

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 924**

51 Int. Cl.:

G21C 3/326 (2006.01)

G21G 1/08 (2006.01)

G21G 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2008 E 08169773 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2065899**

54 Título: **Sistema con sección eficaz reducida para la producción de isótopos**

30 Prioridad:

28.11.2007 US 946258

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

28.03.2017

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 CASTLE HAYNE ROAD
WILMINGTON, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**RUSSELL, II, WILLIAM EARL;
MONETTA, CHRISTOPHER J.;
HIGGINS, RUSSELL PATRICK;
MILLS, VERNON W.;
SMITH, DAVID GREY;
CLARK, CARLTON WAYNE y
DEFILIPPIS, MICHAEL S.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 606 924 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 con sección eficaz reducida para la producción de isótopos

Campo

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

5 Antecedentes

En aplicaciones médicas, industriales, de investigación, y aplicaciones comerciales se utiliza una amplia variedad de isótopos radiactivos. En general, los radioisótopos pueden producirse irradiando con partículas nucleares materiales de isótopo objetivo. Los átomos objetivo se transmutan directamente hacia el isótopo deseado, o bien se produce un radioisótopo a través de una cadena de absorción y decaimiento que, posteriormente, genera el producto radiactivo deseado.

10 En la producción de radioisótopos se utilizan dos tecnologías diferentes para proporcionar la fuente de radiación: reactores nucleares, que producen un flujo de neutrones; y aceleradores de partículas o ciclotrones, que producen un flujo de partículas cargadas, generalmente protones, pero a veces electrones u otras partículas. Por ejemplo, desde 1957 se han producido radioisótopos médicos e industriales en el reactor National Research Universal (NRU) de los laboratorios Chalk River, de Atomic Energy of Canada (AECL), en Ontario, Canadá. El NRU produce un elevado porcentaje de los radioisótopos médicos e industriales de todo el mundo, incluyendo el molibdeno-99, un isótopo crítico utilizado para diagnósticos médicos. Otros radioisótopos ejemplares utilizados para aplicaciones médicas, industriales, de investigación y comerciales incluyen el talio-201, que se utiliza en medicina para generar imágenes cardíacas; el calcio-44, que se utiliza en los estudios de crecimiento óseo; el iridio-192, que se utiliza para ensayos no destructivos de materiales de construcción y otros materiales; el cobalto-60, que se utiliza para destruir células cancerosas, para desinfectar equipos quirúrgicos y medicamentos, y para esterilizar suministros alimenticios; el tulio-170, que se utiliza en irradiaciones portátiles de sangre para la leucemia, el tratamiento de linfomas, y para fuentes de energía; el gadolinio-153, que se utiliza para detectar la osteoporosis y para la formación de imágenes por SPECT; el níquel-63, que puede utilizarse para crear baterías de larga duración; y el americio-241, que se utiliza en los detectores de humo.

En general, se insertan unas barras de muestra que contienen un objetivo de isótopos a través de unas penetraciones en el NRU, en un procedimiento continuo, y se someten a irradiación dentro del mismo a fin de producir isótopos para una actividad específica deseada para su uso en medicina nuclear y/o en aplicaciones industriales. A continuación se irradian los objetivos de isótopos durante la operación del reactor de generación de energía nuclear. Tras la irradiación, se recupera el radioisótopo del objetivo y se usa para preparar diversos radiofármacos, para procedimientos de medicina nuclear.

El documento US 2007/133731 describe un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de agua ligera, pudiendo irradiarse uno o más objetivos dentro del reactor bajo un flujo de neutrones, para producir uno o más isótopos. Los objetivos pueden montarse en uno o más haces de combustible que han de cargarse en un núcleo del reactor, durante una parada. Se irradian los haces de combustible mediante operaciones a potencia en el reactor, a fin de generar isótopos deseados, tales como uno o más radioisótopos para una actividad específica deseada o isótopos estables con una concentración deseada.

Breve resumen

La presente invención se refiere a una barra de objetivos de producción de isótopos para el núcleo de un reactor de energía nuclear, a un haz de combustible para un reactor de energía nuclear y a un procedimiento para producir isótopos en un reactor de energía nuclear tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Otras áreas de aplicabilidad de la presente divulgación se harán evidentes a partir de la descripción detallada que se proporciona a continuación. Debe comprenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indican las diversas realizaciones de la divulgación, solamente están destinados a fines ilustrativos y no están destinados a limitar el ámbito de la divulgación. Adicionalmente, las características, funciones y ventajas de la presente divulgación se pueden conseguir de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación, o se pueden combinar en otras realizaciones.

Breve descripción de los dibujos

En lo sucesivo encontramos una descripción detallada de realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

La Figura 1 es una vista en sección, en perspectiva, de una porción del núcleo de un reactor de energía nuclear que ilustra una pluralidad de conjuntos de haz de combustible que incluyen barras de combustible, barras de objetivos de producción de isótopos, placas de unión, rejillas espaciadoras y canales, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 2 es una vista en sección, parcialmente despiezada, de un conjunto de haz de combustible ejemplar incluido en la porción del núcleo de un reactor de energía nuclear mostrado en la Figura 1, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

5 La Figura 3 ilustra varias barras de objetivos de producción de isótopos que se pueden incluir dentro del conjunto de haz de combustible mostrado en la Figura 2, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 4 es una ilustración ejemplar de un segmento de una barra de objetivos de producción de isótopos, incluido en una barra de objetivos de producción de isótopos de múltiples segmentos del conjunto de haz de combustible mostrado en la Figura 2, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

10 La Figura 5 es una ilustración ejemplar de un cuerpo central incluido en cada una de las barras de objetivos de producción de isótopos mostradas en la Figura 4, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

15 La Figura 6 es una vista ejemplar en sección transversal longitudinal del cuerpo central mostrado en la Figura 5, que ilustra una pluralidad de objetivos de irradiación posicionados dentro de una cavidad del cuerpo central en una disposición espacial predeterminada, por un medio de baja sección eficaz nuclear, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

20 La Figura 7 es una vista ejemplar en sección transversal longitudinal del cuerpo central mostrado en la Figura 5, que ilustra una pluralidad de objetivos de irradiación posicionados dentro de una cavidad del cuerpo central en una disposición espacial predeterminada, por un medio de baja sección eficaz nuclear, de acuerdo con diversas otras realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 8 es una ilustración ejemplar de un receptáculo para objetivos de irradiación mostrado en la Figura 7, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 9 es una ilustración ejemplar de un receptáculo para objetivos de irradiación mostrado en la Figura 7, de acuerdo con diversas otras realizaciones de la presente divulgación;

25 La Figura 10 ilustra la fabricación de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 y 9, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 11 ilustra la fabricación de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 y 9, de acuerdo con diversas otras realizaciones de la presente divulgación;

30 La Figura 12 ilustra la fabricación de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 y 9, de acuerdo con aún otras diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 13 es una ilustración ejemplar de una sección de uno de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 a 12, que tiene un taladro roscado interno en al menos un extremo, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

35 La Figura 13A es una ilustración ejemplar de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 a 12, que incluye receptáculos para objetivos de irradiación formados para que tengan una profundidad suficiente para retener dos o más pastillas objetivo de irradiación, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

40 La Figura 13B es una ilustración ejemplar de los receptáculos para objetivos de irradiación mostrados en las Figuras 8 y 9, que incluye receptáculos para objetivos de irradiación formados como taladros diametrales que se extienden a través del respectivo receptáculo de objetivos, adecuados para retener una pluralidad de pastillas objetivo de irradiación, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 14A es una ilustración ejemplar de un receptáculo para objetivos de irradiación mostrado en la Figura 7, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación;

45 La Figura 14B es una vista ejemplar en sección transversal longitudinal del cuerpo central, mostrado en la Figura 5, que incluye una pluralidad de los receptáculos objetivo de irradiación mostrados en la Figura 14A, de acuerdo con diversas otras realizaciones de la presente divulgación;

La Figura 15A es una vista ejemplar en sección transversal longitudinal del cuerpo central mostrado en la Figura 5, que tiene una construcción de contención doble, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación; y

50 La Figura 15B es una vista ejemplar en sección transversal radial del cuerpo central mostrado en la Figura 15A, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación.

En las diversas vistas de los dibujos, los números de referencia correspondientes indican correspondientes partes.

Descripción detallada

5 La siguiente descripción de varias realizaciones ejemplares es de naturaleza meramente ejemplar, y de ningún modo pretende limitar la divulgación, su aplicación o usos. Adicionalmente, las ventajas proporcionadas por las diversas realizaciones, como se describen a continuación, son de naturaleza ejemplar y no todas las realizaciones proporcionan las mismas ventajas o el mismo grado de ventaja.

10 Con referencia a la Figura 1, se proporciona una vista en sección en perspectiva de una porción ejemplar de un núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, por ejemplo una porción del núcleo de un reactor de energía nuclear de agua en ebullición. La porción ejemplar del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear incluye cuatro conjuntos de haz de combustible 14A, 14B, 14C y 14D a través y alrededor de los cuales fluye un moderador líquido, es decir un refrigerante, cuando los haces de combustible 14A, 14B, 14C y 14D están instalados y el reactor está en funcionamiento. Por razones de brevedad, en el presente documento los conjuntos de haz de combustible 14A, 14B, 14C y 14D se denominan simplemente haces de combustible 14A, 14B, 14C y 14D. Las reacciones nucleares dentro de cada haz de combustible 14A, 14B, 14C y 14D generan calor que se utiliza para convertir el refrigerante en vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica. La estructura, forma y función de cada haz de combustible 14A, 14B, 14C y 14D es sustancialmente igual. Así, por simplicidad y claridad, en el presente documento solamente se describe el haz de combustible 14A.

20 Con referencia también a la Figura 2, el haz de combustible 14A incluye generalmente un canal exterior 22 que rodea a una placa de sujeción superior 26 y una placa de sujeción inferior 30. Una pluralidad de barras de combustible 18 están dispuestas en una matriz dentro del haz de combustible 14A, y pasan a través de una pluralidad de rejillas espaciadoras 34, que están espaciadas entre sí longitudinal o axialmente a lo largo del haz de combustible 14A. Las barras de combustible 18, y normalmente una o más barras de agua 38, se mantienen en una relación mutuamente espaciada, es decir en una matriz, dentro del haz de combustible 14A mediante las rejillas espaciadoras 34, a fin de definir unos pasos para el flujo de refrigerante del reactor entre las barras de combustible 25 18. En general, el haz de combustible puede incluir cualquier número de rejillas espaciadoras 34 espaciadas a todo lo largo de la longitud axial del haz de combustible 14A, según sea necesario para mantener las barras de combustible 18 en la matriz deseada, por ejemplo entre tres y ocho rejillas espaciadoras 34.

30 En diversas realizaciones, el haz de combustible 14A incluye una o más barras 20 de objetivos de producción de isótopos. En general, las barras de combustible 18 contienen un combustible nuclear, por ejemplo uranio, que produce un flujo de neutrones, mientras que las barras 20 de objetivos de producción de isótopos contienen objetivos de irradiación que se irradian mediante el flujo de neutrones, para producir un radioisótopo deseado. Los objetivos de irradiación se pueden fabricar con cualquier isótopo deseado, tal como cadmio, cobalto, iridio, níquel, talio, etc. Las barras de combustible 18 y las barras 20 de objetivos de producción de isótopos pueden tener sustancialmente la misma construcción, con la excepción de que las barras de combustible 18 contienen el combustible nuclear y las barras 20 de objetivos de producción de isótopos contienen los objetivos de irradiación. Sin embargo, a continuación solo se describirán la construcción, función, componentes, elementos, conjuntos, funciones, atributos, etc., de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos. 35

40 Con referencia a la Figura 3, en diversas realizaciones las barras 20 de objetivos de producción de isótopos pueden ser barras de longitud completa, barras de longitud parcial, barras de segmentos múltiples, o cualquier combinación de las mismas. Por ejemplo, el haz de combustible 14A puede incluir una o más barras 20A de objetivos de producción de isótopos de longitud total, una o más barras 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial, una o más barras 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples, o cualquier combinación de las mismas. Cada barra 20 de objetivos de producción de isótopos, por ejemplo las barras 20A, 20B y 20C de objetivos de producción de isótopos, incluye generalmente al menos un cuerpo central 40 acoplado por un extremo superior a una cubierta terminal superior 42 y/o acoplado por un extremo inferior a una cubierta terminal inferior 46. Las cubiertas terminales superior e inferior 42 y 46 coinciden con las respectivas placas de sujeción superior e inferior 26 y 30, para estabilizar dentro del canal 22 los extremos de cada barra 20 de objetivos de producción de isótopos, por ejemplo las barras 20A, 20B y/o 20C. 45

50 Más en particular, cada barra 20A de objetivos de producción de isótopos de longitud total incluye un cuerpo central 40 que tiene una longitud axial, que se extiende aproximadamente la longitud del haz de combustible 14A y está acoplado por los extremos superior e inferior con las cubiertas terminales superior e inferior 42 y 46. Cada barra 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial incluye un cuerpo central 40 que tiene una longitud axial menor que la longitud aproximada del haz de combustible 14A. Por ejemplo, el cuerpo central 40 de cada barra 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial puede tener $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, etc. de la longitud aproximada del haz de combustible 14A. El cuerpo central 40 de cada barra 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial está acoplado por un extremo inferior a una pieza terminal inferior 46. Las piezas terminales inferiores 46 coinciden con la respectiva placa de sujeción 30, para estabilizar el extremo de cada barra 20 de objetivos de producción de isótopos dentro del canal 22. 55

Con referencia a las Figuras 3 y 4, cada barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples

5 incluye una pluralidad de segmentos 50 de barra que están interconectados, de tal manera que la barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples pueda tener una longitud axial sustancialmente igual a la longitud del haz de combustible 14A, o cualquier longitud incremental más corta, por ejemplo una barra 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial. Cada segmento 50 de barra de objetivos de producción de isótopos incluye un cuerpo central 40, de manera que la barra 20C de objetivos de producción de isótopos agregada comprenda una pluralidad de cuerpos centrales 40. En diversas realizaciones, cada segmento 50 de barra incluye un conector macho 58, conectado con un primer extremo, y un receptáculo hembra 62 tiene un taladro interno 64, conectado con un segundo extremo opuesto. El conector macho 58 y el receptáculo hembra 62 son acoplables, para interconectar los respectivos segmentos 50 de barra. Adicionalmente, los extremos distales 54 del segmento 50 de barra más superior y del más inferior están acoplados, respectivamente, a las cubiertas terminales superior e inferior 42 y 46.

15 Con referencia a la Figura 4, como se ha descrito anteriormente, cada barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples incluye una pluralidad de segmentos 50 de barra interconectados. Debe comprenderse que los diversos segmentos 50 de barra pueden tener diferentes longitudes axiales o longitudinales, y diferentes diámetros exteriores, y permanecer dentro del ámbito de la presente divulgación. Por lo tanto, puede montarse cada barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples para que tenga una longitud deseada, y uno o más diámetros exteriores a lo largo de la longitud de la barra 20C de objetivos de producción de isótopos agregada, mediante la interconexión de varias longitudes y diámetros de segmentos 50 de barra. Por lo tanto, debe comprenderse que la Figura 4 ilustra un segmento 50 de barra de objetivos de producción de isótopos ejemplar, y que la descripción adjunta en el presente documento se refiere a cada segmento 50 de barra de cada barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples, independientemente de la longitud y/o el diámetro de cada respectivo segmento 50 de barra.

25 Con referencia a la Figura 5, se proporciona una ilustración ejemplar del uno o más cuerpos centrales 40 incluidos en cada una de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos mostradas en la Figura 3, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación. Más en particular, el cuerpo central 40 mostrado en la Figura 5 y la descripción adjunta se refieren a cada cuerpo central 40 de cada barra 20A de objetivos de producción de isótopos de longitud total, cada barra 20B de objetivos de producción de isótopos de longitud parcial y cada segmento 50 de barra de cada barra 20C de objetivos de producción de isótopos de segmentos múltiples.

30 Cada cuerpo central 40 de cada barra 20 de objetivos de producción de isótopos incluye una carcasa exterior 65 que define una cavidad interna 66, para retener una pluralidad de objetivos de irradiación 70. Puede accederse a la cavidad 66 antes de conectar las cubiertas terminales superior e inferior 42 y 46 (mostradas en la Figura 3) y/o el conector macho 58 y/o el receptáculo hembra 62 (mostrado en la Figura 4) con los extremos opuestos del respectivo cuerpo central 40. En diversas realizaciones descritas a continuación, se posicionan y retienen los objetivos de irradiación 70 dentro de la cavidad 66 en una disposición espacial particular, utilizando un medio de separación 74 de baja sección eficaz nuclear. Más específicamente, por medio de datos empíricos y/o modelación matemática y/u otros medios de ensayo adecuados, puede diseñarse una disposición espacial de los objetivos de irradiación para optimizar la absorción por parte de los objetivos de irradiación 70 de los neutrones generados por los haces de combustible 14, dentro del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear.

40 Adicionalmente, en diversas implementaciones, el medio de separación 74 comprende o está construido o fabricado con un material, sustancia, gas, etc. de baja sección eficaz nuclear, que sea sustancialmente invisible a los neutrones, es decir que tenga una tasa de absorción de neutrones muy baja o sustancialmente insignificante. Por ejemplo, el medio de separación puede estar fabricado con circonio, aluminio o cualquier otro material, sustancia, gas, etc. adecuado que tenga una baja sección eficaz nuclear. Así, los neutrones pasan a través del medio de separación 74 sin ser absorbidos, de manera que no se inhiba el flujo de neutrones dentro del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear y no disminuya la eficiencia de generación de energía del respectivo reactor. Más específicamente, la disposición espacial particular de los objetivos de irradiación 70 y del medio de separación 74 de baja sección eficaz nuclear minimizan el impacto de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos sobre la generación de energía del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, al tiempo que aumentan al máximo la actividad específica, es decir la absorción de neutrones, de los objetivos de irradiación 70.

50 La Figura 6 proporciona una vista en sección transversal de un cuerpo central 40 ejemplar, que ilustra una pluralidad de discos objetivo de irradiación 78 y de espaciadores 82 de objetivos posicionados dentro de la cavidad 66, del respectivo cuerpo central 40, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación. En diversas realizaciones, los objetivos de irradiación 70 pueden comprender discos u obleas 78 fabricados con el isótopo deseado, por ejemplo cobalto, y el medio de separación 74 puede comprender una pluralidad de espaciadores 82 de objetivos de irradiación posicionados entre cada disco objetivo de irradiación 78 adyacente. Cada espaciador 82 tiene un espesor T que se selecciona para posicionar los discos objetivo de irradiación 78 en la disposición espacial predeterminada, para proporcionar la absorción óptima de los neutrones por parte de los discos objetivo de irradiación 78. Por ejemplo, en diversas implementaciones los espaciadores 82 pueden tener el mismo espesor T, de tal manera que cada disco objetivo de irradiación 78 esté equiespaciado con respecto a todos los discos objetivo de irradiación 78 adyacentes, es decir, equiespaciado del disco de irradiación 78 situado directamente encima y debajo de cada respectivo disco objetivo de irradiación 78. Adicionalmente, como se ha descrito anteriormente, el medio de separación 74, es decir los espaciadores 82, puede estar fabricado con un material de baja sección eficaz nuclear,

tal como zirconio o aluminio. Por lo tanto, los espaciadores 82 proporcionan un medio de separación de baja sección eficaz nuclear, y una separación de los discos objetivo de irradiación 78, diseñados para minimizar el impacto de energético de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos sobre el núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, y al mismo tiempo aumentar al máximo la absorción de neutrones por parte de los discos objetivo de irradiación 78.

En diversas realizaciones, los discos objetivo de irradiación 78 y los espaciadores 82 están dimensionados de tal manera que pueda haber un espacio intersticial 86, entre una pared interna de la cavidad 66 y los discos objetivo de irradiación 78 y los espaciadores 82. El espacio intersticial 86 permite la expansión térmica de los discos objetivo de irradiación 78 y de los espaciadores 82. En diversas implementaciones, el espacio intersticial 86 y cualquier espacio existente entre los discos objetivo 78 y los espaciadores 86 pueden rellenarse con un gas de alta conductividad térmica, de sección eficaz nuclear sustancialmente nula, tal como helio. Así, el gas de alta conductividad térmica, y sección eficaz nuclear sustancialmente nula, no presenta impedancia sustancial alguna al flujo de neutrones del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, al tiempo que proporciona una alta conductividad térmica para eliminar el calor de los discos objetivos de irradiación 78 y de los espaciadores 82 del respectivo cuerpo central 40. Aunque en la Figura 6 la cavidad 66 se ilustra esencialmente llena de discos objetivo de irradiación 78 y de espaciadores 82, debe comprenderse que no es necesario llenar la totalidad de la cavidad 66 con discos objetivo de irradiación 78 y con espaciadores 82, y aun así permanecer dentro del ámbito de la presente divulgación.

La Figura 7 proporciona una vista en sección transversal de un cuerpo central 40 ejemplar que ilustra una pluralidad de pastillas objetivo de irradiación 90 retenidas, con una pluralidad de depósitos 94, dentro de un receptáculo 98 para objetivos posicionado dentro de la cavidad 66, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación. En diversas realizaciones, los objetivos de irradiación 70 pueden comprender las pastillas objetivo 90 fabricadas con el isótopo deseado, por ejemplo cobalto, y el medio de separación 74 puede comprender el receptáculo 98 para objetivos con los depósitos 94 situados estratégicamente a lo largo de al menos una porción de una superficie exterior del receptáculo 98 para objetivos.

Más en particular, los depósitos 94 se encuentran estratégicamente situados a lo largo de la superficie exterior del receptáculo 98 para objetivos, para posicionar las pastillas objetivo de irradiación 90 en la disposición espacial predeterminada para proporcionar la absorción óptima de neutrones por parte de las pastillas objetivo de irradiación 90. Por ejemplo, en diversas implementaciones, los depósitos 94 para objetivos están espaciados por igual alrededor de la superficie exterior del receptáculo 98 para objetivos, entre unas porciones terminales axiales 102 opuestas, de tal modo que cada depósito 94 para objetivos esté a una distancia sustancialmente igual, por ejemplo 1 mm, 2 mm o 3 mm, de cada depósito 94 para objetivos adyacente. Como se ha descrito anteriormente, el medio de separación 74, es decir el receptáculo 98 para objetivos, puede estar fabricado con un material de baja sección eficaz nuclear tal como circonio o aluminio. Por lo tanto, el receptáculo 98 para objetivos de baja sección eficaz nuclear y la separación de los depósitos 94 para objetivos están diseñados para minimizar el impacto energético de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos en el núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, al tiempo que para maximizar la absorción de neutrones de las pastillas objetivo de irradiación 90.

En diversas realizaciones, el receptáculo 98 para objetivos está dimensionado de tal manera que pueda haber un espacio intersticial 106 entre una pared interna de la cavidad 66 y el receptáculo 98 para objetivos. El espacio intersticial 106 permite la expansión térmica de las pastillas objetivo de irradiación 90 y el receptáculo 98 para objetivos. En diversas implementaciones, el espacio intersticial 106 y cualquier espacio entre las pastillas objetivo de irradiación 90 y los depósitos 94 pueden rellenarse con un gas de alta conductividad térmica y sección eficaz nuclear sustancialmente nula, tal como helio. Así, el gas de alta conductividad térmica y sección eficaz nuclear sustancialmente nula no presenta impedancia sustancial alguna al flujo de neutrones del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear, al tiempo que proporciona una alta conductividad térmica para eliminar el calor de las pastillas objetivo de irradiación 90 y el receptáculo 98 para objetivos.

Aunque las pastillas objetivo de irradiación 90 se muestran con forma generalmente cilíndrica, se contempla que las pastillas objetivo de irradiación 90 puedan tener cualquier forma adecuada por la que encajen dentro de los depósitos 94 para objetivos. Por ejemplo, en diversas realizaciones, las pastillas objetivo de irradiación 90 pueden ser esféricas, oblongas, piramidales, cúbicas, rectangulares, etc.

Con referencia a las Figuras 8 y 9, en diversas realizaciones, los depósitos 94 para objetivos de cada receptáculo 98 para objetivos están dimensionados para retener una única pastilla objetivo de irradiación 90. Más en particular, en diversas implementaciones, los depósitos 94 para objetivos pueden estar dimensionados para retener las respectivas pastillas objetivo de irradiación 90 en una determinada orientación (Figura 8), mientras que en otras implementaciones los depósitos 94 para objetivos pueden estar dimensionados para retener las respectivas pastillas objetivo de irradiación 90 en una orientación aleatoria (Figura 9). Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 8, cada pastilla objetivo de irradiación 90 puede ser cilíndrica, oblonga, rectangular, etc., o tener cualquier forma con una longitud axial L que sea mayor que un diámetro exterior d de cada respectiva pastilla objetivo 90. Adicionalmente, un diámetro exterior d de cada pastilla objetivo de irradiación 90 es ligeramente menor que un diámetro interior D de los depósitos 94 para objetivos, que es menor que la longitud L de las pastillas objetivo de irradiación 90. Por lo tanto, cada pastilla objetivo de irradiación 90 solo encajará dentro de cada respectivo depósito 94 para objetivos, quedando alineada coaxialmente una línea central axial de cada pastilla objetivo de irradiación 90 con una línea central axial

del respectivo depósito 94 para objetivos.

Sin embargo, en otras realizaciones, como se ilustra en la Figura 9, cada depósito 94 para objetivos tiene un diámetro interior D que es ligeramente mayor que el más largo de una longitud axial L y un diámetro exterior d de las pastillas objetivo de irradiación 90, pudiendo tener cualquier forma general. En consecuencia, solo puede retenerse una única pastilla objetivo de irradiación 90 dentro de cada depósito 94 para objetivos, pero las pastillas objetivo de irradiación 90 pueden retenerse dentro de los respectivos depósitos 94 para objetivos con cualquier orientación aleatoria. Por ejemplo, en diversas implementaciones las pastillas objetivo de irradiación 90 pueden ser de forma cilíndrica, en las que la longitud axial L de cada pastilla objetivo de irradiación 90 es aproximadamente 1,25 veces el diámetro d de cada pastilla de irradiación 90, y el diámetro D de los depósitos 94 para objetivos es aproximadamente 1,5 veces el diámetro d de cada pastilla de irradiación 90. Así, las pastillas objetivo de irradiación 90 cilíndricas pueden retenerse dentro de los respectivos depósitos 94 para objetivos en cualquier orientación, y cada depósito 94 para objetivos solo es lo suficientemente grande como para retener una única pastilla de irradiación 90.

Cada receptáculo 98 para objetivos puede fabricarse de cualquier manera adecuada que proporcione a cada depósito 94 para objetivos sustancialmente las mismas dimensiones, es decir la misma profundidad X (mostrada en la Figura 9) y diámetro D. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 10, en diversas realizaciones cada receptáculo 98 para objetivos puede fabricarse para que tenga un cuerpo sólido. Los depósitos 94 para objetivos pueden molerse, taladrarse o perforarse en el cuerpo sólido 110 con el patrón predeterminado a lo largo de al menos una porción de una superficie exterior del cuerpo sólido 110, para que tengan sustancialmente la misma profundidad X y diámetro D (mostrados en las Figuras 8 y 9). Alternativamente, como se ilustra en la Figura 11, en otras realizaciones cada receptáculo 98 para objetivos de irradiación puede fabricarse para que tenga un cuerpo tubular 114 con una cavidad longitudinal central 116 a través del mismo. Los depósitos 94 para objetivos pueden molerse, taladrarse o perforarse en el cuerpo tubular 114 con el patrón predeterminado a lo largo de la al menos una porción de una superficie exterior del cuerpo tubular 114, para que tengan sustancialmente la misma profundidad X y diámetro D (mostrados en las Figuras 8 y 9). La cavidad central longitudinal 116 reduce la cantidad de masa, es decir de material, del receptáculo 98 para objetivos, reduciendo de este modo la sección eficaz nuclear. Adicionalmente, la cavidad central longitudinal 116 puede rellenarse con un gas de alta conductividad térmica y sección eficaz nuclear sustancialmente nula, tal como helio, junto con el espacio intersticial 106, proporcionando de este modo una mayor conductividad térmica para eliminar calor de las pastillas objetivo de irradiación 90 y del receptáculo 98 para objetivos, como se ha descrito anteriormente.

O bien, como se ilustra en Figura 12, en otras realizaciones cada receptáculo 98 para objetivos de irradiación puede fabricarse para que incluya un manguito tubular 118 perforado y un núcleo sólido 120 montado dentro del manguito tubular 118. El manguito tubular 118 se fabrica para que tenga un espesor sustancialmente constante Y, y para que incluya en el mismo una pluralidad de orificios 122 con el patrón predeterminado, en el que cada orificio 122 tiene sustancialmente el mismo diámetro D (mostrado en la Figura 9). Por consiguiente, cuando se encaja el núcleo sólido 120 en el manguito tubular 118 perforado, los depósitos 94 para objetivos estarán formados para tener sustancialmente la misma profundidad X, igual al espesor Y y diámetro D del manguito tubular (mostrados en la Figura 9).

Con referencia a la Figura 13, en varias realizaciones, al menos una de las porciones terminales axiales 102 opuestas de cada receptáculo 98 para objetivos de irradiación incluye un taladro roscado axial 126. El taladro roscado proporciona un medio para conectar el respectivo receptáculo 98 para objetivos de irradiación a un dispositivo de carga y/o descarga de pastillas objetivo (no mostrado), durante la carga de las pastillas objetivo de irradiación 90 en los depósitos 94 para objetivos y/o la descarga de las mismas al exterior de éstos. En realizaciones como la mostrada en la Figura 11, en la que el receptáculo para objetivos de irradiación se fabrica para que tenga el cuerpo tubular 114 y la cavidad central longitudinal 116, al menos una porción de al menos un extremo de la cavidad central longitudinal 116 puede incluir roscas para conectar el respectivo receptáculo 98 para objetivos de irradiación con un dispositivo de carga y/o descarga de pastillas.

Con referencia a la Figura 13A, en diversas realizaciones, uno o más de los receptáculos 98 para objetivo de irradiación pueden fabricarse de tal manera que los depósitos 94 para objetivos tengan una profundidad X adecuada para retener dos o más pastillas objetivo de irradiación 90. Más en particular, cada depósito 94 para objetivos tiene una profundidad X tal que cada respectivo depósito 94 para objetivos retenga dos o más pastillas objetivo de irradiación 90, pero no interseque o penetre ningún depósito 94 para objetivos adyacente que esté alineado radial o circunferencialmente. De manera similar a las realizaciones descritas anteriormente con respecto a las Figuras 8 a 13, cada depósito 94 para objetivos puede estar dimensionado para retener las respectivas dos o más pastillas objetivo de irradiación 90 en una orientación particular, por ejemplo alineadas coaxialmente con un eje central de cada respectivo depósito 94 para objetivos (Figura 8), o los depósitos 94 para objetivos pueden estar dimensionados para retener las respectivas dos o más pastillas objetivo de irradiación 90 con una orientación aleatoria (Figura 9). Además, el receptáculo 98 para objetivos puede fabricarse de la misma manera a la anteriormente descrita con respecto a las Figuras 11 y 12, de tal manera que la profundidad X de cada depósito 94 para objetivos sea suficiente para retener dos o más pastillas objetivo de irradiación 90. Adicionalmente, en diversas realizaciones el receptáculo 98 para objetivos puede fabricarse para que incluya un taladro central roscado 126, como se describe e ilustra en la Figura 11, y también para que incluya los depósitos 94 para objetivos con una profundidad X suficiente para retener dos o más pastillas objetivo de irradiación 90.

Con referencia a la Figura 13B, en diversas realizaciones uno o más de los receptáculos 98 para objetivos pueden fabricarse de tal manera que los depósitos 94 para objetivos estén formados como taladros que se extiendan a través de un diámetro P de los receptáculos 98 para objetivos. De acuerdo con ello, cada depósito 94 para objetivos alineado radial o circunferencialmente intersecará en un centro axial de los respectivos receptáculos 98 para objetivos de irradiación. Así, cada taladro de depósito 94 para objetivos es adecuado para retener una pluralidad, por ejemplo dos o más, de pastillas objetivo de irradiación 90. De manera similar a las realizaciones descritas anteriormente con respecto a las Figuras 8 a 13, cada depósito 94 para objetivos puede estar dimensionado para retener la respectiva pluralidad de pastillas objetivo de irradiación 90 con una orientación particular, por ejemplo alineadas coaxialmente con un eje central del taladro de cada respectivo depósito 94 para objetivos (Figura 8), o los depósitos 94 para objetivos pueden estar dimensionados para retener las respectivas dos o más pastillas objetivo de irradiación 90 con una orientación aleatoria (Figura 9).

Con referencia a las Figuras 14A y 14B, la Figura 14A ilustra un receptáculo 98 para objetivos de irradiación, de acuerdo con diversas realizaciones, y la Figura 14B proporciona una vista en sección transversal de un cuerpo central 40 ejemplar que incluye una pluralidad de los receptáculos 98 para objetivos de irradiación, mostrados en la Figura 14A, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación. En diversas implementaciones, el receptáculo 98 para objetivos de irradiación puede tener una longitud axial Z que sea gradualmente más corta que la longitud axial M de la cavidad interna 66, de tal manera que pueda colocarse una pluralidad receptáculos 98 para objetivos dentro de la cavidad 66. En tales realizaciones, cada receptáculo 98 para objetivos puede incluir los pastillas objetivo de irradiación 90 situados estratégicamente a lo largo de la superficie exterior del respectivo receptáculo 98 para objetivos, como se muestra y describe con referencia a las Figuras 7, 8 y 9. O, en implementaciones alternativas, los depósitos 94 para objetivos se pueden colocar estratégicamente alrededor de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos del respectivo receptáculo 98 para objetivos, como se muestra en la Figura 14A. Los depósitos 94 para objetivos formados dentro de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos pueden estar dimensionados para retener las respectivas pastillas objetivo de irradiación 90 en una orientación particular, por ejemplo alineadas coaxialmente con un eje central de cada respectivo depósito 94 para objetivos. O bien, los depósitos 94 para objetivos formados dentro de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos pueden estar dimensionados para retener las respectivas pastillas objetivo de irradiación 90 en una orientación aleatoria. En otras implementaciones, los receptáculos 98 para objetivos pueden incluir los depósitos 94 para objetivos situados estratégicamente alrededor de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos, y a lo largo de la superficie exterior del respectivo receptáculo 98 para objetivos.

La longitud axial Z de cada receptáculo 98 para objetivos de irradiación puede ser cualquier longitud adecuada suficiente para incluir depósito 94 para objetivos dimensionados para retener uno o más objetivos de irradiación 90 (no mostrados). Por ejemplo, los receptáculos 98 para objetivos pueden tener una longitud axial Z de aproximadamente 0,16 cm, 0,32 cm o mayor. Adicionalmente, en diversas realizaciones pueden disponerse unos espaciadores 150 de baja sección eficaz nuclear entre los receptáculos 98 para objetivos adyacentes. Cada espaciador 150 tiene un espesor Q seleccionado para situar los receptáculos 98 para objetivos en una disposición espacial deseada predeterminada, para proporcionar la absorción óptima de neutrones por parte de las pastillas objetivo de irradiación 90 (no mostradas).

En consecuencia, se contempla que la pluralidad de receptáculos 98 para objetivos dentro del cuerpo central 40 ejemplar mostrados en la Figura 14B puedan comprender uno o más receptáculos 98 para objetivos (Figura 14A) que tengan los depósitos 94 para objetivos posicionados estratégicamente alrededor de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos, uno o más receptáculos 98 para objetivos que tengan los depósitos 94 para objetivos situados estratégicamente a lo largo de la superficie exterior del respectivo receptáculo 98 para objetivos, una o más receptáculos 98 para objetivos que tenga los depósitos 94 para objetivos posicionados estratégicamente alrededor de al menos uno de los extremos axiales 130 opuestos, y a lo largo de la superficie exterior del respectivo receptáculo 98 para objetivos, o cualquier combinación de los mismos.

Con referencia a las Figuras 15A y 15B, en diversas realizaciones, uno o más de los cuerpos centrales 40 de una o más de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos puede tener una construcción de contención doble, para proporcionar un nivel adicional de protección contra las fugas de radiación debidas a soldaduras defectuosas que rompan la integridad de los cuerpos centrales 40, debido al frotamiento y el desgaste de los cuerpos centrales 40 durante el funcionamiento del reactor. Más en particular, en diversas realizaciones, uno o más de los cuerpos centrales 40 situados dentro de una o más de las barras 20 de objetivos de producción de isótopos puede incluir una cápsula 134 para objetivos de irradiación, posicionada concéntricamente dentro de la cavidad interna 66. La cápsula 134 para objetivos de irradiación incluye una carcasa exterior 138 que define una cavidad interna 142 para retener los objetivos de irradiación 70, por ejemplo los discos 78 y/o las pastillas 90, y el medio de separación 74, por ejemplo los espaciadores 82 y/o el/los receptáculo/s 98 para objetivos, de la misma manera a la descrita anteriormente con respecto a las Figuras 5 a 14.

Esto es, los objetivos de irradiación 70 pueden colocarse y retenerse dentro de la cavidad interna 142 de la cápsula 134 para objetivos de irradiación, en la disposición espacial particular que utiliza el medio de separación 74 de baja sección eficaz nuclear, de la misma manera y utilizando las mismas estructuras, sustancias, y materiales que se han descrito anteriormente en las diversas realizaciones con respecto a la cavidad interna 66 del cuerpo central 40 ilustrado en las Figuras 5 a 14.

En diversas realizaciones, puede haber un espacio intersticial 146 entre una pared interna de la cavidad 66 y la cápsula 134 para objetivos de irradiación. El espacio intersticial 146 permite la expansión térmica de la cápsula 134 para objetivos de irradiación. En diversas implementaciones, el espacio intersticial 146 puede rellenarse con un gas de alta conductividad térmica y sección eficaz nuclear sustancialmente nula, tal como helio, para que proporcione una alta conductividad térmica para eliminar el calor de la cápsula 134 para objetivos de irradiación, al tiempo que no presente impedancia alguna al flujo de neutrones del núcleo 10 de reactor de generación de energía nuclear. Adicionalmente, en diversas realizaciones, la cubierta exterior 138 de la cápsula 134 para objetivos de irradiación se puede fabricar con un material de baja sección eficaz nuclear, tal como circonio, aluminio o cualquier otro material sustancia o adecuado que tenga una baja sección eficaz nuclear.

Aunque en el presente documento los discos objetivo de irradiación 78, los espaciadores 82 de medio de separación, las pastillas objetivo de irradiación 90, los receptáculos 98 para objetivos y la cápsula 134 para objetivos de irradiación se han descrito e ilustrado de forma general con formas cilíndricas, es decir geometrías de sección transversal redondas o circulares, debe comprenderse que cada uno de los discos objetivo de irradiación 78, los espaciadores 82 de medio de separación, las pastillas objetivo de irradiación 90, los receptáculos 98 para objetivos y la cápsula 134 para objetivos de irradiación puede tener otras geometrías de sección transversal que no sean cilíndricas o circulares, y permanecer dentro del ámbito de la divulgación. Por ejemplo, se contempla que cada uno de los discos objetivo de irradiación 78, los espaciadores 82 de medio de separación, las pastillas objetivo de irradiación 90, los receptáculos 98 para objetivos y la cápsula 134 para objetivos de irradiación pueda tener geometrías de sección transversal cuadrada, triangular, rectangular, hexagonal, octagonal, trapezoidal, o cualquier otra geometría de sección transversal adecuada, y permanecer dentro del ámbito de la divulgación. Más en particular, debe comprenderse que las geometrías de sección transversal de algunos o todos de los discos objetivo de irradiación 78, los espaciadores 82 de medio de separación, las pastillas objetivo de irradiación 90, los receptáculos 98 para objetivos y la cápsula 134 para objetivos de irradiación pueden ser diferentes a la de algunos o todos de los respectivos discos objetivo de irradiación 78, los espaciadores 82 de medio de separación, las pastillas objetivo de irradiación 90, los receptáculos 98 para objetivos y la cápsula 134 para objetivos de irradiación. Por ejemplo, puede construirse una barra 20 de objetivos de producción de isótopos que tenga objetivos de irradiación con sección transversal hexagonal retenidos dentro de los depósitos 94 de un receptáculo 98 para objetivos de irradiación que tenga una sección transversal triangular, que esté alojado dentro de una cápsula 134 para objetivos de irradiación con una sección transversal cuadrada, o cualquier otra combinación posible de geometrías de sección transversal.

Debe comprenderse que, aunque en el presente documento los términos primer/o/a, segundo/a, tercero/a, etc. pueden usarse para describir diversos elementos, componentes, zonas y/o secciones, estos elementos, componentes, zonas y/o secciones no deben estar limitados por estos términos. Estos términos solo pueden utilizarse para distinguir un elemento, componente, zona o sección de otro componente, zona o sección.

Además, los términos que se refieren al espacio, tales como "por debajo", "debajo", "inferior", "arriba", "superior" y similares, en el presente documento pueden utilizarse para facilitar la descripción, para describir la relación de un elemento o característica con otro/s elemento/s o característica/s según se ilustra en las figuras. Debe comprenderse que los términos que se refieren al espacio pueden pretender abarcar diferentes orientaciones del dispositivo, durante el uso u operación, además de las orientaciones representadas en las figuras. Por ejemplo, si en las figuras el dispositivo está boca arriba, los elementos descritos como "debajo" o "por debajo" de otros elementos o características estarán entonces orientados "encima de" los otros elementos o características. Así, el término ejemplar "debajo" puede abarcar una orientación que se refiera tanto a arriba como a abajo. El dispositivo puede estar orientado de otra manera (girado 90 grados, o en otras orientaciones) y los términos de descripción relativos al espacio, usados en el presente documento, se interpretarán en consecuencia.

Adicionalmente, la terminología usada en el presente documento tiene el propósito de describir únicamente realizaciones particulares ejemplares, y no pretende ser limitante. Tal como se usan en el presente documento, las formas singulares "un", "uno/a" y "el/la" pueden estar destinadas a incluir las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Debe comprenderse adicionalmente que los términos "comprende" y/o "que comprende", cuando se usan en la presente memoria descriptiva, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes, etc., pero no excluye la presencia o adición de una o más otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes, grupos, etc. de los mismos.

A partir de la anterior descripción, los expertos en la materia pueden apreciar que las amplias enseñanzas de la presente divulgación pueden implementarse en diversas formas. Por lo tanto, aunque esta divulgación se ha descrito en relación con ejemplos particulares de la misma, el verdadero ámbito de la divulgación no debe estar limitado por esto, ya que otras modificaciones serán evidentes para los expertos en la materia al estudiar los dibujos, la memoria y las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una barra (20) de objetivos de producción de isótopos para un núcleo (10) de un reactor de energía nuclear, comprendiendo dicha barra (20) de objetivos de producción de isótopos:
 - 5 al menos un cuerpo central (40) de barra que incluye una carcasa exterior (65), que define una cavidad interna (66);
 - una pluralidad de objetivos de irradiación (70) proporcionados dentro de la cavidad interna (66), que están situados en una disposición espacial que utiliza un medio de separación (74) de baja sección eficaz nuclear, dispuesto dentro de la cavidad interna (66) para mantener la disposición espacial, caracterizado porque el medio de separación comprende una pluralidad de espaciadores (82) de objetivos de irradiación situados entre cada objetivo de irradiación (78) adyacente, para posicionar los objetivos de irradiación (78) en la disposición espacial.
2. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de la Reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - una cápsula (134) para objetivos de irradiación dentro de la cavidad interna (66) de cada respectivo cuerpo central (40) de barra, estando posicionados los objetivos de irradiación (70) en la disposición espacial dentro de la respectiva cápsula (134) para objetivos de irradiación.
- 15 3. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de la Reivindicación 1 o 2, en la que los espaciadores (82) de objetivos de irradiación están fabricados con al menos uno de entre circonio y aluminio.
4. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el medio de separación (74) comprende al menos un receptáculo (98) para objetivos de irradiación dentro de la cavidad interna (66) de cada respectivo cuerpo central (40) de barra, incluyendo cada receptáculo (98) para objetivos irradiación una pluralidad de depósitos (94) para objetivos en un patrón, dentro de al menos una porción de una superficie exterior de cada receptáculo (98) para objetivos de irradiación.
- 20 5. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de la Reivindicación 4, en la que cada depósito (94) para objetivos está dimensionado para retener un único objetivo (90) de irradiación.
6. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de la Reivindicación 4 o 5, en la que cada receptáculo (98) para objetivos de irradiación está fabricado con al menos uno de entre circonio y aluminio.
- 25 7. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que cada receptáculo (98) para objetivos de irradiación comprende un cuerpo sólido (110) y los depósitos (94) para objetivos están equiespaciados alrededor de la superficie exterior del cuerpo (110), entre unas porciones terminales axiales opuestas de la superficie exterior del cuerpo (110), de tal manera que cada depósito (94) para objetivos esté a una distancia sustancialmente igual de cada depósito (94) para objetivos adyacente.
- 30 8. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que cada receptáculo (98) para objetivos de irradiación comprende un cuerpo tubular (114) que tiene los depósitos (94) para objetivos, en el que el patrón está equiespaciado alrededor de una superficie exterior del cuerpo (114).
9. La barra (20) de objetivos de producción de isótopos de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en la que cada receptáculo (98) para objetivos de irradiación comprende:
 - un manguito tubular perforado (118), que tiene en el mismo una pluralidad de orificios (122) en el patrón; y
 - un núcleo sólido (120), montado dentro del manguito (118).
- 35 10. Un haz de combustible (14A) para un reactor de energía nuclear, comprendiendo dicho haz de combustible:
 - una pluralidad de barras de combustible (18); y
 - 40 al menos una barra (20) de objetivos de producción de isótopos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
11. Un procedimiento de producción de isótopos en un reactor de energía nuclear, comprendiendo dicho procedimiento:
 - 45 posicionar una pluralidad de objetivos de irradiación (70) dentro de una cápsula para objetivos de irradiación en una cavidad interna (66) de una barra (20) de objetivos de producción de isótopos, y posicionar un espaciador (82) de objetivos de irradiación entre cada objetivo de irradiación (70) adyacente, de manera que se posicionen los objetivos de irradiación (70) en una disposición espacial;
 - sellar los objetivos de irradiación (70) y los espaciadores (82) dentro de la cápsula para objetivos de irradiación.
 - sellar la cápsula (98) para objetivos de irradiación dentro de la cavidad interna (66) de una barra (20) de objetivos de producción de isótopos; e

incluir la barra (20) de objetivos de producción de isótopos dentro de un haz de combustible del reactor de energía nuclear.

12. El procedimiento de la Reivindicación 11, en el que el sellado de la pluralidad de objetivos de irradiación (70) y los espaciadores dentro de la cápsula (98) de objetivos de irradiación comprende:

- 5 fabricar los espaciadores (82) de objetivos de irradiación con al menos uno de entre circonio y aluminio.

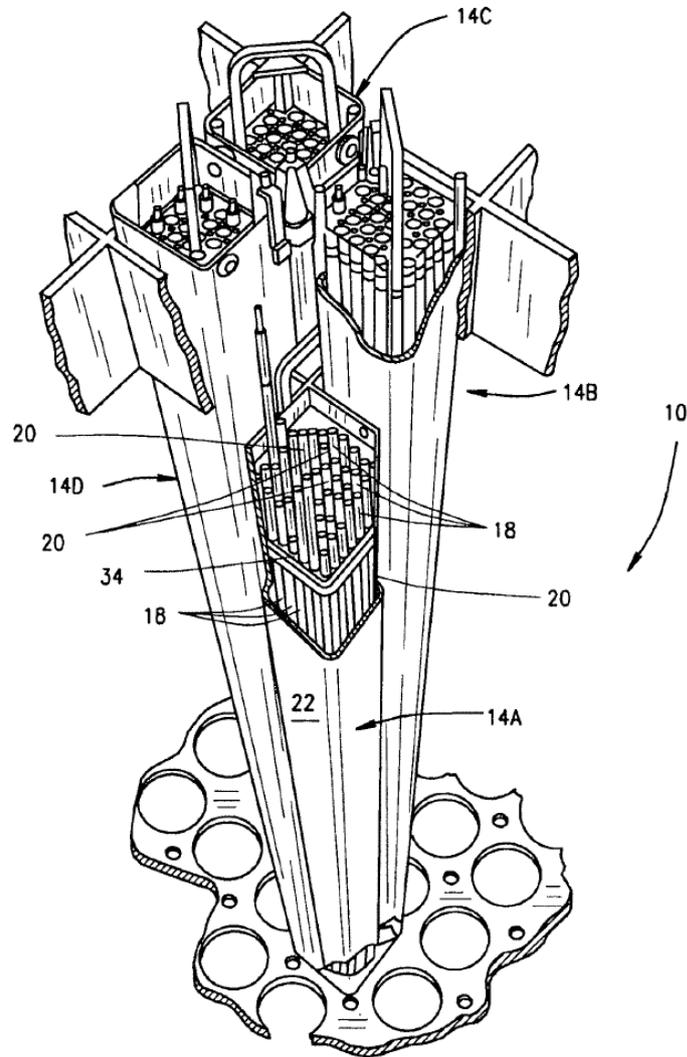


FIG. 1

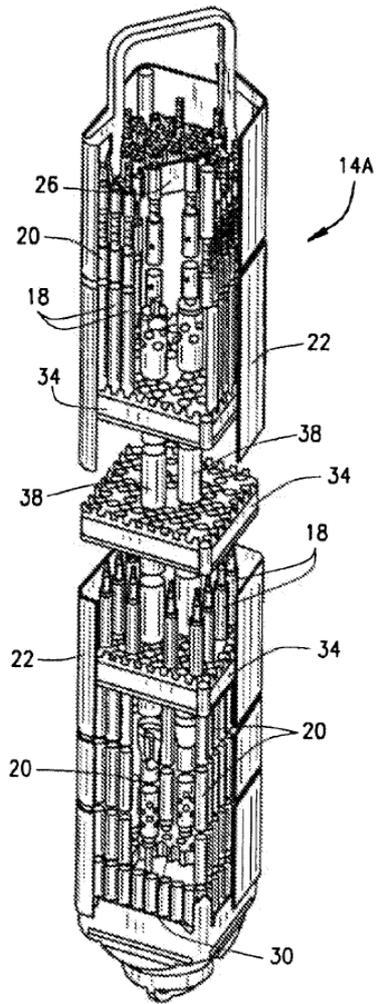


FIG. 2

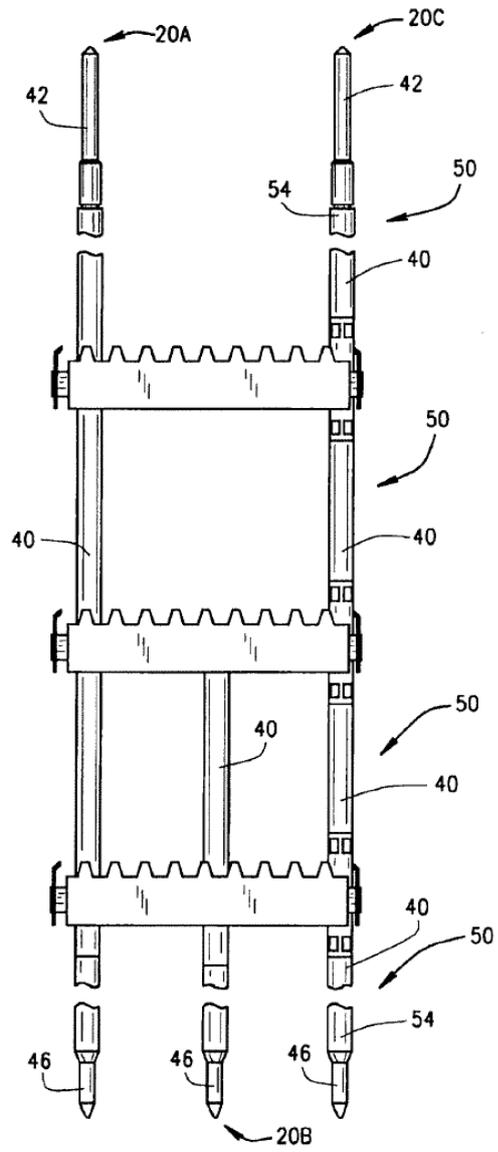


FIG. 3

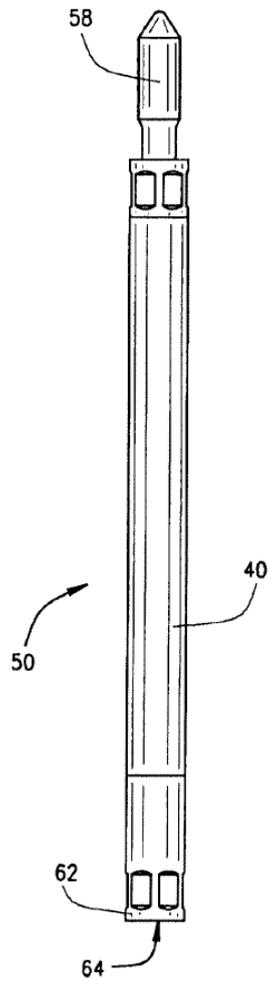


FIG. 4

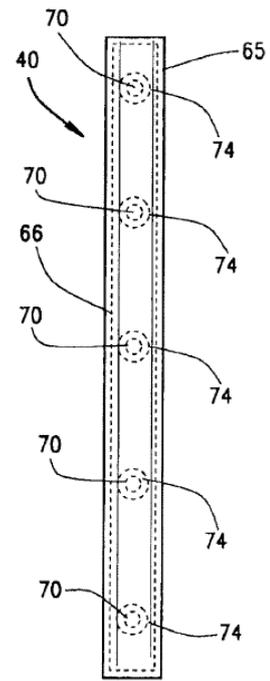


FIG. 5

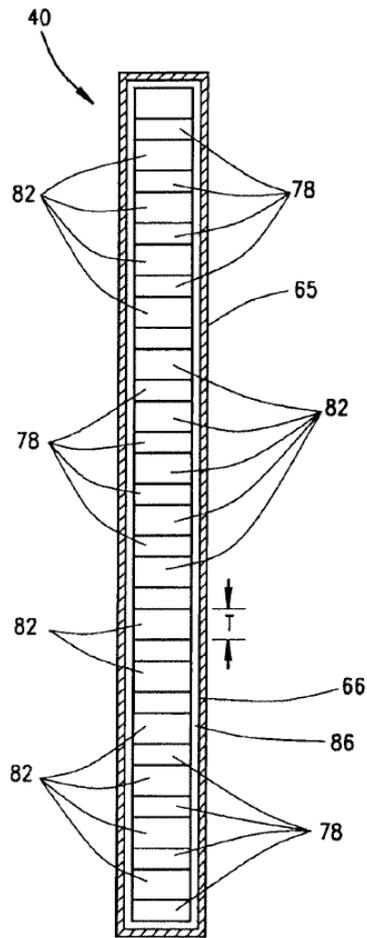


FIG. 6

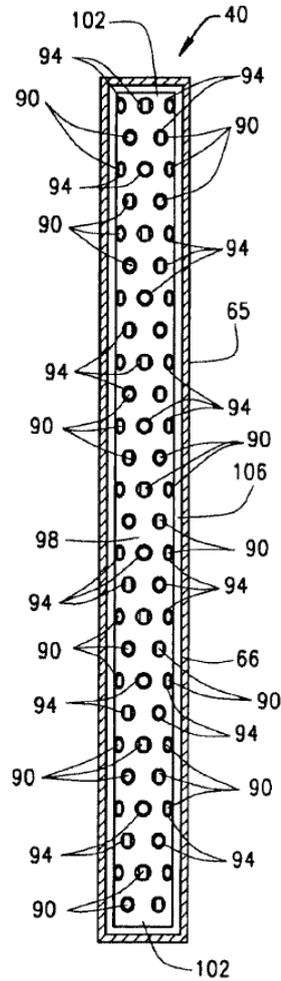


FIG. 7

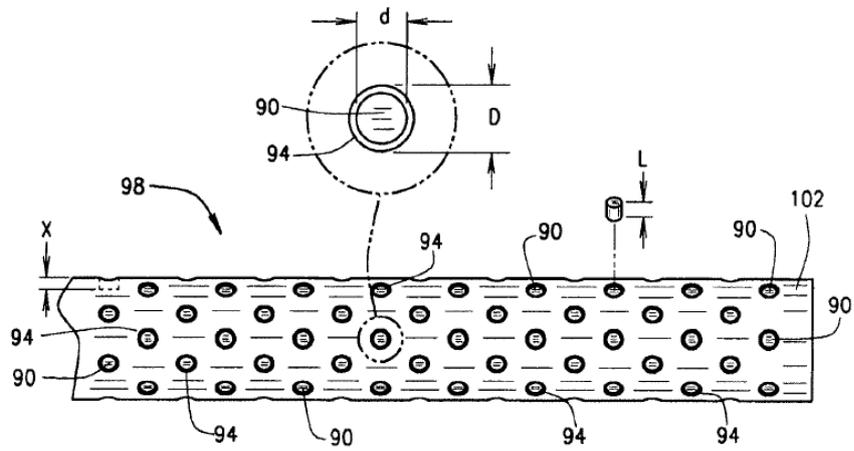


FIG. 8

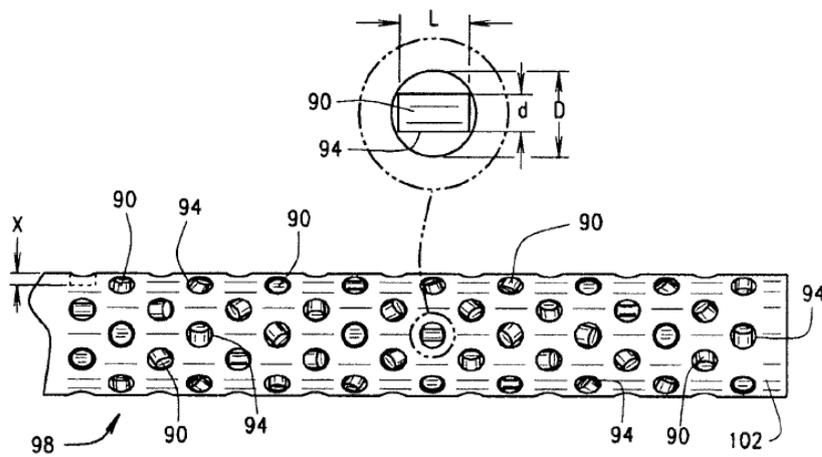


FIG. 9

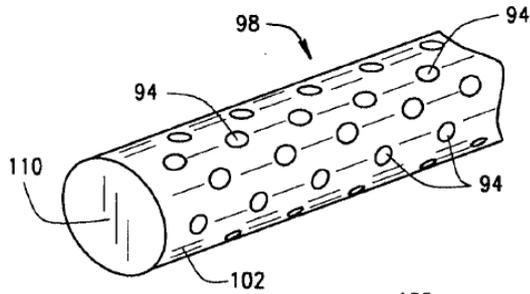


FIG. 10

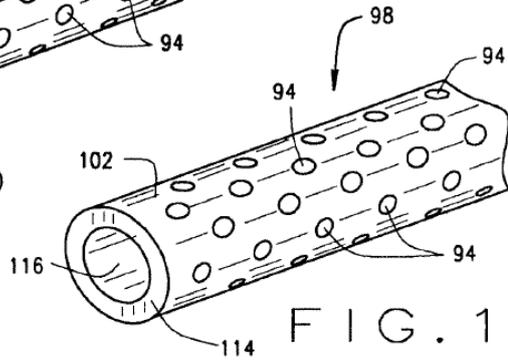


FIG. 11

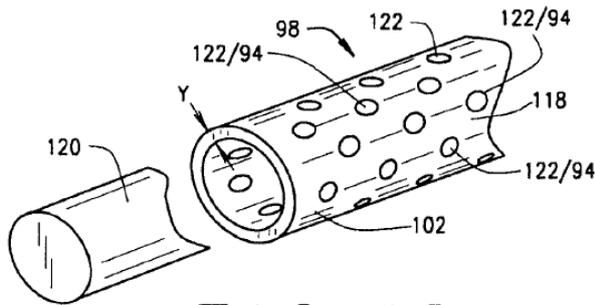


FIG. 12

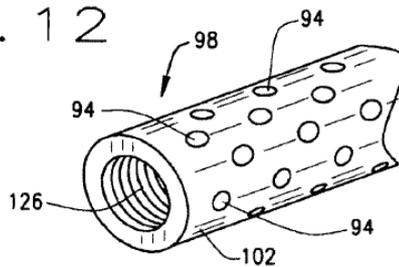


FIG. 13

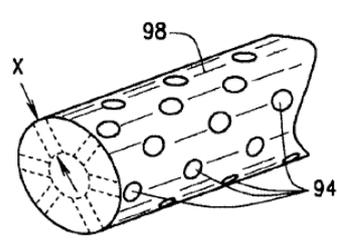


FIG. 13A

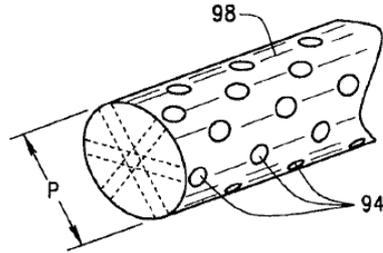


FIG. 13B

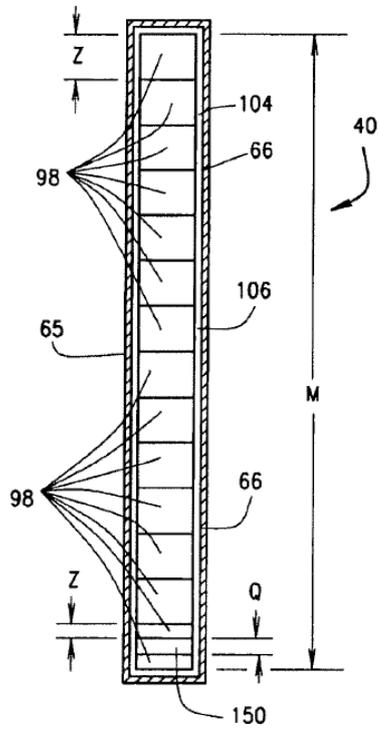


FIG. 14A

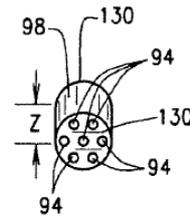


FIG. 14B

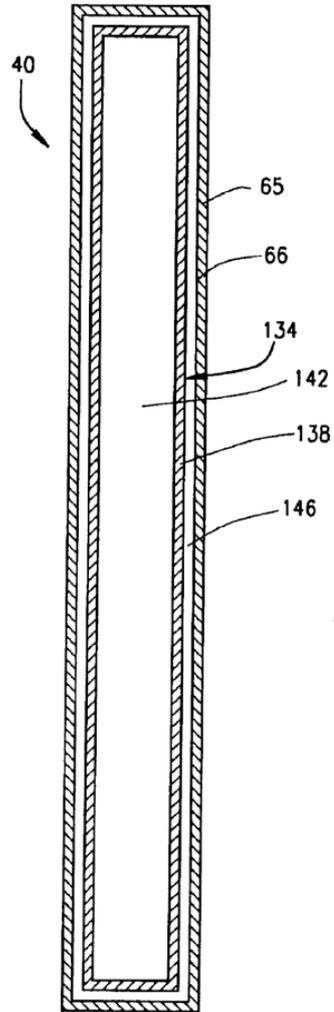


FIG. 15A

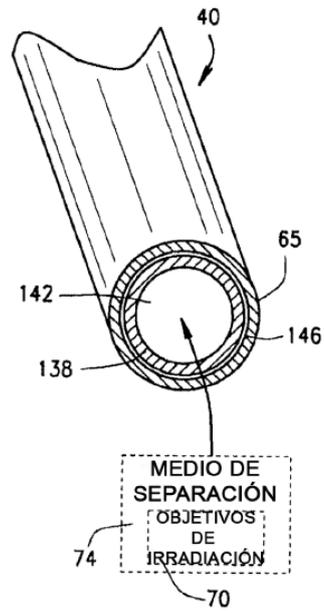


FIG. 15B