

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 089**

51 Int. Cl.:

**G21G 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2005 E 05257403 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la • [ 25 ] a europea: **07.06.2006 EP 1667166**

54 Título: **Procedimiento para producir isótopos en reactores nucleares de potencia**

30 Prioridad:

**03.12.2004 US 2680**

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

**17.01.2013**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**FAWCETT, RUSSELL MORGAN;  
HIGGINS, RUSSELL PATRICK;  
KIERNAN, MICHAEL THOMAS;  
GONZALES, RANDY PETER;  
JAMES, ROBERT BRYANT;  
RUSSELL, II, WILLIAM EARL;  
SHELTON, STEVEN BRUCE;  
STACHOWSKI, RUSSELL EDWARD;  
SMITH, DAVID GREY y  
TROSMAN, LUKAS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 394 089 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para producir isótopos en reactores nucleares de potencia

La presente invención se refiere en general a la producción de isótopos en reactores de potencia de agua ligera.

Se usan una amplia variedad de isótopos radiactivos para aplicaciones médicas, industriales, de investigación y comerciales. En general, los radioisótopos pueden producirse irradiando materiales de isótopo diana con partículas nucleares. Los átomos diana tanto se convierten directamente en el isótopo deseado, como un radioisótopo se produce mediante una cadena de absorción y decaimiento que posteriormente genera el producto radiactivo deseado.

Lo último es el caso, por ejemplo, en la producción del importante isótopo de obtención de imágenes médicas tecnecio-99m, que representa aproximadamente el 90% de los isótopos usados en la medicina nuclear de hoy en día. El Tc-99m produce rayos gamma de alta energía, que facilita la detección, y su corta semivida de 6 horas minimiza la dosis de radiación administrada al paciente. La obtención de imágenes médicas nucleares es única en su capacidad para analizar la estructura y el funcionamiento de órganos. Permite la obtención de información de diagnóstico que de otro modo requeriría cirugía, o no estaría disponible en absoluto. También promueve la detección y el tratamiento precoz de cánceres y otros problemas.

Se usan dos tecnologías diferentes para proporcionar la fuente de radiación para la producción de radioisótopos: reactores nucleares, que producen un flujo de neutrones, y aceleradores de partículas o ciclotrones, que producen un flujo de partículas cargadas, normalmente protones, pero algunas veces electrones u otras partículas. Como ejemplo, el Tc-99m es el producto hija de decaimiento de Mo-99, un isótopo con una semivida de 66 horas que se produce en reactores nucleares como producto de fisión del bombardeo con neutrones de una material diana de uranio. Esta es la fuente de todos los Tc-99m usados en el mundo hoy en día. Después de la irradiación, el Mo-99 se recupera de la diana, y se empaqueta en un dispositivo de producción del que el tecnecio puede eluirse en forma sustancialmente pura, según se necesite, para preparar productos radiofarmacéuticos para procedimientos médicos nucleares.

Otros radioisótopos a modo de ejemplo usados para aplicaciones médicas, industriales, de investigación y comerciales incluyen talio-201, que se usa para la obtención de imágenes cardíacas médicas; calcio-44, que se usa en estudios de crecimiento óseo; iridio-192, que se usa para pruebas no destructivas de materiales de construcción y otros materiales; cobalto-60, que se usa para destruir células cancerosas, para desinfectar equipo quirúrgico y medicaciones, y la esterilización de víveres; tulio-170, que se usa para irradiaciones de sangre portátiles para leucemia, tratamiento de linfoma y fuente de alimentación; gadolinio-153, que se usa para la detección de osteoporosis y la obtención de imágenes de SPECT; níquel-63, que puede usarse para la creación de baterías de larga duración; y americio-241, que se usa en detectores de humo. Además, los rápidos avances en la medicina nuclear y otros campos están centrando su atención en varios isótopos que no se han considerado previamente comercialmente importantes.

Como ejemplo de un reactor convencional usado en la producción de radioisótopos, los radioisótopos médicos e industriales han sido producidos desde 1957 por el reactor Universal de investigación nacional (NRU) de Canadá en los Laboratorios de Chalk River de Energía atómica de Canadá (AECL) en Ontario, Canadá. El NRU es un reactor CANDU diseñado para la investigación de haces de neutrones, investigación de materiales y producción de isótopos médicos/industriales. En general, las plantas CANDU están diseñadas para usar agua pesada (óxido de deuterio, o D<sub>2</sub>O) como moderador y refrigerante. El uso de agua pesada, combinado con otras características de su diseño, permite que el reactor CANDU use combustible de uranio natural (UN), que es relativamente barato y abundante en el mundo.

El NRU produce un alto porcentaje de los radioisótopos médicos e industriales en el mundo, que incluyen molibdeno-99, un isótopo crítico usado para diagnósticos médicos. En general, las barras de espécimen que contienen un isótopo diana se insertan por las penetraciones en el NRU en un procedimiento continuo y se someten a irradiación en su interior, de manera que se producen isótopos a una actividad específica deseada para su uso en medicina nuclear y/o aplicaciones industriales.

Dos reactores de especialidad, MAPLE 1 y MAPLE 2, están en construcción en los Laboratorios Chalk River. Estos reactores pretenden sustituir al NRU. MAPLE 1 y MAPLE 2 están dedicados exclusivamente a la producción de radioisótopos médicos. Estos reactores de investigación no están previstos ni están diseñados para la generación de potencia comercial, ya que están siendo diseñados para niveles de potencia de aproximadamente 10 MW<sub>t</sub>. MAPLE es un reactor de investigación de tipo baja presión, baja temperatura, de tanque abierto en piscina que usa combustible de uranio de bajo enriquecimiento (UBE). El núcleo es compacto, y se enfría y se modera por agua ligera. Rodeando el núcleo de agua ligera está un tanque reflector de agua pesada que maximiza los flujos de neutrones disponibles necesarios para la generación de radioisótopos.

Realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención se refieren, en general, a un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de potencia de agua ligera, en que al menos una o más dianas dentro del reactor son irradiadas bajo un flujo de neutrones para producir al menos uno o más isótopos. El reactor incluye al

menos un haz de combustible configurado para incluir una de una pluralidad de barras de combustible de longitud completa, barras de combustible de longitud parcial, una o más barras compuestas por una pluralidad de segmentos, o combinaciones de barras de longitud completa, de longitud parcial, segmentadas y barras de agua. El cargar la al menos una o más dianas dentro del reactor incluye disponer la al menos una diana dentro de una estructura de contención, e insertar al menos una estructura de contención con diana en al menos una o más de una barra de longitud completa, barra de longitud parcial, uno o más segmentos de una barra segmentada y barra de agua del haz de combustible, o en combinaciones de las mismas, para formar una pluralidad de barras diana en el al menos un haz. Las dianas se cargan en un núcleo del reactor en un parada dada. Las operaciones de potencia en el reactor irradian los haces de combustible de manera que se generan los isótopos deseados, tales como uno o más radioisótopos a una actividad específica deseada o isótopos estables a una concentración deseada. El isótopo producido se saca del reactor después de irradiar al menos una diana durante un ciclo de energía del reactor. La al menos una diana está seleccionada de un grupo de isótopos que comprende uno o más de los isótopos de cadmio, cobalto, níquel, talio.

La presente invención será más evidente describiendo en detalle realizaciones a modo de ejemplo de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en la que elementos similares se representan por números de referencia similares que se facilitan sólo a modo de ilustración, y en las que:

La FIG. 1 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de potencia de agua ligera según una realización a modo de ejemplo de la invención.

La FIG. 2 ilustra un haz de combustible a modo de ejemplo de un reactor nuclear según una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La FIG. 3 ilustra una sección parcial de una porción de tubo de una barra para ilustrar una estructura de contención con diana según una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de producción de isótopos en barras diana de un haz de combustible dentro de un reactor de potencia de agua ligera según una realización a modo de ejemplo de la invención.

Como va a describirse en mayor detalle más adelante, las realizaciones a modo de ejemplo pueden referirse a usar reactores de potencia de agua ligera diseñados para la generación de potencia comercial para producir isótopos médicos e industriales, además de generar potencia térmica y eléctrica para uso residencial, comercial y/o industrial. A diferencia de los reactores de investigación dedicados sólo a la producción de radioisótopos, estos reactores de potencia en agua ligera pueden ser reactores de agua en ebullición (RAE) existentes y/o reactores de agua a presión (RAP) que están configurados para generar al menos 100 megavatios térmicos (MW<sub>t</sub>) y en el ejemplo en el orden de varios cientos o miles de MW<sub>t</sub>. Estos RAL de potencia generalmente tienen un enriquecimiento promedio del haz inferior al 10%.

La FIG. 1 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de potencia de agua ligera, según una realización a modo de ejemplo de la invención. Con referencia a la FIG. 1, el material de isótopo diana se carga en un reactor de potencia de agua ligera durante un periodo de parada planeado entre operaciones de potencia o incluso antes de la operación del reactor inicial (S100). Las dianas se cargan en uno o más haces de combustible que van a ensamblarse en el reactor durante el periodo de parada. El haz de combustible está configurado para incluir una pluralidad de una o más (o todas) barras de longitud completa, una o más (o todas) barras de longitud parcial, una o más barras compuestas por una pluralidad de segmentos para realizar una barra segmentada, o combinaciones de una o más barras de longitud completa, longitud parcial y segmentadas. El isótopo diana se aloja dentro de una estructura de contención que se inserta o está dispuesta dentro de una o más barras de longitud completa dadas, barras de longitud parcial, barras segmentadas o barras de agua del haz de combustible de manera que formen "barras diana" para irradiación en el haz del reactor.

Una vez se ensamblan el (los) haz (haces) de combustible con una o más barras diana, el (los) haz (haces) de combustible, que puede denominarse ocasionalmente "haces de generación de isótopos en grandes cantidades (BIG)", se ensamblan en el núcleo durante el periodo de parada. Después comienzan las operaciones de potencia para un siguiente ciclo de energía en el reactor para irradiar el material diana en su interior (S200). El ciclo de energía representa un periodo de tiempo (un periodo de exposición como se mide en megavatio-días por corto periodo de tiempo (MWD/st)) en que el reactor opera para generar potencia entre paradas planeadas. Ciclos de energía a modo de ejemplo para RAE y/o RAP pueden ser 12 meses, 18 meses, 2 años, etc., por ejemplo.

Durante las operaciones de potencia, aquellos haces de combustible que contienen dianas son irradiados bajo un flujo de neutrones con el fin de producir isótopos deseados. El isótopo producido puede entenderse como un radioisótopo producido a partir del material de isótopo diana a una actividad específica deseada, o un isótopo estable que se produce a partir del de material de isótopo diana a una concentración deseada, ya que la diana absorbe uno o más neutrones durante el ciclo de energía.

Los isótopos producidos se sacan en la parada previamente planeada al final del ciclo (S300) de manera que la extracción del producto de isótopo coincida con la parada previamente planeada, de manera que se minimice el

impacto sobre la producción de energía esperada del reactor de potencia de agua ligera. Por consiguiente, al final del ciclo, el reactor se desconecta y aquellos haces con isótopos producidos (haces de BIG) se sacan o se descargan del reactor durante la parada planeada tras la desconexión.

5 La FIG. 2 ilustra un haz de combustible a modo de ejemplo de un reactor de potencia de agua ligera tal como un reactor de agua en ebullición (RAE). El haz 10 de combustible puede representar un haz de BIG a modo de ejemplo para producir isótopos en un reactor de potencia de agua ligera, entendiéndose que las realizaciones a modo de ejemplo no se limitan a la configuración de haz de combustible a modo de ejemplo en la FIG. 2. El haz 10 de combustible puede incluir un canal 12 externo que rodea una placa 14 de sujeción superior y una placa 16 de sujeción inferior. Una pluralidad de barras 18a-c pueden disponerse en una matriz dentro del haz 10 de combustible y pasar a través de una pluralidad de espaciadores 20 (también conocidos como rejillas espaciadoras) verticalmente separados el uno del otro manteniéndose las barras 18a-c en la matriz dada del mismo.

15 Las barras 18a-c y al menos un par de barras 22 y 24 de agua pueden mantenerse en relación separada las unas con respecto a las otras en el haz 10 de combustible por una pluralidad de espaciadores 20 proporcionados en localizaciones axiales diferentes en el haz 10 de combustible de manera que definan pasos para el flujo de refrigerante del reactor entre las barras 18a-c en el haz 10 de combustible. En la FIG. 2, la matriz de disposición de barras puede ser una matriz de 10X10, aunque el haz 10 de combustible ilustrativo puede tener una matriz de disposición diferente de las barras 18a-c, tal como una matriz de 9X9. El haz 10 puede incluir todas las barras 18a de combustible de longitud completa, todas las barras 18b de longitud parcial, todas las barras 18c segmentadas y/o cualquier combinación de barras 18a-c completas, de longitud parcial y/o segmentadas; se muestra que el haz 10 de la FIG. 2 incluye todas las configuraciones de barras 18a-c simplemente como un ejemplo. Las barras 22 y 24 de agua (se muestran dos, puede haber más o menos barras de agua en el haz 10) pueden disponerse entre las barras 18a-c en el haz 10, entre la placa 16 de sujeción inferior y la placa 14 de sujeción superior. Las barras 22, 24 de agua sirven para transferir el líquido del moderador de las regiones inferiores del haz 10 de combustible nuclear a las regiones superiores.

25 La FIG. 3 ilustra una porción de tubo de una barra para ilustrar una estructura de contención con diana según una realización a modo de ejemplo de la presente invención. La FIG. 3 muestra una porción 180 de tubo de una barra 18a-c a modo de ejemplo del haz 10 de combustible, entendiéndose que esta porción 180 de tubo podría ser parte de una barra 18a de longitud completa, barra 18b de longitud parcial y/o parte de un segmento de una barra 18c segmentada.

30 En una realización a modo de ejemplo de la presente invención, diversas barras 18a-c pueden incluir un ensamblaje de recipiente en su interior. La FIG. 3 ilustra una porción 180 de tubo que puede ser una sección de una de las barras 18a-c, por ejemplo, o alternativamente, parte de un cierre del extremo superior o inferior. La porción 180 de tubo se muestra como transparencia (transparente) de manera que ilustra un ensamblaje 300 de recipiente y diversas características o componentes del ensamblaje 300 de recipiente proporcionado en su interior en más detalle. El ensamblaje 300 de recipiente puede incluir una estructura 310 de contención que aloja una o más dianas 320 de irradiación que producen uno o más isótopos deseados cuando un haz 10 de combustible que contiene una o más barras 18a-c con ensamblaje 300 de recipiente es irradiado en el núcleo del reactor de potencia de agua ligera. Como se desea anteriormente, una barra 18a-c con el ensamblaje 300 de recipiente puede denominarse una barra diana. Una o más porciones 180 de tubo de un barra 18a-c diana dada pueden cada una incluir, por ejemplo, las mismas dianas 320 de irradiación, diferentes o múltiples.

40 Con referencia a la FIG. 3, en un ejemplo la estructura 310 de contención puede ser sustancialmente hueca, de una forma generalmente cilíndrica y puede estar cerrada en un extremo 311, abierto en el otro extremo 312 y puede incluir un cierre 313 para cerrar la estructura 310 por una tapa 330 del extremo adecuado, aunque los tapones 330 del extremo puede proporcionarse en ambos extremos. Aunque se muestra que la estructura 310 de contención tiene una forma generalmente cilíndrica, la estructura 310 de contención puede estar orientada en cualquier forma geométrica mientras que el diámetro mayor de la forma sea inferior al diámetro interno de una porción 180 de tubo de una barra 18a-c dada. La estructura 310 de contención puede estar hecha de un material adecuado tal como una aleación de circonio, por ejemplo, aunque no se limita a este material, también podría ser un acero inoxidable o aleación del mismo.

50 La estructura 310 de contención aloja una o más dianas 320 de irradiación (es decir, dianas de isótopo) en su interior. La diana 320 mostrada en la FIG. 3 se ilustra en una forma generalmente sólida cilíndrica. Sin embargo, la diana 320 de irradiación puede realizarse como un sólido, líquido y/o gas. En otro ejemplo, la diana 320 puede estar en forma de 'BB' o puede asumir una forma similar a pella que es comparable, por ejemplo, al tamaño de pella de pellas de UO<sub>2</sub> existentes. La diana 320 puede tomar cualquier geometría mientras que el diámetro de la geometría sea suficientemente pequeño para ajustarse dentro de la estructura 310 de contención (inferior a un diámetro interno de la estructura 310 de contención) dentro de una barra 18a-c dada. Por tanto, la estructura 310 de contención proporciona una contención doble para el isótopo 320 diana dentro de la barra 18a-c cuando se inserta en su interior en el momento de la fabricación de la barra 18a-c.

60 Opcionalmente, un interior de la estructura 310 de contención puede incluir un muelle 340 para proporcionar una fuerza contraria contra la diana 320 cuando se cierra por el tapón 330 del extremo. El tapón 330 del extremo puede

unirse a la estructura 310 de contención por medios de unión adecuados, es decir, soldadura, unión roscada, conexión por fricción, etc. La estructura 310 de contención puede incluir un orificio 303 guía en el extremo 311 para sacar la(s) diana(s) 320 después de la irradiación (incluyendo material de isótopo en su interior). El extremo 311 puede incluir roscas 301 exteriores y un anillo 302 en O que se usa para cerrar el ensamblaje 300 del recipiente cuando se inserta en una parte del equipo. El orificio 303 guía puede incluir roscas interiores para ayudar a sacar el ensamblaje 300 del recipiente de una barra 18a-c. Más detalles de ensamblajes de recipientes adecuados se describen en la solicitud de patente en tramitación junto con la presente por las invenciones tituladas "Ensamblaje de barras para reactores nucleares", expediente del apoderado n° 158464-1 (EP 1667165).

Por tanto, una o más porciones 180 de tubo de una barra 18a-c dada incluyen ensamblajes 300 de recipientes con la misma diana 320, diferentes dianas o múltiples dianas que producen, por ejemplo, diferentes isótopos a una actividad específica deseada (radioisótopos) y/o diferentes isótopos estables a concentración deseada. En otras palabras, una barra 18a-c diana dada puede incluir una pluralidad de las mismas dianas 320 o diferentes separadas axialmente en diferentes localizaciones a lo largo de la barra 18a-c diana.

Según la invención, al menos una barra diana incluye uno o más ensamblajes 300 de recipientes, pero no incluye combustible nuclear (es decir, "combustible nuclear" puede entenderse como enriquecimientos deseados de uranio de pellas de  $UO_2$  y/o gadolinio). En un aspecto, la diana 320 puede recubrirse con un material magnético para mejorar la solubilidad y prevenir la liberación de material diana en su interior en el refrigerante del reactor.

En otro aspecto, una o más de las barras 18a-c diana (barras de longitud completa, longitud parcial y/o segmentadas) también pueden incluir enriquecimientos deseados de uranio y/o gadolinio. Un haz 10 de combustible dado puede incluir diversas combinaciones de barras 18a-c que incluyen combustible nuclear, barras 18a-c que no incluyen combustible nuclear, pero incluyen dianas 320, y barras 18a-c que tienen uranio y/o gadolinio enriquecido zonificado en ciertas localizaciones axiales con dianas 320 situadas en otras localizaciones axiales dentro de la barra 18a-c diana a lo largo de la longitud de la misma. Las localizaciones axiales y/o radiales y concentraciones de combustible y venenos pueden basarse, por ejemplo, en las características deseadas del haz 10 para un ciclo de energía planeado en el reactor de potencia de agua ligera. En un ejemplo, un segmento de barra de la barra 18a-c segmentada que incluye un ensamblaje 300 de recipiente también podría incluir combustible nuclear, aunque segmentos de barras adyacentes podrían incluir combustible nuclear en su interior.

La diana 320 está seleccionada de isótopos que comprenden uno o más de isótopo de cadmio, cobalto, níquel y/o talio. Deseablemente, una porción 180 de tubo dada y/o ensamblaje 300 de recipiente puede incluir marcas o indicadores sobre el mismo para indicar qué diana 320 está cargada en su interior, por ejemplo, y/o qué isótopo va a producirse a partir de esa diana. Como se trata anteriormente, la diana 320 puede encarnarse en forma sólida, líquida o de gas y disponerse dentro de una porción 180 de tubo de una barra diana 18a-c.

Puede desearse disponer la diana 320 en el reactor en una localización que maximice la actividad específica del radioisótopo producido/concentración de isótopo estable producido al final del ciclo. Las propiedades del isótopo diana y radioisótopos producidos o isótopos estables pueden considerarse en esta determinación. Por consiguiente, la diana 320 puede disponerse en una localización en el reactor que pueda determinarse en función de la sección transversal de la absorción del propio isótopo diana, y también en función de la semivida del isótopo producido y la sección transversal de absorción del isótopo producido. Estos factores influyen el zonado axial y radial del material diana dentro del haz de combustible, y más específicamente dentro de las barras 18a-c diana individuales de un haz de BIG tal como, por ejemplo, el haz 10 de combustible. La sección transversal de absorción de la estructura 310 de contención que aloja la diana 320 también puede ser un factor. Usando una estructura 310 de contención con un material tal como acero inoxidable en lugar de zircaloy puede lograrse el flujo de neutrones reducido deseado sobre la diana, produciendo un isótopo específico de alta actividad al final del ciclo sin agotamiento prematuro del isótopo producido.

Las localizaciones axiales y radiales dentro del núcleo pueden ser variables independientes sustancialmente fuertes que afectan la cantidad y características espectrales del flujo de neutrones que observará una diana. Por ejemplo, si las características de absorción/decaimiento indican que se desea un flujo mayor para maximizar la actividad específica, puede desearse la disposición del haz lejos de los límites del núcleo (hacia el centro del núcleo) en direcciones tanto radiales como axiales. Similarmente, si las características de absorción/decaimiento indican que se desea un flujo inferior para prevenir el agotamiento del isótopo diana, entonces el haz diana debe disponerse hacia el perímetro del núcleo y/o en la parte superior o inferior del extremo del haz.

Por tanto, la selección de la localización de la barra diana dentro de un haz de BIG diana dado puede influir enormemente en la actividad específica final. Como se muestra en el ejemplo del haz 10 de la FIG. 2, barras localizadas hacia el perímetro y el borde del haz en un BWR producen un mayor flujo térmico que las barras hacia las regiones internas del haz. Por tanto, basándose en las características de absorción/decaimiento, pueden seleccionarse localizaciones de barras apropiadas.

Aunque el ensamblaje 300 de recipiente con diana 320 se ha descrito que está localizado en una porción 180 de tubo de una barra 18a-c dada en la que no hay combustible nuclear, para algunas dianas de isótopo puede desearse rodear el ensamblaje 300 de recipiente con enriquecimiento adicional. Por ejemplo, una porción 180 de tubo que

contiene la estructura 310 de contención puede empaquetarse con enriquecimiento adicional en el área entre la superficie externa de la estructura 310 de contención y el interior de la porción 180 de tubo durante la fabricación de barras. El empaquetamiento de uranio adicional en la proximidad de la diana 320 dentro de la estructura 310 de contención puede obtenerse flujo de neutrones adicional para la diana 320. Por consiguiente, la actividad específica del radioisótopo producido puede ser mayor y más valiosa para el cliente. Además de añadir enriquecimiento, otro factor que puede afectar los flujos de neutrones que rodean la estructura 310 de contención puede ser el moderador. El empaquetamiento de una porción 180 de tubo con moderador adicional o alternativo (tal como grafito) en el espacio entre la estructura 310 de contención y el interior de la porción de tubo de una barra 18a-c dada durante la fabricación de barras puede permitir que se obtenga flujo de neutrones adicional para la diana 320 durante las operaciones de potencia en el reactor. Por tanto, hecho antes de la operación del reactor, el proporcionar moderador adicional en estrecha proximidad a una localización de diana deseada en el reactor puede influir en el espectro de energía del flujo de neutrones por la diana durante las operaciones de potencia.

Hasta ahora se han descrito realizaciones a modo de ejemplo cargando un isótopo 320 diana dentro de una estructura 310 de contención que va a proporcionarse en una o más de las barras 18a-c del haz 10 a modo de ejemplo. Sin embargo, dependiendo de las propiedades de los isótopos diana y de las del radioisótopo producido o isótopo estable (es decir, sección transversal de absorción, semivida, etc.), puede desearse disponer la diana en una localización axial dentro del haz 10 de combustible que normalmente recibe menos flujo de neutrones durante un ciclo de energía. Por ejemplo, cada una de las barras 18a-c (y las barras 22, 24 de agua) incluyen un tapón del extremo superior y un tapón del extremo inferior que están conectados a la placa 14 y 16 de sujeción del extremo superior e inferior en el haz 10. Uno o más ensamblajes 300 de recipientes pueden disponerse dentro de las porciones interiores de uno de los tapones del extremo superior o inferior durante el procedimiento de fabricación de barras para la inserción en el haz 10 de combustible en una parada planeada.

Alternativamente, una estructura de contención que aloja una o más dianas 320 en su interior puede disponerse dentro de una barra de control durante un procedimiento de fabricación de barras de control. Por ejemplo, una barra de control que se usa para el control del reactor entre haces de combustible puede tener sus absorbedores de neutrones (es decir,  $B_4C$ , Hf, etc.) sustituidos con un ensamblaje 300 de recipiente. Tales barras de control no se usarían para el control del reactor y podrían usarse como vehículos diana de radioisótopos dentro o fuera del núcleo. Esto también puede proporcionar flexibilidad en la selección de elevación axial para el ajuste del flujo de neutrones dentro del núcleo.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de producción de isótopos en barras diana de un haz de combustible dentro de un reactor de potencia de agua ligera, según una realización a modo de ejemplo de la invención. La FIG. 4 ilustra un procedimiento 400 a modo de ejemplo para producir isótopos en un RAL.

La FIG. 4 ilustra etapas de procedimiento a modo de ejemplo para ensamblar un haz de generación de isótopos en grandes cantidades para la inserción en el núcleo del reactor de potencia de agua ligera durante una parada planeada, y también ilustra la etapa de procedimiento para la extracción de los isótopos producidos del núcleo y posterior procesamiento. Las barras 18a-c diana puede fabricarse (S410) por adelantado. Por ejemplo, los materiales diana de isótopo deseados, y los componente de barra diana, pueden procurarse por adelantado para fabricar barras diana, que pueden encarnarse como una o más de las barras 18a-c en la FIG. 2. Una barra diana dada puede incluir una pluralidad de ensamblajes 300 de contención insertados en su interior que incluyen toda la misma diana, o incluyen dianas diferentes localizadas en localizaciones axiales deseadas en la barra para producir un radioisótopo en una actividad específica deseada y/o isótopo estable deseado a una concentración deseada, basándose en las propiedades del material de isótopo diana y/o propiedades conocidas del isótopo producido.

Adicionalmente pueden procurarse el uranio del haz de soporte y los componentes para el haz de generación de isótopos en grandes cantidades (S420), y la generación de isótopo en grandes cantidades (BIG) puede ensamblarse a partir de las barras diana, uranio procurado y componentes asociados (S430). Como se sabe, también puede realizarse la adquisición de haces de recarga convencionales y la fabricación de los haces de recarga (S440), para cargarse en la siguiente parada planeada. Los haces de recarga y los haces de BIG pueden transportarse al sitio del reactor para la carga en el núcleo de un reactor de potencia de agua ligera deseado tal como un RAE. La autorización para la recarga para los haces de recarga se haría antes del transporte o antes de la carga de los haces en el núcleo. Lo mismo se espera para los haces de BIG. Los haces de BIG y de recarga se cargan en el núcleo del reactor (S450). Tras completarse la parada, el reactor puede comenzar las operaciones de potencia durante un ciclo de energía dado para irradiar los haces de BIG (S460).

Al final del ciclo, el reactor se desconecta y los haces de BIG se descargan (S470) durante el posterior periodo de parada a un área de reunión en la piscina de combustible gastado. El área de reunión puede ser un área de trabajo cerrada o "cámara segura" dentro de la piscina de combustible gastado. La misma cámara puede tener un tamaño suficiente para contener los haces de BIG y herramientas necesarias, barriles/recipientes de transporte protegidos y equipo de supervisión. La cámara segura permitiría la caída accidental de barras diana y prevendría un posible accidente por exposición a radiación y puede proporcionar una forma conveniente para asegurar y obtener el rápido acceso al equipo de supervisión y herramientas de desensamblaje.

- 5 En el área de reunión, las barras diana pueden recogerse (S480) del haz de BIG usando instrumentos adecuados y cargarse en recipientes de transporte protegidos o barriles para el transporte a un centro externo. Aquellos haces de BIG recogidos se devuelven entonces a la piscina de combustible gastado. Alternativamente, si el sitio de la planta incluye un centro de celdas calientes, el centro de celdas calientes puede unirse al reactor por un pasillo adecuado por el que los materiales irradiados en el reactor puede llevarse a las celdas calientes (áreas de trabajo protegidas) en las que los isótopos pueden extraerse y embalarse para el transporte. Por tanto, las barras diana se desensamblan (S490) en la celda caliente para recuperar los materiales de isótopo deseados para el procesamiento y transporte final (S495) al cliente.
- 10 Por consiguiente, la metodología a modo de ejemplo puede ilustrar las ventajas de ensamblar haces de generación de isótopos en grandes cantidades para un núcleo de un reactor de potencia de agua ligera existente que está diseñado para operaciones de potencia comerciales. Un haz de BIG puede incluir una o más barras diana, y cada barra diana puede incluir uno o más de los mismos isótopos diana o diferentes que, tras la irradiación bajo un flujo de neutrones durante un ciclo de energía, producen radioisótopos a una actividad específica deseada o isótopos estables a una concentración deseada para aplicaciones de isótopos médicas y/o industriales.
- 15 Como el núcleo del reactor de potencia de agua ligera a modo de ejemplo puede incluir más de varios cientos de haces de combustible, puede realizarse el potencial para generar (producir en grandes cantidades) isótopos médicos y/o industriales para satisfacer la demanda mundial. Como un ejemplo, un núcleo cargado con no más de aproximadamente 8 a 16 haces de BIG (de un total de varios cientos de haces de combustible) podría producir potencialmente suficiente producto de isótopo para satisfacer la presente demanda mundial para aquellas
- 20 aplicaciones que requieren isótopos médicos y/o industriales.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de potencia de agua ligera que genera niveles de potencia de al menos 100 mega-watios térmicos (MW<sub>t</sub>), que comprende:

- 5 cargar al menos una diana no fisible (320) en el reactor  
 irradiar la al menos una diana no fisible (320) dentro del reactor para producir al menos un isótopo; y  
 sacar el isótopo producido del reactor después de irradiar la al menos una diana (320) durante un ciclo de energía del reactor; y **caracterizado porque**  
 la al menos una diana (320) está seleccionada de un grupo de isótopos que comprende uno o más de isótopo de cadmio, cobalto, níquel, talio;
- 10 el reactor incluye al menos un haz de combustible (10) configurado para incluir una de una pluralidad de barras de combustible de longitud completa (18a), barras de combustible de longitud parcial (18b), una o más barras (18c) compuestas por una pluralidad de segmentos, o combinaciones de barras segmentadas de longitud completa, de longitud parcial y barras de agua, y la carga de al menos una diana no fisible (320) en el reactor incluye adicionalmente:
- 15 disponer la al menos una diana (320) dentro de una estructura de contención (310), e insertar al menos una dicha estructura de contención (310) con su diana (320) en al menos una o más de una barra de longitud completa (18a), barra de longitud parcial (18b), uno o más segmentos de una barra segmentada (18c) y barra de agua del haz de combustible (10), o en combinaciones de los mismos, para formar una pluralidad de barras diana en el al menos un haz (10).

20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el isótopo producido es uno de un radioisótopo producido a partir de al menos una diana a una actividad específica mínima deseada o un isótopo estable producido a partir de la diana a una concentración deseada a medida que la diana absorbe al menos un neutrón.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

- 25 cargar la diana (320) en al menos un haz de combustible (10) a insertar en el reactor durante un periodo de parada dado;  
 irradiar más que incluye iniciar las operaciones de potencia en el reactor durante un ciclo de energía dado después de que al menos un haz de combustible con diana se ensamble en un núcleo del reactor durante el periodo de parada dado;  
 30 parar el reactor al final del ciclo de energía dado, y sacar el al menos un haz de combustible con isótopo producido del reactor durante un periodo de parada después de la parada.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

- 35 disponer la al menos una diana (320) en una localización deseada en el reactor determinada en función de al menos una de una sección transversal de absorción de la diana (320), semivida del isótopo producido y sección transversal de absorción del isótopo producido.

5. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

- 40 disponer la diana (320) dentro de una estructura de contención (310), e insertar la estructura de contención (310) en una localización deseada en el reactor determinada en función de al menos una de una sección transversal de absorción de la diana (320), sección transversal de absorción de la estructura de contención (310), semivida del isótopo producido y sección transversal de absorción del isótopo producido.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que:

- 45 la carga de al menos una diana no fisible (320) en al menos un haz de combustible (10) a ensamblar en un núcleo del reactor tiene lugar antes de la operación del reactor inicial o durante un periodo de parada dado entre las operaciones de potencia; procedimiento que comprende además:  
 iniciar las operaciones de potencia en el reactor para irradiar el al menos un haz de combustible (10) con al menos una diana de manera que se genere uno o más radioisótopos a una actividad específica deseada;  
 50 parar el reactor; y sacar el al menos un haz (10) con uno o más radioisótopos del núcleo durante un periodo de parada dado después de la desconexión.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:

irradiar al menos un haz de combustible (10) que contiene una o más barras (18a, 18b, 18c, 22, 24) que tiene al menos una diana (320) en su interior de manera que se generen uno o más radioisótopos a una actividad



específica deseada que se recogen de las una o más barras diana durante un periodo de parada dado después de un ciclo de energía dado de las operaciones de potencia.

8. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que

5 la una o más barras diana incluyen barras de combustible de longitud completa (18a), barras de combustible de longitud parcial (18b), barras de agua (22, 24) o una o más barras segmentadas (18c) compuestas por una pluralidad de segmentos, o combinaciones de barras de agua, de longitud completa, de longitud parcial y segmentadas, y el haz de combustible incluye una pluralidad de diferentes dianas en una o más barras diana que son irradiadas bajo un flujo de neutrones para producir una pluralidad de radioisótopos diferentes.

10 9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además:

15 situar la al menos una diana (320) dentro de una estructura de contención (310), e insertar la estructura de contención (310) con diana (320) en al menos una o más barras diana (18a, 18b, 18c, 22, 24), en el que la disposición e inserción se realiza durante un procedimiento de formación de la una o más barras diana (18a, 18b, 18c, 22, 24) a ensamblar en el al menos un haz de combustible (10) durante un periodo de parada dado antes del ciclo de energía dado de las operaciones de potencia.

FIG. 1

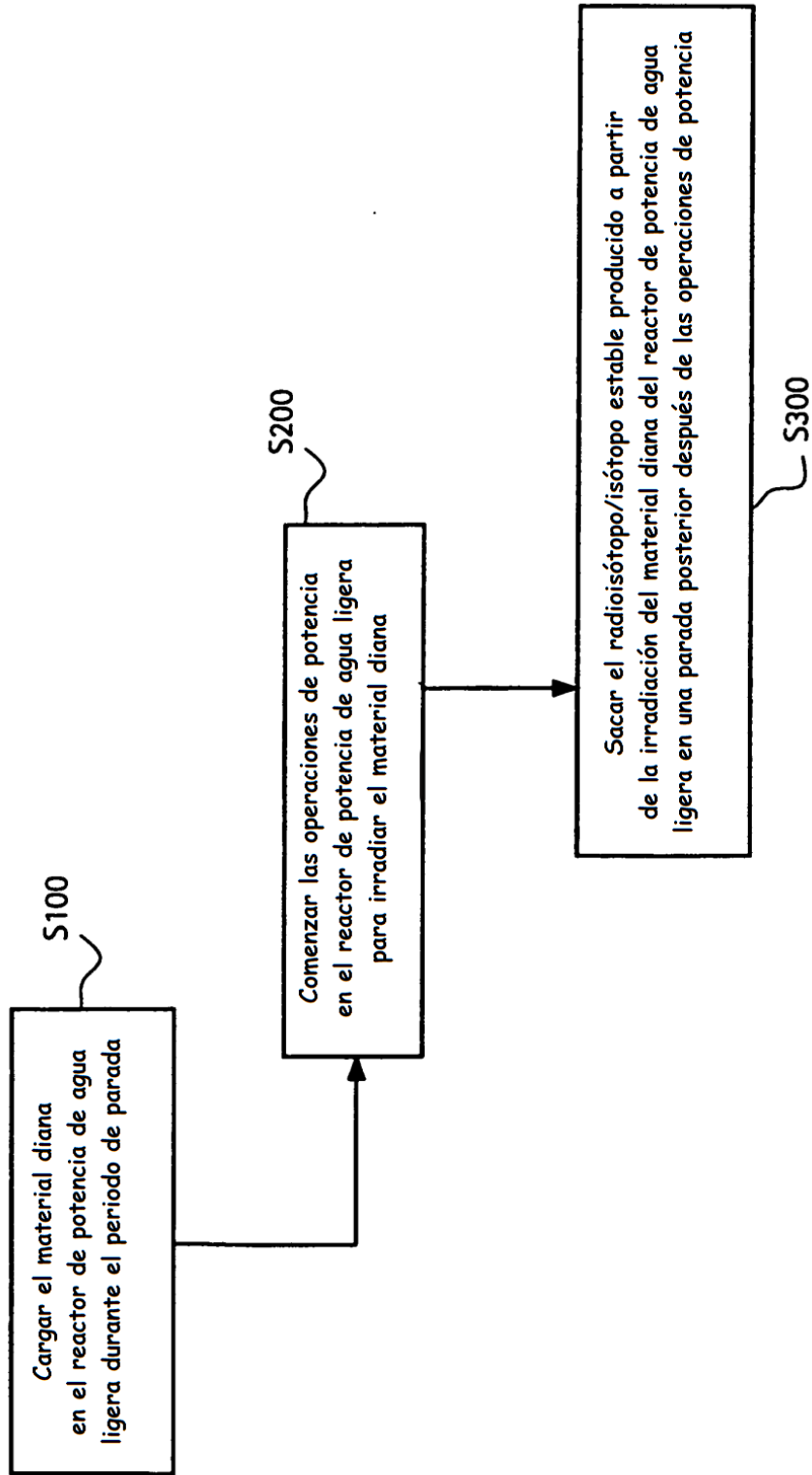


FIG. 2

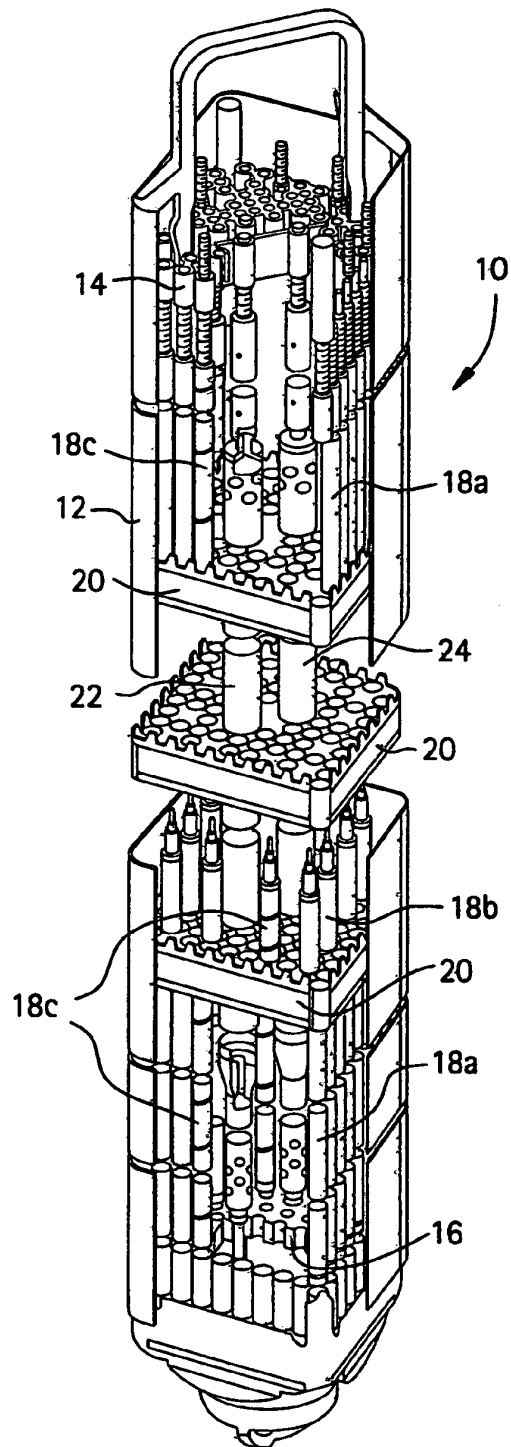


FIG. 3

