conducto 17 que permite el trasvase de la fase líquida 16 descontaminada;
- 15 - un sexto conducto 19 que permite el trasvase de la fase sólida 18 que no se ha dirigido de nuevo hacia el primer reactor.

La eficacia del tratamiento se evalúa mediante un parámetro: el factor de descontaminación denominado FD. En el marco de la descontaminación en estroncio, el FD corresponde a la relación entre la concentración de estroncio en el flujo de entrada (flujo que pasa por el primer conducto 9) y esta misma concentración en el flujo que sale del primer reactor (flujo que pasa por el tercer conducto 13). El FD se puede definir también como la relación entre la concentración de estroncio en el flujo de entrada (flujo que pasa por el primer conducto 9) y esta misma concentración en el flujo que sale del segundo reactor (flujo que sale por el conducto 17).

25 En el dispositivo que se ha presentado en párrafos anteriores, el efluente que se introduce dentro del reactor 3 por el conducto 9 está compuesto por 0,5 mol/l de nitrato de sodio, por 0,1 mol/l de sulfato de sodio y por $1,14 \cdot 10^{-4}$ mol/l de nitrato de estroncio. El elemento que hay que eliminar es el estroncio. El caudal de efluente dentro del conducto 9 se ajusta a 14 l/h. El reactivo que se introduce por el conducto 11 es una solución de 0,29 mol/l de nitrato de bario y el caudal dentro del conducto 11 es de 1 l/h.

30 Los iones sulfatos que se introducen por medio del conducto 9 van a reaccionar con los iones de bario que se introducen por medio del conducto 11 para formar unas partículas sólidas de sulfato de bario que van a captar y retener el estroncio.

35 Si el bucle de reciclaje no se activa (caudal nulo dentro del conducto 15), tras 40 minutos de funcionamiento, el FD que se mide a la salida del reactor 3 por el conducto 13 es igual a 60 ± 5 y el FD que se mide a la salida del reactor 7 por el conducto 17 es igual a 100 ± 10 .

40 Si ahora el caudal de suspensión dentro del conducto 15 es de alrededor de 1.200 g/h, el FD en la fase líquida dentro del conducto 13 se incrementa con un factor de alrededor de 8, es decir, alrededor de 500 ± 150 . El FD en la fase líquida del conducto 17 es, por su parte, de alrededor de 500 ± 50 .

45 La mejora de la descontaminación está ligada a la existencia del bucle de reciclaje y, desde un punto de vista químico, entre otros factores, a la disminución de la velocidad de crecimiento cristalino de BaSO_4 que se deriva de la existencia de este bucle, la disminución de la velocidad estando ligada a una cantidad y una superficie de cristales de BaSO_4 superiores a las que existen cuando no hay bucle de reciclaje. Se ha comprobado que la disminución de la velocidad de crecimiento cristalino de BaSO_4 favorece la descontaminación en estroncio.

EJEMPLO 2

50 En este ejemplo, se utiliza un dispositivo idéntico al del ejemplo 1.

55 El efluente que se introduce dentro del reactor 3 por el conducto 9 está compuesto por 0,5 mol/l de nitrato de sodio, por 0,1 mol/l de sulfato de sodio y por $1,14 \cdot 10^{-4}$ mol/l de nitrato de estroncio. El elemento que hay que eliminar es el estroncio. El caudal de efluente dentro del conducto 9 se ajusta a 14 l/h. El reactivo que se introduce por el conducto 11 es una solución con 0,29 mol/l de nitrato de bario y el caudal dentro del conducto 11 es de 0,5 l/h, esto es está dividido por 2 con respecto al ejemplo 1. Esto tiene como consecuencia que el caudal de producción de sulfato de bario dentro del reactor 3 está dividido por 2. De esto se deriva que la producción de lodo por hora se divide por 2.

60 Si el bucle de reciclaje no se activa (caudal nulo dentro del conducto 15), el FD que se mide a la salida del reactor 3 por el conducto 13 es igual a 20 ± 3 y el FD que se mide a la salida del reactor 7 por el conducto 17 es igual a 30 ± 3 .

65 Si ahora el caudal de suspensión dentro del conducto 15 es de alrededor de 3.600 g/h, el FD en la fase líquida dentro del conducto 13 se incrementa con un factor 5, es decir, de alrededor de 100 ± 10 . El FD en la fase líquida del

conducto 17 es, por su parte, de alrededor de 150 ± 10 . Hay que recordar que, para obtener la misma eficacia sin utilizar el bucle de reciclaje, hay que aplicar dos veces más de reactivos y, por lo tanto, producir dos veces más de desechos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento continuo de descontaminación de un efluente líquido radiactivo que comprende uno o varios elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, que comprende las siguientes etapas:

- una etapa de puesta en contacto, dentro de un primer reactor, de dicho efluente líquido radiactivo con unas partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, mediante la cual se obtiene una suspensión de partículas sólidas que contienen dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar;

- una etapa de decantación dentro de un segundo reactor de dicha suspensión, mediante la cual se obtiene una fase sólida, que comprende las partículas sólidas que contienen dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar, y una fase líquida empobrecida o despojada de dicho o dichos elementos químicos radiactivos que hay que eliminar;

- una etapa de separación de dicha fase sólida y de dicha fase líquida;

que se caracteriza porque una parte de dicha fase sólida que se obtiene al terminar la etapa de decantación se inyecta de nuevo dentro del primer reactor para la puesta en marcha de una etapa de puesta en contacto tal y como se ha definido con anterioridad.

2. Procedimiento de descontaminación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partículas sólidas aptas para captar y retener dicho o dichos elementos químicos que hay que eliminar en la etapa de puesta en contacto son de dos tipos:

- una parte procede de un flujo continuo, dentro del primer reactor, de partículas no usadas (esto es, que aun no han experimentado ninguna etapa de puesta en contacto con el efluente líquido) y/o de reactivos aptos para generar mediante una reacción química, dentro de dicho primer reactor, dichas partículas; y

- la otra parte procede de la etapa de reinyección tal y como se define en la reivindicación 1.

3. Procedimiento de descontaminación de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos químicos radiactivos se seleccionan entre el estroncio, el rutenio, el cesio, los emisores α , como el americio, el plutonio y el uranio, y las mezclas de estos últimos.

4. Procedimiento de descontaminación de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, cuando el elemento químico radiactivo que hay que eliminar es el estroncio, las partículas sólidas son partículas sólidas de sulfato de bario, de carbonato de bario, de carbonato de calcio, de hidróxido de hierro, de fosfato de calcio, de fosfato de hierro, de dióxido de manganeso y/o de dióxido de titanio.

5. Procedimiento de descontaminación de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, cuando el elemento químico radiactivo que hay que eliminar es el rutenio o un emisor α , como el americio, el plutonio y el uranio, las partículas sólidas son partículas sólidas de hidróxidos de hierro y de cobre.

6. Procedimiento de descontaminación de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, cuando el elemento químico radiactivo que hay que eliminar es el cesio, las partículas sólidas son partículas sólidas de ferrocianuro de níquel y de cobalto, de tetrafenilborato y/o unas partículas que presentan una estructura zeolítica.

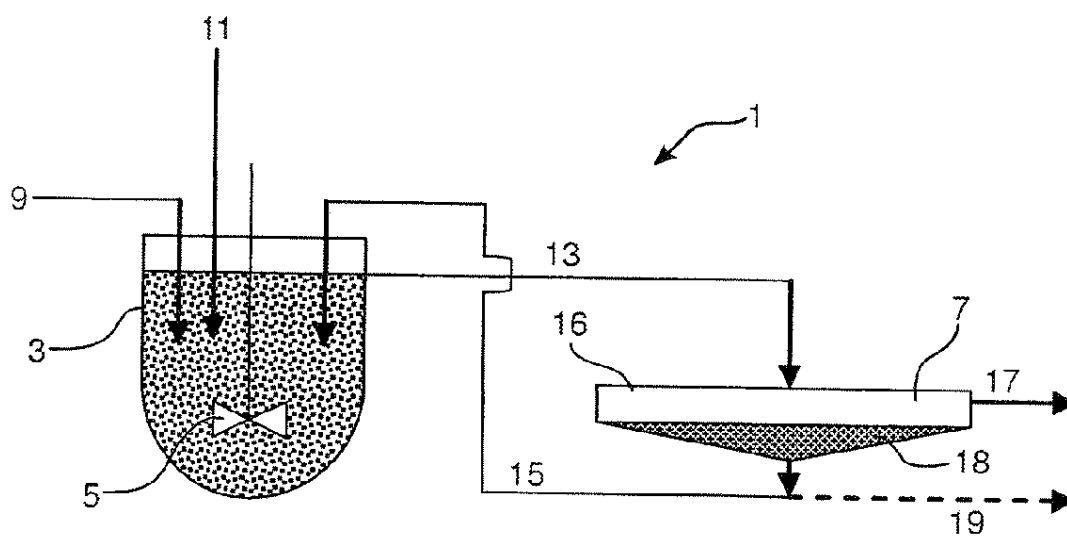


FIGURA ÚNICA