

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 158**

51 Int. Cl.:

**G21F 9/12** (2006.01)

**G21F 9/20** (2006.01)

**G21F 9/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2013 E 13173987 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 2680274**

54 Título: **Sistema y procedimiento de procesado y almacenamiento de refrigerante tras un accidente**

30 Prioridad:

**29.06.2012 US 201213537373**

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

**31.01.2017**

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC  
(100.0%)  
3901 Castle Hayne Road  
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**LOEWEN, ERIC P.;  
BERGER, JOHN F. y  
DOOIES, BRETT J.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 599 158 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

Sistema y procedimiento de procesado y almacenamiento de refrigerante tras un accidente

### Campo

5 Algunos ejemplos de realizaciones se refieren de forma general a un sistema de separaciones químicas y/o a un procedimiento de procesado y almacenamiento de un refrigerante tras un accidente, y más particularmente a un sistema de separaciones químicas y/o a un procedimiento para el filtrado del agua tras un accidente para retirar los productos de fisión y las sales para una eliminación permanente.

### Técnica relacionada

10 Después del accidente de un reactor, normalmente se realizan esfuerzos para tener el núcleo del reactor reprocesado y/o colocado en un almacenamiento provisional. Sin embargo, la mitigación del accidente del reactor puede verse complicada por la introducción de materiales extraños. Por ejemplo, en el accidente de Fukushima Daiichi en 2011, se usó agua de mar en un intento de enfriar los reactores. Como consecuencia del uso de agua de mar, se depositaron sales marinas en los reactores. Consecuentemente, la integridad de los recipientes metálicos destinados al posterior almacenamiento del combustible recuperado del núcleo del reactor puede verse comprometida por la acción corrosiva de las sales marinas.

15 Cuando el reactor está operativo, las impurezas radioactivas solubles y/o insolubles pueden ser retiradas, al menos en parte, mediante uno o más desmineralizantes, filtros, intercambiadores de iones y/u otros dispositivos (denominados en conjunto en esta solicitud Unidad de Limpieza del Agua del Reactor ("RWCU")). Para un núcleo de reactor dañado en el que se ha inyectado agua fuera de la especificación (por ejemplo, agua de mar) usando la RWCU normal, puede generarse un volumen relativamente grande de resina de intercambio iónico. Por lo tanto, sería necesario cambiar frecuentemente los lechos del filtro de la RWCU, haciendo por lo tanto que el procedimiento sea más difícil y costoso. Además, la operación de la RWCU permite la extracción del refrigerante (por ejemplo, agua) desde el fondo del reactor, que puede verse obstruida debido a los componentes perjudiciales del combustible. Adicionalmente, la resina utilizada no es lo suficientemente estable como para un almacenaje permanente del residuo debido a las relativamente grandes cantidades de radioactividad.

20 El documento KR 2005-0010734A se refiere a un dispositivo de descontaminación química en el interior de una bomba de refrigerante de un reactor que impide que los trabajadores queden expuestos a unos elevados niveles de radiación cuando se sustituyen o se reparan las partes internas.

### Sumario

25 Algunos ejemplos de realizaciones proporcionan un procedimiento de separaciones químicas y/o un sistema de procesado y almacenamiento de un refrigerante tras un accidente, incluyendo contaminantes, por ejemplo, corion, sales marinas, etc.

30 En un aspecto, se proporciona un procedimiento de procesado de un refrigerante tras un accidente de un reactor nuclear según la reivindicación 1 del presente documento.

35 En otro aspecto, se proporciona un sistema para el procesado de un refrigerante tras un accidente de un reactor nuclear según la reivindicación 10 del presente documento.

### Breve descripción de los dibujos

40 Las anteriores y otras características y ventajas de los ejemplos de realizaciones serán más evidentes mediante la descripción con detalle de los ejemplos de realizaciones con referencia a los dibujos anexos. Los dibujos anexos pretenden representar algunos ejemplos de realizaciones y no deberían interpretarse como limitantes del ámbito previsto de las reivindicaciones. No debe considerarse que los dibujos anexos estén dibujados a escala salvo que se indique explícitamente.

45 La Figura 1 es un diagrama de un sistema para el procesado de un refrigerante tras un accidente, según un ejemplo de realización;

50 La Figura 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento de procesado de un refrigerante tras un accidente, según otro ejemplo de realización; y

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para el almacenamiento de un refrigerante tras un accidente, según otro ejemplo de realización.

### Descripción detallada

55 En el presente documento se divulgan algunos ejemplos detallados de realizaciones. Sin embargo, los detalles específicos estructurales y funcionales divulgados en el presente documento son meramente representativos con el

fin de describir los ejemplos de realizaciones. Sin embargo, los ejemplos de realizaciones pueden ser realizados de muchas formas alternativas y no deben ser interpretados como limitados únicamente a las realizaciones establecidas en el presente documento.

5 Consecuentemente, aunque los ejemplos de realizaciones son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones de los mismos se muestran a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán con detalle en el presente documento. Sin embargo, debería entenderse que no hay intención de limitar los ejemplos de realizaciones a las formas particulares divulgadas, sino al contrario, los ejemplos de realizaciones van a cubrir todas las modificaciones y alternativas que entran en el ámbito de los ejemplos de realizaciones. A lo largo de la descripción de las figuras, los números similares se refieren a elementos similares.

15 Se entenderá que aunque en el presente documento pueden usarse los términos primero, segundo, etc. para describir diversos elementos, estos elementos no deben estar limitados por estos términos. Estos términos se usan únicamente para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse segundo elemento, y de forma similar, un segundo elemento podría denominarse primer elemento, sin desviarse del ámbito de los ejemplos de realizaciones. Según se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye todas y cualquiera de las combinaciones de uno o más de los elementos asociados indicados.

20 Se entenderá que cuando se indica un elemento como "conectado" o "acoplado" a otro elemento, puede estar conectado o acoplado directamente al otro elemento o a elementos intervinientes que pudiera haber presentes. Por el contrario, cuando se indica un elemento como "conectado directamente" o "acoplado directamente" a otro elemento, no hay otros elementos intervinientes presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre los elementos deben ser interpretadas de una forma similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

25 La terminología usada en el presente documento es únicamente con el fin de describir realizaciones en particular, y no pretende ser limitante de los ejemplos de realizaciones. Según se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una" y "el/la" pretenden incluir asimismo las formas plurales, salvo que el contexto lo indique claramente de otro modo. Adicionalmente se entenderá que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usan en el presente documento, indican la presencia de las características, los números enteros, las etapas, las operaciones, los elementos y/o los componentes establecidos, pero no excluyen la presencia o la adición de uno o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

35 También debería apreciarse que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos indicados pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras mostradas sucesivamente pueden ser de hecho ejecutadas sustancialmente simultáneamente, o a menudo pueden ser ejecutadas en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos implicados.

40 Los ejemplos de realizaciones están dirigidos a una técnica *in situ* para retirar cantidades relativamente grandes de contaminantes del refrigerante del reactor después del daño en el combustible y de la inyección de un refrigerante fuera de especificación, por ejemplo, de agua de mar. El material nuclear, por ejemplo, el corion, se retira del refrigerante, y se genera un residuo para una eliminación geológica permanente que es relativamente inocuo, seguro y estable.

45 El material nuclear mencionado en el presente documento puede ser corion, aunque los ejemplos de realizaciones no se limitan al mismo. Como entenderán los expertos habituales en la materia, el corion es un material que contiene combustible (FCM) que se forma durante una fusión nuclear. En particular, el corion es una mezcla fundida de tipo lava de porciones del núcleo de un reactor nuclear y puede incluir combustible nuclear, productos de fisión, varillas de control, materiales estructurales de las partes afectadas del reactor, productos de su reacción química con el aire, el agua y el vapor, y/u hormigón fundido del suelo de la sala del reactor en las situaciones en las que el contenedor del reactor se ha fisurado, y que resulta de la introducción de materiales extraños, tales como agua de mar o inyecciones de boro. La composición del corion depende del tipo de reactor, y específicamente, de los materiales usados en las varillas de control y en el refrigerante. Por ejemplo, existen diferencias entre el corion de un reactor de agua presurizada (PWR) y el corion de un reactor de agua en ebullición (BWR). Además del corion, debe entenderse que el material nuclear mencionado en el presente documento puede incluir el combustible nuclear usado u otros materiales análogos en necesidad de un tratamiento similar.

55 El procedimiento según un ejemplo de realización descontamina el refrigerante, por ejemplo, el agua, mejorando así la capacidad para desmantelar el reactor y las partes internas, y mitiga la corrosión interna (por ejemplo, las fracturas por corrosión por estrés, la corrosión general inducida por cloruro o la corrosión intergranular) del contenedor para un almacenamiento a largo plazo del residuo.

60 La FIG. 1 es un diagrama de un sistema para el procesado tras un accidente según un ejemplo de realización. El sistema incluye un sistema refrigerante del reactor (RCS) 10, un primer y un segundo sistema de monitorización del refrigerante 11a y 11b, un primer y un segundo sistema de filtrado 20 y 30, un sistema de limpieza del agua del reactor 40, una unidad de control del pH 50, un primer y un segundo contenedor de tratamiento del residuo 60 y 70,

un primer y un segundo producto de residuo 80a y 80b y un área de tratamiento del residuo 90. Un primer sistema de monitorización del refrigerante 11a, usando dispositivos de medición tales como un espectrómetro de masas, un conductímetro y un pHímetro, determina los parámetros particulares, por ejemplo, la composición elemental, la conductividad, el pH, la temperatura, etc., del refrigerante, por ejemplo, el agua, ubicado corriente arriba del primer y del segundo sistema de filtrado 20 y 30. Un segundo sistema de monitorización del refrigerante 11b está ubicado corriente abajo del primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30, y realiza la misma función para el refrigerante filtrado. El flujo del refrigerante puede proceder de un sistema refrigerante del reactor (RCS) 10, y el RCS 10 puede ser cualquier circuito de tuberías de un reactor de agua en ebullición (BWR). Por ejemplo, el circuito de tuberías del BWR puede ser el de una unidad de refrigeración por agua del reactor (RWCU), el de un sistema de eliminación del calor residual (RHR), el de un sistema de pulverización del núcleo (CS), el de un sistema de inyección de refrigerante a alta presión (HPCI) y/o el del agua de suministro.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento de procesado de un refrigerante tras un accidente, según otro ejemplo de realización. En la etapa S200 de la FIG. 2, se filtra un refrigerante, por ejemplo, agua, en un primer sistema de filtrado 20, por ejemplo, un lecho de alúmina activado, con objeto de retirar los particulados radiactivos del refrigerante, produciendo así un primer material filtrado y un refrigerante filtrado que incluye los contaminantes adicionales no absorbidos por el primer sistema de filtrado 20. Los particulados radiactivos, por ejemplo, cesio y yodo, son absorbidos en la matriz de alúmina. La matriz de alúmina absorbe el material radiactivo en el refrigerante de forma que el material radiactivo puede ser almacenado de forma permanente.

El primer sistema de filtrado 20, por ejemplo, el lecho de alúmina, es una parte de un primer sistema de filtro extraíble protegido (SRF), que protege al personal de la planta y al equipo de los radionúclidos acumulados durante el procedimiento de limpieza. El primer SRF incluye el material de filtro incluido en el lecho de alúmina, y un contenedor protegido hecho de hormigón o de acero, y opcionalmente revestido con un material protector adicional, por ejemplo, acero, plomo o wolframio. El refrigerante entra y sale del primer SRF a través de una tortuosa ruta de flujo para mitigar cualquier potencial ruta de vapor de radiación del primer SRF. La totalidad del primer SRF (por ejemplo, el contenedor y el material de filtro del lecho de alúmina) está diseñada para que sea fácilmente insertada y extraída del procedimiento de filtración, y está diseñada para que sea transportada fácilmente debido a su naturaleza modular.

En la etapa S220 de la FIG. 2, el refrigerante filtrado fluye desde el primer sistema de filtrado 20 hacia un segundo sistema de filtrado 30, que comprende un lecho de humato según la presente invención, produciendo así un segundo material filtrado que incluye los contaminantes que quedan en el refrigerante filtrado. El segundo sistema de filtrado 30, por ejemplo, el lecho de humato, es parte de un segundo SRF que tiene una función de filtrado similar a la descrita con respecto al primer SRF. Los humatos son moléculas complejas formadas por la descomposición de la materia orgánica. Los humatos contienen ácidos húmicos, que son coloides que se comportan de una forma similar a la arcilla. Algunos ejemplos de humatos incluyen metales alcalinos monovalentes (por ejemplo, humato de sodio y humato de potasio) que son solubles en agua, humatos de metales multivalentes (por ejemplo, humato de calcio, humato de magnesio y humato de hierro) y humatos de metales pesados que son insolubles. En la materia es bien conocido que los humatos pueden usarse para la formación de suelo fértil debido a que los humatos son una fuente de nutrientes para las plantas.

Cuando los sitios de intercambio catiónico de la molécula de ácido húmico están llenos predominantemente con cationes de hidrógeno, se determina que el material es un ácido. El pH no se ve muy afectado, sin embargo, debido a que el ácido es insoluble en agua. Cuando el catión predominante en los sitios de intercambio es distinto al hidrógeno, se determina que el material es un humato. Aparte del efecto sobre la solubilidad de los materiales y su absorción por parte de las arcillas, los diferentes cationes pueden tener poco efecto sobre las moléculas húmicas. Las moléculas húmicas tienen una solubilidad en agua relativamente baja en un intervalo de pH entre neutro y ácido, pero pueden ser solubles a unos niveles mayores de pH, por ejemplo, mayor de 10, produciendo así unas soluciones de color marrón oscuro. El ácido húmico del segundo sistema de filtrado 30 puede inmovilizar la mayor parte de los contaminantes del refrigerante, por ejemplo, del agua.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento de almacenamiento de un refrigerante tras un accidente, según otro ejemplo de realización.

La corriente fluida del refrigerante fluirá a través del primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30, por ejemplo, la alúmina y los lechos de humato, hasta que el primer o el segundo sistema de filtrado 20 o 30 alcance su límite de carga radiactivo (S300). El límite de carga radiactivo está determinado por una dosis umbral de radiación detectada en el SRF que incluye el primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30, por ejemplo, la alúmina y los lechos de humato, y el punto en el que el SRF ha quedado químicamente agotado (por ejemplo, lleno) es determinado mediante el sistema de monitorización del segundo refrigerante 11b ubicado corriente abajo del segundo sistema de filtrado 30.

En un ejemplo de realización, si ni el primer ni el segundo sistema de filtrado 20 o 30 ha alcanzado su límite de carga, puede repetirse el procedimiento de tratamiento del refrigerante usando el primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30 varias veces hasta que se eliminen unas cantidades indeseables de los contaminantes perjudiciales (S330). Si ni el primer ni el segundo sistema de filtrado 20 o 30 han alcanzado el límite de carga, el refrigerante

filtrado puede ser transferido al sistema de la RWCU 40 (S310), que puede ser un sistema en planta convencional para el tratamiento del refrigerante, y devuelto al sistema refrigerante del reactor RCS 10 (S320). Alternativamente, el refrigerante, por ejemplo, agua, puede ser enviado directamente al sistema estándar de la RWCU de la planta 40 para la eliminación continua de los sólidos y los cationes, y devuelto después al sistema refrigerante del reactor RCS 10. Cada uno del primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30 (por ejemplo, el lecho de alúmina y el lecho de humato) puede contener múltiples líneas o trenes para permitir operaciones continuas.

Puede usarse una unidad de control del pH 50 para ajustar el pH para una operación óptima o mejorada del segundo sistema de filtrado 30 y la eliminación de los contaminantes. Durante la operación del sistema pueden usarse oscilaciones en el pH para chocar el sistema para la eliminación de los contaminantes del sistema refrigerante del reactor RCS 10 y colocarlos en los SRF de los respectivos primer y segundo sistemas de filtrado.

Después de mejorar el estado de la química del agua en el interior del sistema refrigerante del reactor RCS 10, el corion es capturado en al menos uno del primer y el segundo sistema de filtrado 20 y 30 por los respectivos filtros extraíbles protegidos (SRF). El SRF del primer sistema de filtrado, por ejemplo, el SRF de lecho de alúmina, y el SRF del segundo sistema de filtrado, por ejemplo, el SRF de lecho de humato, son procesados mediante diferentes procedimientos de tratamiento que se describirán con detalle, como sigue.

El SRF del primer sistema de filtrado 20 es desaguado mediante el drenaje del agua y después la extracción del agua a través de un sistema de extracción a vacío. Los residuos del corion y los productos de fisión capturados en el SRF del lecho de alúmina emiten calor, lo que acelera el procedimiento de desaguado a vacío. Puede añadirse otra fuente de calor opcional al procedimiento para calentar externamente el SRF del lecho de alúmina, y acelerar adicionalmente el procedimiento de desaguado.

En la etapa S210 de la FIG. 2, el primer material filtrado del primer sistema de filtrado se transfiere a un primer contenedor de tratamiento de residuos. Haciendo referencia de nuevo a la FIG. 1, el SRF del primer sistema de filtrado 20 que incluye el primer material filtrado se transfiere a un primer contenedor de tratamiento de residuos 60 en un área de tratamiento de residuos 90, por ejemplo, un crisol cerámico calentado por inducción o un susceptor de carbono. El calor transferido desde el primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico, (y el contenido del mismo) permitirá la fusión de los sólidos del corion del refrigerante.

Se añaden compuestos de óxidos, por ejemplo,  $\text{CaO}$  y  $\text{SiO}_2$ , al primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico. Un sistema cerámico bien conocido de  $\text{Ca-Al-Si}$ , por ejemplo, un mineral de feldespato tal como la anortita, se forma en el interior del primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico, a partir de la reacción entre el  $\text{CaO}$ , el  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y el corion es incorporado en una matriz resistente a la lixiviación del interior del primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico, adecuada para una eliminación permanente.

El primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico, que contiene los aditivos según se describe en el presente documento, es un ejemplo de realización de un sistema para el procesado del corion para un almacenamiento a largo plazo, pero también pueden usarse otros sistemas cerámicos bien conocidos para contener el corion, por ejemplo, sodalita pegada con vidrio, synroc, etc., dependiendo del procedimiento y de los requisitos normativos para el producto de residuo final. Este sistema cerámico del interior del primer contenedor de tratamiento de residuos 60, por ejemplo, un crisol cerámico, se carga en un bidón de residuos (no mostrado) y se consolida en un primer producto de residuo monolítico 80a para un almacenamiento a largo plazo. El primer producto de residuo 80a puede ser evaluado para comprobar su capacidad de lixiviado, su estabilidad estructural y otras comprobaciones normativas antes del almacenamiento a largo plazo. El primer producto de residuo 80a contiene la mayoría de los productos de fisión solubles y transuránicos que se encuentran en el refrigerante.

En la etapa S230 de la FIG. 2, el segundo producto de residuo del segundo sistema de filtrado se transfiere a un segundo contenedor de tratamiento de residuos. El segundo sistema de filtrado 30, por ejemplo, el lecho de humato, requiere un procedimiento diferente para la producción de un producto de residuo más estable para su almacenamiento a largo plazo en el área de tratamiento de residuos 90. En primer lugar, se desaguan los humatos mediante el procedimiento descrito previamente con respecto al primer sistema de filtrado, por ejemplo, el lecho de alúmina. Sin embargo, el segundo sistema de filtrado 30, por ejemplo, el lecho de humato, se carga en un segundo contenedor de tratamiento de residuos 70, por ejemplo, en un crisol metálico. El segundo contenedor de tratamiento de residuos 70, por ejemplo, un crisol metálico, tiene unas paredes relativamente gruesas. El crisol metálico se calienta a una temperatura superior a  $100^\circ\text{C}$ , y se inyecta un gas oxidante, por ejemplo, al menos uno de aire, oxígeno y cualquier otro gas oxidante, en el fondo a través de una tobera 70a. El gas oxidante convierte los ácido húmicos, los materiales orgánicos y el carbono del interior del SRF del segundo sistema de filtrado 30, por ejemplo, el lecho de humato, en al menos uno de monóxido de carbono y dióxido de carbono. El al menos uno de monóxido de carbono y dióxido de carbono puede ser un gas sustancialmente no radiactivo (excepto por la pequeña cantidad de carbono-14 recuperada a partir del refrigerante del reactor), que a continuación es purgado del segundo contenedor de tratamiento de residuos 70, por ejemplo, un crisol metálico, hacia un sistema de filtración de gas nuclear estándar (no mostrado), por ejemplo, un sistema HEPA. El purgado del gas sustancialmente no radiactivo al sistema de filtración mitiga cualquier liberación de particulados radiactivos al medio ambiente. Después de la descarbonización del segundo sistema de filtrado 30, por ejemplo, del lecho de humato, se añaden los ingredientes

5 para al menos uno de una composición de sodalita pegada con vidrio y synroc al crisol metálico, y se mezclan. Después la composición se coloca en una prensa de sinterización en caliente y se comprime con la prensa de sinterización en caliente en un segundo producto de residuo 80b. Las cantidades menores de transuránicos y de otros productos de fisión solubles que pasan a través del primer sistema de filtrado 20 y las sales marinas son capturadas en este segundo producto de residuo 80b.

Habiendo descrito así algunos ejemplos de realizaciones, será obvio que las mismas pueden ser modificadas de diversas formas. Dichas variaciones no deben contemplarse como una desviación del ámbito previsto de los ejemplos de realizaciones, y todas esas modificaciones, como será obvio para el experto en la materia, pretenden estar incluidas en el ámbito de las siguientes reivindicaciones.

10

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de procesado de un refrigerante tras un accidente de un reactor nuclear que comprende:

5 filtrar un refrigerante usando un primer sistema de filtración (20) para generar un primer material filtrado;  
 filtrar del refrigerante filtrado usando un segundo sistema de filtración (30) para generar un segundo material  
 filtrado, siendo el segundo sistema de filtración (30) diferente del primer sistema de filtración (20);  
 transferir el primer material filtrado a un primer contenedor de tratamiento de residuos (60) para convertir el  
 primer material filtrado en un primer producto de residuo (80a) para una eliminación permanente; y  
 10 transferir el segundo material filtrado a un segundo contenedor de tratamiento de residuos (70) para convertir el  
 segundo material filtrado en un segundo producto de residuo (80b) para una eliminación permanente;  
 en el que el segundo sistema de filtración (30) comprende un lecho de humato.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer sistema de filtración (20) es un lecho de alúmina.

15 3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que:

la filtración de un refrigerante comprende además la filtración del refrigerante usando un primer filtro protegido  
 extraíble (SRF), incluyendo el primer SRF el primer material filtrado contenido en el lecho de alúmina,  
 20 la filtración del refrigerante filtrado comprende además la filtración del refrigerante filtrado usando un segundo  
 SRF, incluyendo el segundo SRF el segundo material filtrado contenido en el lecho de humato, y  
 cada uno del primer y el segundo SRF están configurados para proporcionar protección frente a la radiación al  
 personal y al equipo.

4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el primer SRF que incluye el lecho de alúmina se transfiere al  
 25 primer contenedor de tratamiento de residuos (60), y transferir el primer material filtrado comprende además:

transferir el primer SRF a un crisol cerámico; y  
 hacer reaccionar los compuestos de óxido ubicados en el crisol cerámico con la alúmina y los particulados  
 radiactivos para formar el primer producto de residuo.  
 30

5. El procedimiento de cualquiera de la reivindicación 3 o 4, en el que el segundo SRF que incluye el lecho de  
 humato se transfiere al segundo contenedor de tratamiento de residuos (70), y transferir el segundo material filtrado  
 comprende además:

35 transferir el segundo SRF a un crisol metálico;  
 inyectar en el crisol metálico de un gas oxidante y calentar el crisol metálico hasta una temperatura superior a  
 100 °C para convertir los componentes orgánicos del lecho de humato en un gas no radiactivo;  
 ventilar el gas no radiactivo del crisol metálico a un sistema de filtración de gas nuclear; y  
 40 después de ventilar, formar una composición que incluye uno de una sodalita pegada con vidrio y synroc, y  
 colocar la composición en una prensa de sinterización en caliente para producir el segundo producto de residuo.

6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

45 transferir el refrigerante al primer sistema de filtración (20) desde un sistema refrigerante del reactor (10).

7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además:

ajustar el pH del refrigerante del sistema refrigerante del reactor (10) antes de la transferencia del refrigerante al  
 primer sistema de filtración (20); y  
 50 transferir el refrigerante filtrado del segundo sistema de filtración (30) a una unidad de limpieza del agua del  
 reactor (RWCU) (40) para su procesado.

8. El procedimiento de cualquiera de la reivindicación 6 o 7, que comprende además:

55 monitorizar los parámetros particulares del refrigerante usando un primer sistema de monitorización del  
 refrigerante (11a), estando ubicado el primer sistema de monitorización del refrigerante (11a) corriente arriba del  
 primer sistema de filtración (20); y  
 monitorizar los parámetros particulares del refrigerante filtrado usando un segundo sistema de monitorización del  
 refrigerante (11b) para determinar si se han eliminado todos los contaminantes del refrigerante filtrado, el  
 60 segundo sistema de monitorización del refrigerante (11b) ubicado corriente abajo del segundo sistema de  
 filtración (30).

9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la filtración del refrigerante usando el  
 primer sistema de filtración (20) y la filtración el refrigerante filtrado usando el segundo sistema de filtración (30) se  
 65 realizan múltiples veces hasta que se han eliminado todos los contaminantes del refrigerante filtrado.

10. Un sistema dispuesto para el procesado de un refrigerante tras un accidente de un reactor nuclear que comprende:

- 5 un primer sistema de filtración (20) configurado para filtrar un refrigerante y generar un primer material filtrado;  
un segundo sistema de filtración (30) configurado para filtrar el refrigerante filtrado y generar un segundo material filtrado, siendo el segundo sistema de filtración (30) diferente del primer sistema de filtración (20);  
un primer contenedor de tratamiento de residuos (60) configurado para convertir el primer material filtrado en un primer producto de residuo (80a) para una eliminación permanente; y  
10 un segundo contenedor de tratamiento de residuos (70) configurado para convertir el segundo material filtrado en un segundo producto de residuo (80b) para una eliminación permanente;  
en el que el segundo sistema de filtración (30) comprende un lecho de humato.

11. El sistema de la reivindicación 10, en el que el primer sistema de filtración (20) es un lecho de alúmina.

- 15 12. El sistema de la reivindicación 11, que comprende además:  
un primer filtro protegido extraíble (SRF) que incluye el primer material filtrado contenido en el lecho de alúmina;  
y  
20 un segundo SRF que incluye el segundo material filtrado contenido en el lecho de humato,

en el que el primer y el segundo SRF están configurados cada uno para proporcionar protección frente a la radiación al personal y al equipo.

25 13. El sistema de la reivindicación 12, que comprende además:

- un primer sistema de monitorización del refrigerante (11a) ubicado corriente arriba del primer sistema de filtración (20), estando configurado el primer sistema de monitorización del refrigerante (11a) para monitorizar los parámetros particulares del refrigerante que comprenden la composición elemental, la conductividad, el pH y la temperatura; y  
30 un segundo sistema de monitorización del refrigerante (11b) ubicado corriente abajo del segundo sistema de filtración (30) para determinar si se han eliminado todos los contaminantes del refrigerante filtrado, estando configurado el segundo sistema de monitorización del refrigerante (11b) para monitorizar los parámetros particulares del refrigerante filtrado.

35

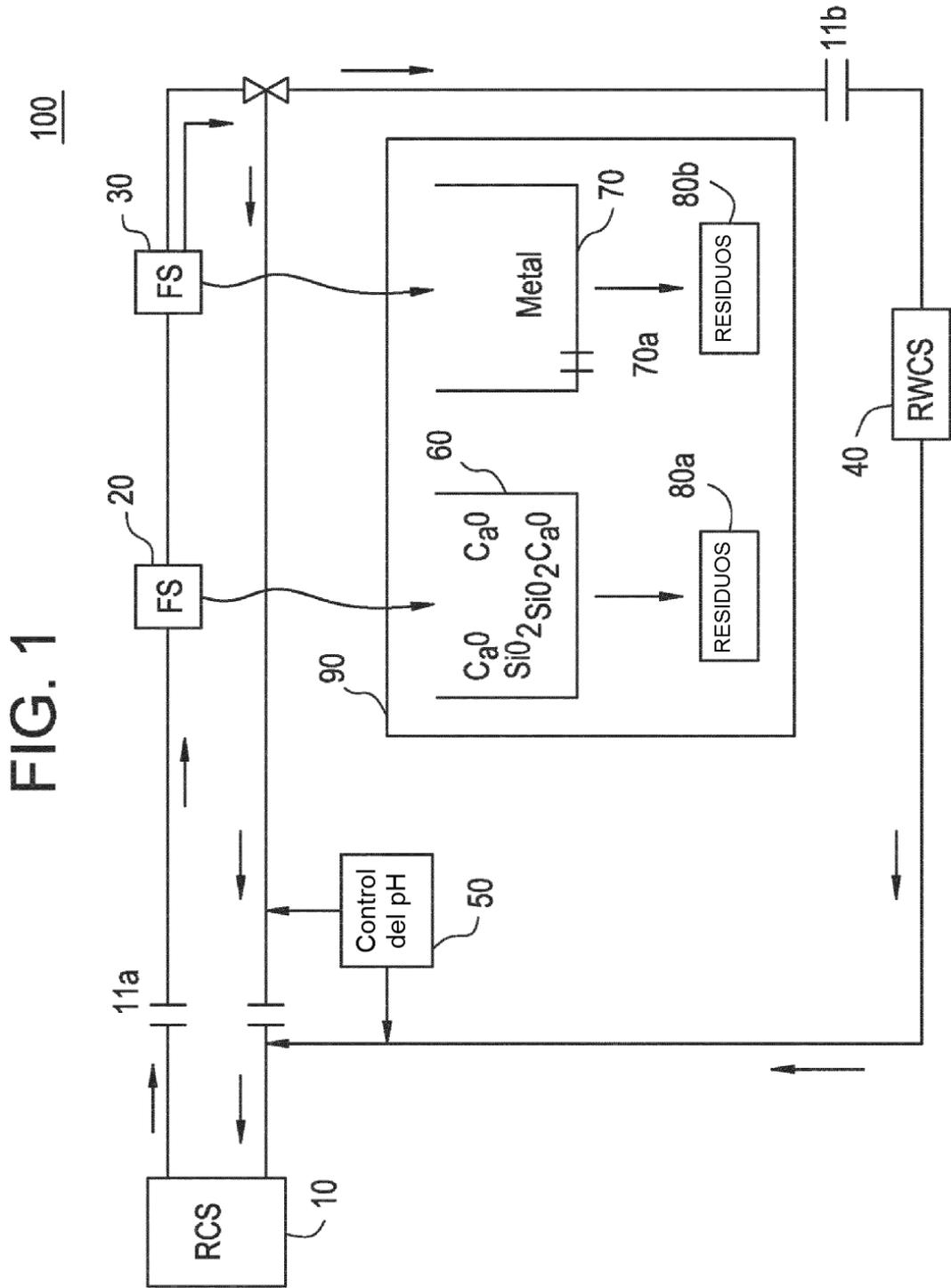


FIG. 2

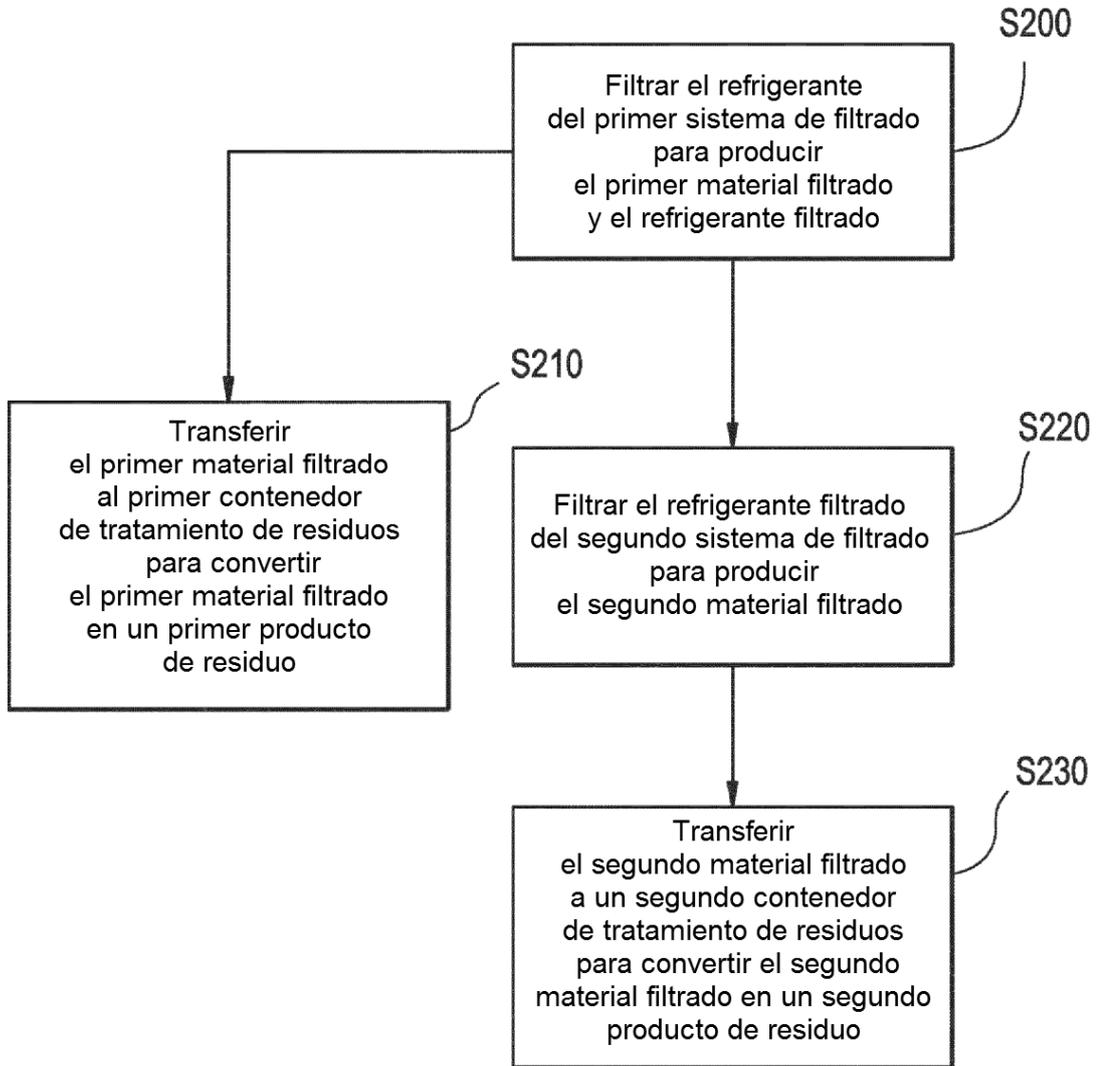


FIG. 3

