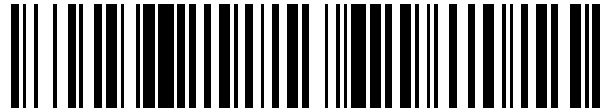


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 414 756**

21 Número de solicitud: 201230887

51 Int. Cl.:

G21F 9/30 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

07.06.2012

30 Prioridad:

21.10.2011 US 13/278786

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.07.2013

71 Solicitantes:

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

72 Inventor/es:

**MASON, J. Bradley;
TORABZADEH, Sahar;
BROWN, Thomas y
OLANDER, Jonathan**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

54 Título: **Descontaminación térmica de grafito con gases reductores**

57 Resumen:

Descontaminación térmica de grafito con gases reductores.

Se proporciona un horno que funciona a temperaturas en el intervalo de 800° Celsius a 2000° Celsius con gases inertes, opcionalmente oxidantes y reductores para tratar grafito contaminado con radionúclidos incluyendo tritio, carbono-14 y cloro-36. La combinación de temperaturas y gases permite la extracción de la mayoría a sustancialmente todo el carbono-14 dentro del grafito mientras que se limita sustancialmente la gasificación del grafito en masa.

ES 2 414 756 A2

DESCRIPCIÓN

Descontaminación térmica de grafito con gases reductores

Campo técnico

5 La presente invención se refiere, en general, a procedimientos para la descontaminación de grafito para extraer tritio, carbono-14, y cloro-36 usando tratamiento térmico con gases de purga que incluye gases reductores.

Antecedentes

10 El grafito, que consiste predominantemente en el elemento carbono, se usa como moderador en varios diseños de reactores nucleares, tales como los reactores refrigerados por gas MAGNOX y AGR en el Reino Unido, y el diseño RBMK en Rusia. Durante la construcción, el moderador del reactor se instala normalmente como una estructura entrelazada de ladrillos de grafito. Al final de la vida del reactor, el moderador de grafito, que normalmente pesa aproximadamente 2.000 toneladas, es una forma de residuo radiactivo que requiere un almacenamiento seguro. El grafito es una forma química relativamente estable de carbono, que, en muchos aspectos, es adecuada para su almacenamiento directo sin procesado. Sin embargo, después de la irradiación de neutrones, el grafito contendrá energía de Wigner almacenada. Es necesario que el potencial para la liberación de esta energía se tenga en cuenta en cualquier estrategia que se base en el almacenamiento del grafito en forma no procesada. De forma alternativa, el procesado del grafito antes de su almacenamiento puede permitir la liberación segura de cualquier energía de Wigner almacenada.

20 El grafito también contiene cantidades significativas de radionúclidos de reacciones inducidas por neutrones, tanto en el propio grafito como en las impurezas menores que contiene. Debido a la estructura del grafito, que incluye hojas o capas poco empaquetadas, los radioisótopos pueden quedarse atrapados dentro de los espacios o poros del grafito. El contenido en radioisótopo se puede dividir convenientemente en dos categorías: isótopos de vida corta e isótopos de vida larga. Los isótopos de vida corta (tales como cobalto-60) hacen que el grafito sea difícil de manipular inmediatamente después del cierre del reactor, pero se desintegran después de unas decenas de años. Los isótopos de vida larga (principalmente carbono-14 y cloro-36) son motivo de preocupación debido a la posibilidad de su vertido a la biosfera. El carbono-14 se produce en el grafito de una de dos maneras. Una manera es la activación de gas nitrógeno, con el carbono-14 presente en los poros del grafito como gas dióxido de carbono. La segunda manera es a través de la activación de neutrones del carbono-13, que es un isótopo estable, natural, del carbono, que constituye algo más del 1 por ciento del carbono en el grafito. El carbono-14 fabricado de esta manera formaría parte de la matriz de grafito. El cloro-36 se forma de una forma similar por irradiación del cloro que queda en la matriz de grafito durante el proceso de sinterización de grafito. El procesado de grafito ofrece la oportunidad de separar la mayoría de la masa de grafito (carbono) de los radioisótopos de vida larga. A su vez, este procesado facilita el almacenamiento del residuo de grafito poco después del final de la vida del reactor, y puede permitir su reciclado.

35 Debido a las características del grafito y su masa, el procedimiento más común hasta la fecha para el desmantelamiento de los reactores moderados por grafito es almacenar el núcleo del reactor in situ durante un período de decenas de años después del cierre del reactor. Durante este período, los radioisótopos de vida corta se desintegran lo suficiente como para permitir el desmantelamiento manual posterior del moderador de grafito. La mayoría de los planes asumen después que el grafito se almacenará en su forma química existente, con un embalaje adicional apropiado para evitar la degradación o liberación durante el periodo largo de desintegración del carbono-14 y cloro-36.

40 El almacenamiento tiene determinadas consecuencias negativas, tales como las siguientes: 1) una implicación de responsabilidad financiera a largo plazo, 2) una estructura de almacenamiento visualmente intrusivo que no tiene una finalidad productiva, y 3) un requisito impuesto a la generación futura (que no obtuvo ningún beneficio del activo original) para completar la eliminación final. Si se va a desplazar el almacenamiento alternativo por la gestión a corto plazo, es esencial que el grafito se procese de una forma segura y radiológicamente aceptable.

45 Determinadas técnicas anteriores para tratar grafito radiactivo aplicaban calor y gases oxidantes para tratar el grafito para extraer una fracción suficiente de los radionúclidos de larga vida en el grafito. Estos procedimientos han demostrado que calentar o "calcinar" con gases inertes, tales como nitrógeno o argón, solos puede extraer sustancialmente todo el hidrógeno-3 (tritio) pero el procedimiento no puede extraer más de aproximadamente un sesenta (60) por ciento del carbono-14. Se han realizado procedimientos alternativos para mejorar la extracción del carbono-14 añadiendo cantidades limitadas de gases que contienen oxígeno al gas inerte para proporcionar oxígeno que puede convertir preferencialmente el carbono-14 a los gases monóxido de carbono o dióxido de carbono, que después se pueden extraer del grafito. Las pruebas con gases inertes y gases que contienen oxígeno (vapor, dióxido de carbono, óxido nitroso, oxígeno) han demostrado que es posible una mejora en la extracción del carbono-14 pero la presencia de oxígeno tiende a incrementar considerablemente la gasificación de la masa de grafito. Para reducir este efecto de gasificación cuando se combinan gases que contienen con los gases inertes, la temperatura de funcionamiento del procedimiento de calcinación se debe reducir o limitar para evitar la gasificación de la masa de grafito excesiva. Desafortunadamente, al reducir o

limitar la temperatura de calcinación, la cantidad de carbono-14 extraído también se reduce o se limita en gran medida. Como consecuencia, cuando se introducen gases que contienen oxígeno con los gases inertes, se debe reducir la concentración de estos gases oxidantes para que se puedan usar temperaturas más altas. Todavía, cuando las temperaturas de calcinación superan aproximadamente 1200° Celsius, la cantidad de masa de grafito gasificado es excesiva independientemente de la reducción en la concentración de gases que contienen oxígeno que se usan.

Los resultados de las pruebas de estos procedimientos demuestran que, si la concentración de gases que contienen oxígeno se limita lo suficiente para reducir la gasificación de la masa de grafito a temperaturas mayores de aprox. 1200° Celsius, entonces la extracción de carbono-14 se reduce en gran medida a menos de aproximadamente un sesenta (60) por ciento, lo que no es satisfactorio. Si se incrementa la concentración de gases que contienen oxígeno de tal forma que la extracción del carbono-14 sea satisfactoria, entonces se gasifica demasiada masa de grafito. En ambos casos, con estos procedimientos convencionales no se puede lograr un objetivo de volatilización de más de un noventa (90) por ciento del carbono-14 mientras se reduce simultáneamente la gasificación de masa de grafito a menos de un cinco (5) por ciento en peso.

Lo que se necesita son sistemas y procedimientos que puedan someter al grafito a un intervalo de temperaturas suficiente para volatilizar los radionúclidos sin gasificar la masa de grafito y específicamente sistemas y procedimientos que puedan extraer más de un 90 por ciento del carbono-14 mientras se gasifica menos de un 5 por ciento de la masa de grafito.

Sumario de la invención

Las realizaciones ejemplares de la presente invención proporcionan procedimientos que pueden someter al grafito a un intervalo de temperaturas suficiente para volatilizar los radionúclidos sin gasificar significativamente la masa de grafito. Un aspecto de la invención proporciona un procedimiento que incluye las etapas de (1) calentar un horno hasta una temperatura de entre 800° Celsius a 2000° Celsius; (2) introducir grafito contaminado con radionúclidos en el horno; (3) introducir un gas inerte en el horno; (4) introducir un gas reductor en el horno; y (5) extraer radionúclidos volatilizados del horno. Este procedimiento también puede incluir las etapas adicionales de:

- añadir un gas oxidante en el horno, y/o
- reducir el tamaño del grafito antes de introducir el grafito en el horno.

Este procedimiento también se puede caracterizar cuando:

- se gasifica menos de cinco (5) por ciento del grafito;
- la temperatura del proceso está entre de 1200° Celsius a 1500° Celsius;
- los radionúclidos comprenden carbono-14 y al menos un setenta (70) por ciento del carbono-14 se extrae del grafito;
- los radionúclidos comprenden carbono-14 y al menos un noventa (90) por ciento del carbono-14 se extrae del grafito;
- el gas de purga comprende al menos uno de nitrógeno, helio, y argón y el gas reductor comprende al menos uno de hidrógeno, hidrazina, amoníaco, monóxido de carbono y vapor de hidrocarburo;
- el gas de purga comprende uno o más gases reductores que pueden producir hidrógeno, monóxido de carbono (CO), amonio, o vapor orgánico libre;
- el gas oxidante comprende al menos uno de vapor, dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), oxígeno (O₂), aire, alcoholes (con grupos OH), u otros vapores oxigenados;
- las etapas de introducir el gas inerte en el horno e introducir el gas reductor en el horno comprenden introducir el gas inerte y el gas reductor en una posición próxima a la parte inferior del reactor y en el que el gas inerte y el gas reductor fluyen a través del grafito; y/o
- el horno comprende un reactor de lecho en movimiento orientado verticalmente y donde la etapa de introducir grafito contaminado con radionúclidos en el horno incluye introducir el grafito próximo a la parte superior del horno y donde las etapas de introducir el gas inerte en el horno e introducir el gas reductor en el horno incluyen introducir los gases próximos a la parte inferior del horno.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa un diagrama de bloques de un sistema para tratar grafito radiactivo de acuerdo con una

realización ejemplar de la presente invención.

La figura 2 representa un diagrama de flujo de un procedimiento para tratar grafito radiactivo de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

5 La figura 3 representa un diagrama esquemático de un horno para tratar grafito radiactivo de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones ejemplares

10 Las realizaciones ejemplares de la presente invención proporcionan sistemas y procedimientos para tratar grafito radiactivo contaminado con tritio, carbono-14, y cloro-36 y otros radionúclidos generados durante el funcionamiento de un reactor nuclear u otro procedimiento nuclear. Los sistemas y procedimientos incluyen un horno que funciona a temperaturas en el intervalo de 800° Celsius a 2000° Celsius con gases inertes, opcionalmente oxidantes y reductores. La combinación de temperaturas y gases permite la extracción de más de un 90 por ciento del carbono-14 dentro del grafito mientras que se gasifica menos de un 5 por ciento de la masa de grafito.

15 La figura 1 representa un diagrama de bloques de un sistema 100 para tratar grafito radiactivo de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. En referencia a la figura 1, un componente para la manipulación de materiales 110 recibe el grafito que se va a tratar en el sistema 100. Normalmente, se usa el grafito como moderador en un núcleo del reactor nuclear. Otras fuentes de grafito incluyen, pero no se limitan a, manguitos, soportes de elementos de combustibles, u otros componentes de reactor irradiados por el flujo de neutrones del reactor. Normalmente, este grafito estará contaminado con radionúclidos, tales como
20 hidrógeno-3 (tritio), carbono-14, cloro-36, hierro-55 y cobalto-60, y puede incluir otros productos de fisión y activación típicos.

25 El componente para la manipulación de materiales 110 dimensiona y sujeta el grafito en preparación para introducir el grafito en un horno 120. En grafito recibido en el componente para la manipulación de materiales 110 se habría extraído del reactor nuclear por cualquier procedimiento convencional. Estos procedimientos pueden incluir procedimientos húmedos, procedimientos secos o una combinación de ambos. La presente invención puede contemplar cualquier grafito seco o húmedo de cualquier tamaño o forma que resulte del procedimiento de extracción. Además, el grafito se puede empapar en agua u otra solución antes de que lo reciba el componente para la manipulación de materiales 110.

30 El grafito se puede tratar en forma granulada o en polvo. Un subcomponente reductor de tamaño 112 del componente para la manipulación de materiales 110 reduce el tamaño del grafito recibido antes de su introducción en el horno 120. En esta realización ejemplar, el grafito recibido se reduce hasta un tamaño de menos de 20 mm. Este tamaño pequeño potencia la volatilización de radionúclidos desde el grafito. Para reducir el tamaño del grafito, el subcomponente reductor de tamaño 112 ejemplar incluye una trituradora de mandíbulas o giratoria. Se puede usar otro equipo reductor de tamaño. Un subcomponente de tolva 114 del
35 componente para la manipulación de materiales 110 recibe grafito reducido en tamaño y sujeta el grafito en espera de su introducción en el horno 120. La atmósfera interna del subcomponente reductor de tamaño 112 ejemplar y del subcomponente de tolva 114 incluye una capa de gas inerte, tal como argón, nitrógeno, dióxido de carbono, u otro gas inerte similar. La atmósfera interna del subcomponente reductor de tamaño 112 ejemplar y del subcomponente de tolva 114 está conectada al sistema del gas de escape del horno 120, ya que se
40 pueden liberar algunos radionúclidos del grafito durante el procedimiento de reducción de tamaño. En una realización alternativa, se puede recibir el grafito en una forma y tamaño adecuados para su introducción en el horno 120 sin necesidad de una reducción de tamaño. De forma similar, un procedimiento continuo puede omitir el subcomponente de tolva 114.

45 El horno 120 incluye un recipiente usado para tratar el grafito dimensionado. El horno 120 funciona en un intervalo de temperatura de entre 800° Celsius a 2000° Celsius. La capacidad, forma, y tamaño del horno 120 pueden variar por aplicación. El horno 120 está construido con materiales adecuados para su funcionamiento a temperatura alta, tales como un recipiente de acero con revestimiento refractario. La presión de funcionamiento puede variar desde un fuerte vacío hasta ligeramente presurizado. Se puede usar cualquier tipo de horno o aparato incluyendo un horno de lecho fluidizado, lecho en movimiento, lecho por lotes o estático. Un horno
50 ejemplar es un horno de lecho en movimiento orientado verticalmente, en el que el grafito recién preparado entra en la parte superior de la pila y el grafito tratado se extrae de la parte inferior de la pila mientras que el gas de purga fluye hacia arriba (contracorriente) a través de la pila de grafito. (Véase la fig. 3, analizada continuación). Normalmente, el tratamiento por lotes del grafito podría implicar grafito en polvo usando un enfoque de lecho fluidizado. Para el grafito que es más grande que los polvos, se prefiere un horno de lecho en movimiento continuo. En la realización ejemplar, el horno 120 se calienta eléctricamente, pero se pueden usar
55 otros tipos de calefacción. Se prefiere la calefacción eléctrica ya que reduce la necesidad de introducir gases oxidantes en el recipiente, que puedan gasificar la masa de grafito y facilita el control de la temperatura y la eficiencia energética. El horno 120 recibe el grafito desde una entrada de materiales 117. Se pueden usar varias técnicas mecánicas para mover el grafito desde el componente para la manipulación de materiales 110

hasta el horno 120 a través de la entrada de materiales 117. En un sistema ejemplar, se usa una técnica de esclusa de aire de doble válvula para evitar que los gases de dentro del horno salgan del horno y para limitar la introducción de gases distintos de los gases inertes en el horno con el grafito.

5 El horno 120 incluye entradas de gas 130, 140, 150 para recibir uno o más gases de purga inertes, uno o más gases reductores, y opcionalmente uno o más gases oxidantes. Por supuesto, las entradas de gas 130, 140, 150 pueden ser una única entrada conectada a tres fuentes de gas diferentes, una fuente que proporciona gas de purga inerte, una segunda fuente que proporciona gas reductor, y una tercera fuente que proporciona un gas oxidante. Normalmente, la entrada o entradas de gas estarían situadas próximas a la parte inferior del horno 120, de modo que los gases puedan entrar en el recipiente y desplazarse a través del grafito residente en el 10 horno 120. El gas se puede introducir a través de un separador o distribuidor de flujo para distribuir el gas a través del volumen de grafito, pero no se requiere este componente. El horno incluye una salida 122 para radionúclidos volatilizados, que se llevan fuera de la salida 122 por el gas de purga inerte. El horno 120 también incluye una salida 124 para el grafito tratado.

15 Los radionúclidos volátiles se llevan fuera del horno por el flujo de gas de purga y se estabilizan en un subsistema de tratamiento 160, usando una técnica apropiada para tratar los radionúclidos. El grafito tratado se procesa adicionalmente en un subsistema de tratamiento 170, donde se embala para su almacenamiento definitivo como residuos "limpios" (no radiactivos) o se recicla.

20 El carbono-14 es más reactivo que o más móvil que la masa de carbono-12 en la matriz de grafito. La presencia de pequeñas cantidades de oxígeno proporciona el oxígeno necesario para convertir el carbono-14 en monóxido de carbono. Los gases reductores suprimen la oxidación del carbono 12 en la matriz de grafito. Un beneficio ejemplar de añadir gas reductor es que los compuestos de carbono-14 posibles en el grafito incluyen cianuro. La introducción de hidrógeno en el horno proporcionará átomos de hidrógeno se unen con el cianuro para producir cianuro de hidrógeno, que es volátil, por lo tanto, se puede extraer algo de carbono-14 por la presencia del gas reductor, incluyendo hidrógeno.

25 La figura 2 representa un diagrama de flujo de un procedimiento 200 para tratar grafito radiactivo de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. En referencia a las figuras 1 y 2, en la etapa 210, se introduce el grafito en el horno 120 desde el subcomponente de tolva 114 del componente para la manipulación de materiales 110 por una transferencia mecánica del grafito en el horno. En esta realización ejemplar, el procedimiento se realiza de forma discontinua. De forma alternativa, se puede tratar el grafito en un 30 procedimiento continuo, tal como cuando el grafito entra en la parte superior del horno 120 y sale por la parte inferior del horno 120 y los gases reactivos entrar en la parte inferior del horno 120 y salen por la parte superior del horno 120. Se puede omitir el subcomponente de tolva 114.

35 Antes de introducir el grafito en el horno 120, se hace que el horno 120 alcance la temperatura de tratamiento. Esta temperatura varía de desde 800° Celsius hasta 2000° Celsius. En esta realización ejemplar, el intervalo de temperaturas preferidas es de 1200° Celsius a 1500° Celsius, ya que en este procedimiento ejemplar se usan gases reductores. Los procedimientos de tratamiento de grafito previos para extraer el carbono-14 del grafito se limitaron a temperaturas de aproximadamente 1200° Celsius, debido a la alta gasificación del grafito que resultaba del funcionamiento del horno con gases que contenían oxígeno por encima de 1200° Celsius. Por la 40 introducción de gases reductores en el procedimiento de tratamiento, el horno 120 pueda funcionar a temperaturas mayores de 1200° Celsius. Estas temperaturas de funcionamiento más altas permiten la liberación de esencialmente todo el tritio, sustancialmente todo (más de un 90 por ciento) del cloro-36, y la mayoría (más de un 70 por ciento) del carbono-14 del grafito.

45 En la etapa 220, se introducen gases de reacción dentro del horno 120. Estos gases se ponen en contacto con el grafito calentado mientras fluyen a través del grafito calentado. Estos gases de reacción incluyen al menos un gas de purga inerte y un gas reductor. Los gases de purga incluyen uno o más de nitrógeno, argón, o un gas no reactivo similar. No se deben usar gases inertes tales como dióxido de carbono ya que estos gases proporcionarían una fuente de oxígeno que puede gasificar la masa de carbono. Un gas reductor, tal como hidrógeno, hidrazina, amoníaco, monóxido de carbono, vapor de hidrocarburo y otros gases reductores que pueden producir hidrógeno, monóxido de carbono, o amonio o vapor orgánico libre, también se introduce en la 50 etapa 220. La cantidad de gas reductor introducida está entre cien partes por millón y cincuenta (50) por ciento del total de gas introducido y preferentemente en el intervalo de dos (2) a veinte (20) por ciento y más preferente de entre dos (2) y diez (10) por ciento. Esta mezcla de gas de purga inerte y gas reductor se introduce en el horno 120 próxima a la parte inferior del horno 120. El gas se mueve hacia arriba a través del grafito y lleva los radionúclidos volatilizados fuera del horno 120 a la salida 124. Incluso con la inclusión de un gas oxidante, la 55 inclusión de gas reductor reduce de forma importante la gasificación de la masa de grafito, de modo que se gasifica menos de un cinco (5) por ciento de la masa de grafito. Además, funcionando a temperaturas de aproximadamente 1200° Celsius y usando una mezcla de un gas de purga inerte, gas oxidante, y gas reductor da como resultado la extracción de la mayoría a sustancialmente todo el carbono-14. En una realización alternativa, los gases de reacción también incluyen un oxidante. La presencia de oxígeno convierte el 60 carbono-14 sólido en dióxido de carbono o gas CO, lo que facilita su difusión desde la matriz de grafito. La combinación del gas de purga inerte (preferentemente nitrógeno) con una cantidad limitada de gases que

5 contienen oxígeno, tales como vapor, dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), oxígeno (O₂), aire, alcoholes (grupos OH), o otros vapores oxigenados, y gas reductor, tal como hidrógeno, proporciona una extracción de radionúclidos de carbono-14 potenciada en comparación con todas las técnicas anteriores mientras que se limita la gasificación de la masa de grafito. El gas oxidante preferido es vapor que constituiría aproximadamente de un uno (1) a un cincuenta (50) por ciento del total de gases de reacción de entrada (preferentemente de un dos (2) a un diez (10) por ciento). Si se usa dióxido de carbono o bien óxido nitroso como gas oxidante, constituiría aproximadamente de un uno (1) a un diez (10) por ciento del total de gases de reacción de entrada. La inclusión del gas reductor reduce de forma importante la gasificación de la masa de grafito en presencia del oxidante, de modo que se gasifica menos de un cinco (5) por ciento de la masa de grafito. El gas reductor desplaza el equilibrio de reacción respecto al oxígeno con la masa de grafito de modo que la velocidad de reacción del gas que contiene oxígeno se inhibe sustancialmente, evitando así que el oxidante reaccione con la masa de grafito.

10 En la etapa 230, el gas de purga se recoge en el subsistema de tratamiento 160, cuando los radionúclidos se estabilizan usando procedimientos conocidos. En la etapa 240, se extrae el grafito del horno 120 y se trata en el subsistema de tratamiento 170. Normalmente, el grafito tratado se almacenaría en un vertedero o se reciclaría y se trataría como un residuo radiactivo de baja actividad en lugar de residuos radiactivos de media actividad. El procedimiento finaliza en la etapa 250. Se puede repetir el procedimiento en caso necesario.

15 La figura 3 muestra un esquema de un horno ejemplar 300. Se introduce el grafito a través de un sistema alimentador (no mostrado), tal como una tolva, en una entrada 310, bajo una capa de gas inerte. Se introducen los gases de reacción en una entrada 370, de modo que los gases de reacción fluyen hacia arriba a través del grafito y hacia fuera en la salida de gas de escape 320 mientras que el grafito se mueve hacia abajo en el recipiente 330. Mientras el grafito se mueve a través del recipiente 330, que puede ser un tubo de cerámica, se calienta (representado como grafito calentado 340). El recipiente 330 está rodeado por una fuente de calefacción 350, tal como serpentines de calefacción eléctricos. El recipiente 330 y la fuente de calefacción 350 están contenidos dentro de un recipiente exterior 360, tal como una carcasa de metal con revestimiento refractario. Se extrae el grafito tratado del recipiente 330 a través de un puerto de salida 380.

20 Un experto en la técnica entenderá que la presente invención proporciona procedimientos para tratar grafito radiactivo contaminado con tritio, carbono-14, y cloro-36 y otros radionúclidos generados durante el funcionamiento de un reactor nuclear u otro procedimiento nuclear. Los procedimientos incluyen un horno que funciona a temperaturas en el intervalo de 800° Celsius a 2000° Celsius con gases inertes, opcionalmente gases oxidantes y gases reductores. La combinación de temperaturas y gases permite la extracción de la mayoría de sustancialmente todo el carbono-14 dentro del grafito mientras que se limita sustancialmente la gasificación de la masa de grafito.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento que comprende las etapas de:
 calentar un horno a una temperatura de entre 800° Celsius a 2000° Celsius;
 introducir grafito contaminado con radionúclidos en el horno;
- 5 introducir un gas inerte en el horno;
 introducir un gas reductor en el horno; y
 retirar radionúclidos volatilizados desde el horno.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se gasifica menos de un cinco (5) por ciento del grafito.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la temperatura está entre de 1200° Celsius a 1500° Celsius.
- 10 4. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que los radionúclidos comprenden carbono-14 y al menos un setenta (70) por ciento del carbono-14 se extrae del grafito.
5. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que los radionúclidos comprenden carbono-14 y al menos un noventa (90) por ciento del carbono-14 se extrae del grafito.
- 15 6. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que el gas de purga comprende al menos uno de nitrógeno, helio, y argón y el gas reductor comprende al menos uno de hidrógeno, hidrazina, amoníaco, monóxido de carbono y vapor de hidrocarburo.
7. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente en el que el gas de purga comprende uno o más gases reductores que pueden producir hidrógeno, monóxido de carbono (CO), amonio, o vapor orgánico libres.
- 20 8. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, que comprende además la etapa de añadir un gas oxidante en el horno.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el gas oxidante comprende al menos uno de vapor, dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), oxígeno (O₂), aire, alcoholes (con grupos OH), u otros vapores oxigenados.
- 25 10. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente en el que las etapas de introducir el gas inerte en el horno e introducir el gas reductor en el horno comprenden introducir el gas inerte y el gas reductor en una posición próxima a la parte inferior del reactor y en el que el gas inerte y el gas reductor fluyen a través del grafito.
- 30 11. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente que comprende además la etapa de reducir el tamaño del grafito antes de introducir el grafito en el horno.
12. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente en el que el horno comprende un reactor de lecho en movimiento orientado verticalmente y en el que la etapa de introducir grafito contaminado con radionúclidos en el horno comprende introducir el grafito próximo a la parte superior del horno y en el que las etapas de introducir el gas inerte en el horno e introducir el gas reductor en el horno comprenden introducir los gases próximos a la parte inferior del horno.
- 35

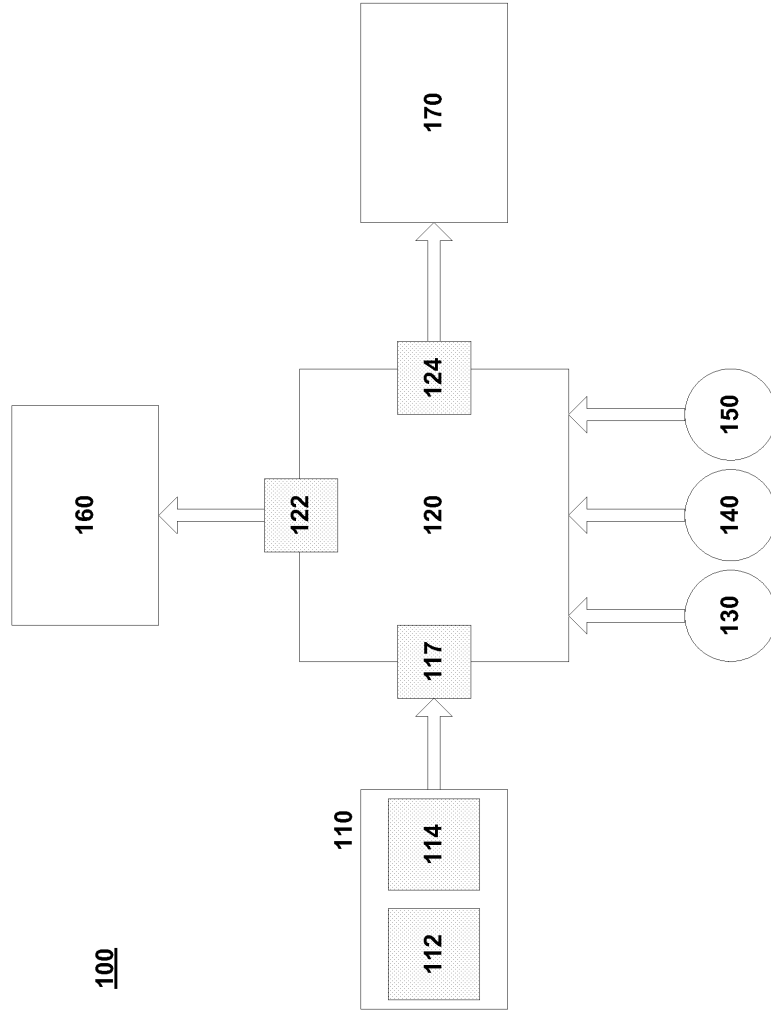


Fig. 1

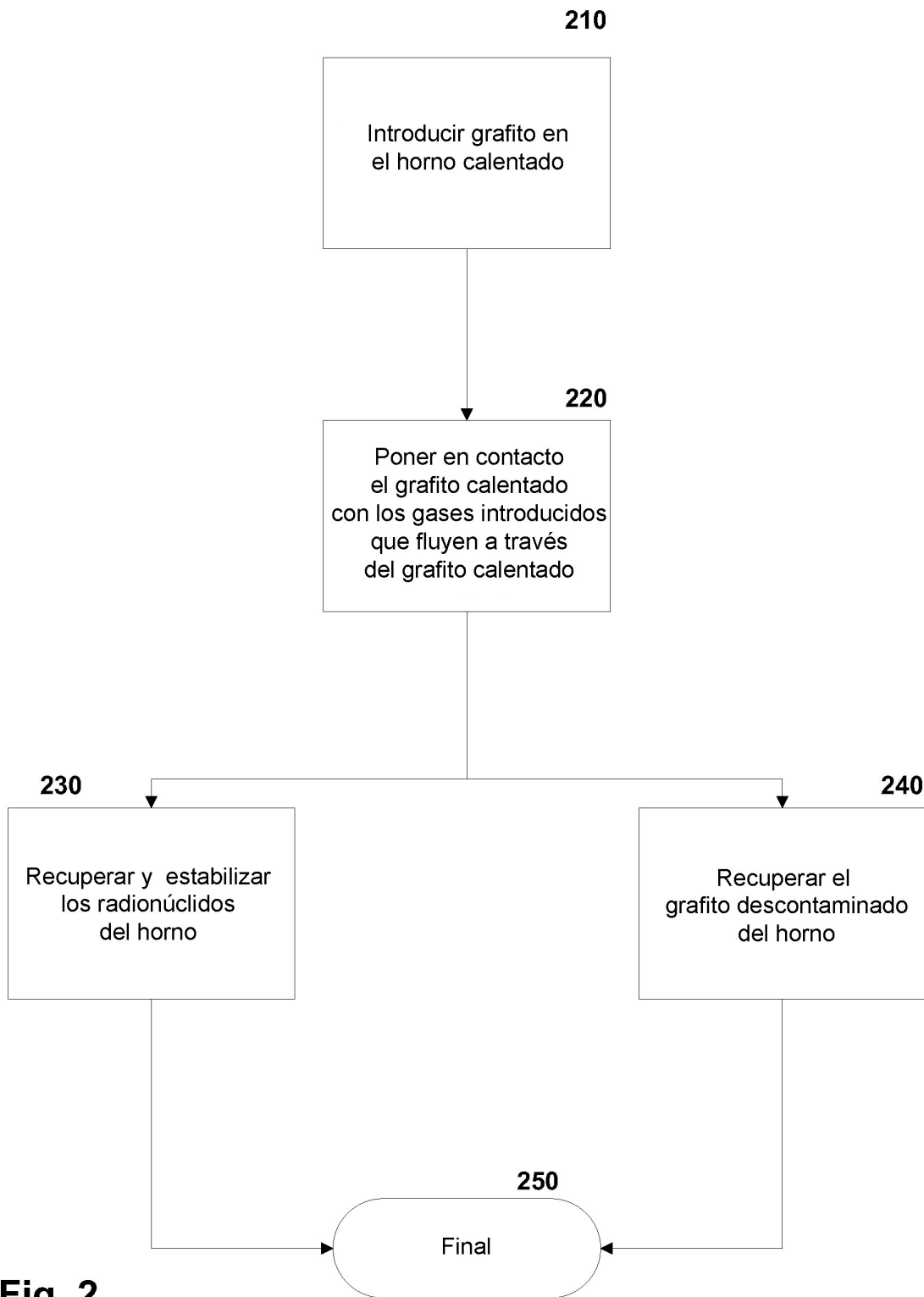


Fig. 2

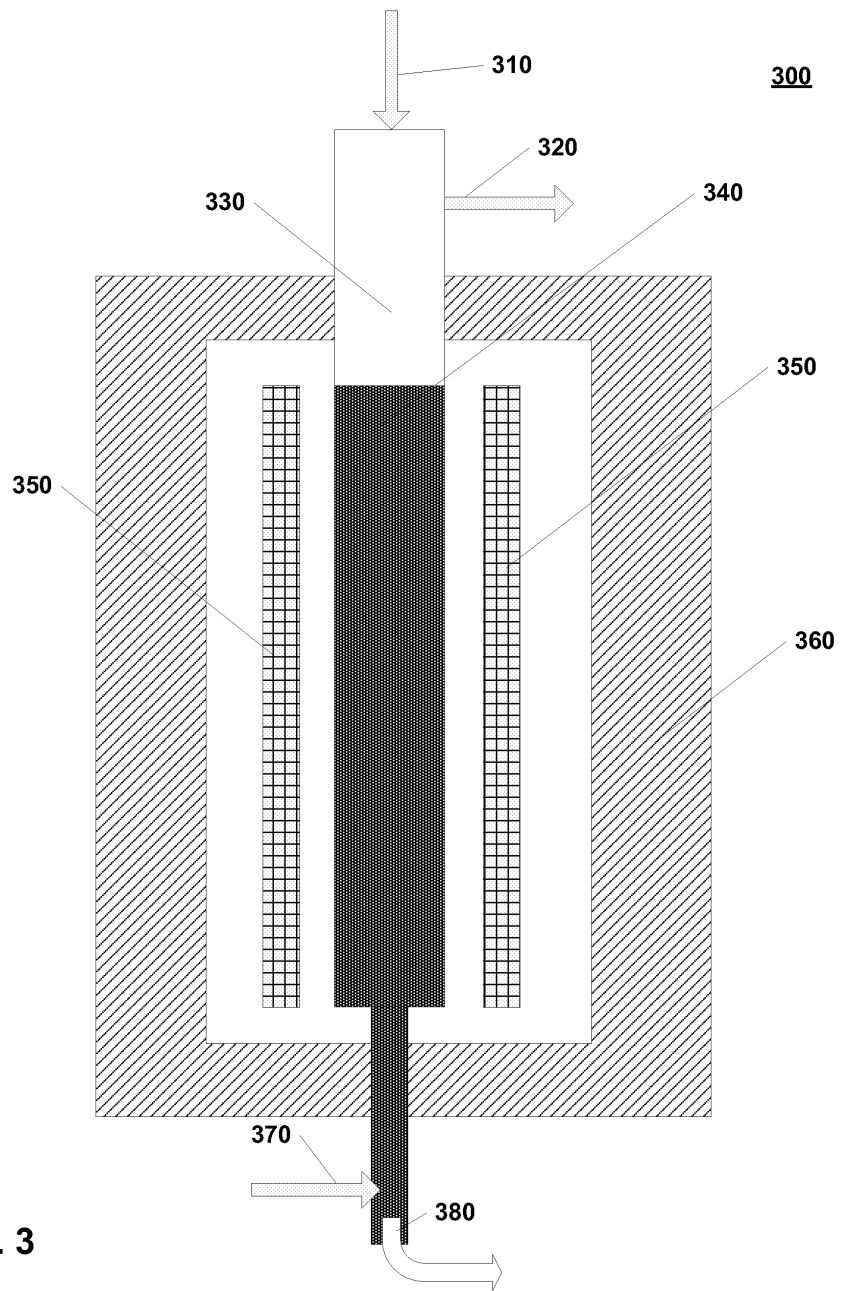


Fig. 3