

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 408 196**

51 Int. Cl.:

G21G 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2010 E 10168990 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 2276038**

54 Título: **Procedimiento y aparato para producir isótopos en barras de agua de un conjunto de combustible nuclear**

30 Prioridad:

15.07.2009 US 458531

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

18.06.2013

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)**

**3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**SMITH, DAVID GREY y
RUSSELL II, WILLIAM EARL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 408 196 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 y aparato para producir isótopos en barras de agua de un conjunto de combustible nuclear

Antecedentes

Campo

- 5 Las realizaciones ejemplares se refieren, en general, a estructuras de combustible usadas en plantas de energía nuclear y a los procedimientos para usar las estructuras de combustible.

Descripción de la técnica relacionada

10 En general, las plantas de energía nuclear incluyen un núcleo del reactor que tiene un combustible fisible dispuesto en su interior para producir energía por fisión nuclear. Un diseño común en las plantas de energía nuclear de Estados Unidos es disponer el combustible en una pluralidad de barras de combustible revestidas, unidas juntas como un conjunto de combustible, o un conjunto de combustible situado dentro del núcleo del reactor. Estos conjuntos de combustible pueden incluir uno o más canales interiores o barras de agua que permiten que un refrigerante y/o moderador fluido pase a través del conjunto y proporcione transferencia de calor interior/moderación de neutrones sin llegar a una ebullición significativa.

15 Como se muestra en la Figura 1, un conjunto 10 de combustible convencional de un reactor nuclear, tal como un BWR, 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 18 de combustible de longitud completa y/o de barras 19 de combustible de longitud parcial pueden estar dispuestas en una matriz dentro del conjunto 10 de combustible y pasar a través de la pluralidad de espaciadores (conocidos también como rejillas 20 espaciadoras) separados axialmente unos de otros y que mantienen las barras 18, 19 en la matriz dada de las mismas. Las barras 18 y 19 de combustible son
20 generalmente continuas desde su base hasta el extremo, que en el caso de una barra 18 de combustible de longitud completa, es desde la placa 16 de sujeción inferior hasta la placa 14 de sujeción superior.

Pueden estar presentes una o más barras 22 de agua en una posición interior o central del conjunto 10. Las barras 22 de agua pueden extenderse por toda la longitud del conjunto 10 o terminar a un nivel deseado para proporcionar un refrigerante/moderador fluido a través del conjunto 10. Las barras 22 de agua pueden ser continuas, evitando que el fluido fluya fuera de las barras 22, o perforadas, segmentadas o abiertas de otra manera para permitir que el refrigerante o moderador fluido fluya entre las barras 22 y el resto del conjunto 10.
25

La Solicitud de Patente de Estados Unidos N° 2007/0133731 describe un procedimiento para producir isótopos en un reactor de potencia de agua ligera en el que una o más dianas dentro del reactor son irradiadas con un flujo de neutrones para producir uno o más isótopos. Las dianas pueden ensamblarse en uno o más haces de combustible que se van a cargar en un núcleo del reactor en una parada determinada. Las operaciones de potencia en el reactor irradian los haces de combustibles para generar los isótopos deseados, tal como uno o más radioisótopos a una actividad específica deseada o isótopos estables a una concentración deseada.
30

Las Figuras 2A-2D son ilustraciones de sección transversal axial de conjuntos de combustible 10 x 10 convencionales como los mostrados en la Figura 1, que muestran diversas configuraciones de barras de agua en conjuntos convencionales. Como se muestra en las Figuras 2A-2D, las barras 22 de agua pueden ser de una diversidad de longitudes (tales como de longitud completa o de longitud parcial), tamaños (por ejemplo, sección transversal con forma de barra o mayor) y formas (incluyendo circular, rectangular, con forma de cacahuete, etc.). Análogamente, puede estar presente cualquier número de barras 22 distintas en los conjuntos 10 convencionales, dependiendo de las características neutrónicas deseadas de los conjuntos que tienen las barras 22 de agua. Las barras 22 de agua pueden ser simétricas alrededor de un centro del conjunto, como se muestra en las Figuras 2A y 2D, o descentradas como se muestra en las Figuras 2B y 2C.
35
40

Sumario

45 La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema para generar isótopos deseados dentro de las barras de agua de conjuntos de combustible nuclear como se define en las reivindicaciones adjuntas. Los procedimientos ejemplares pueden incluir seleccionar una diana de irradiación deseada en base a las propiedades de la diana, cargar la diana en una barra diana en base a la diana de irradiación y las propiedades del conjunto de combustible, exponer la barra diana a un flujo de neutrones y/o recoger los isótopos producidos a partir de la diana irradiada de la barra diana.

50 Las barras diana de la realización ejemplar pueden alojar una o más dianas de irradiación de diversos tipos y fases. Las barras diana de la realización ejemplar pueden asegurar y contener adicionalmente dianas de irradiación dentro de una barra de agua de un conjunto de combustible nuclear. Las barras diana de la realización ejemplar pueden estar fijadas a o aseguradas con dispositivos de seguridad de la realización ejemplar a barras de agua para mantener su posición durante el funcionamiento de un reactor nuclear que contiene el conjunto de combustible.

Los dispositivos de seguridad de la realización ejemplar incluyen un collarín que soporta las barras diana dentro de una barra de agua y que permiten que un moderador/refrigerante fluya a través de la barra de agua.

Las realizaciones y procedimientos ejemplares pueden usarse juntos o con otros procedimientos para producir los isótopos deseados.

5 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación se da una descripción detallada de las realizaciones de la invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una ilustración de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que tiene dos barras de agua continuas, de longitud completa, en el conjunto.

10 La Figura 2A es una ilustración de una sección transversal de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que muestra barras de agua rectangulares.

La Figura 2B es una ilustración de una sección transversal de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que muestra una sola barra de agua elíptica descentrada.

15 La Figura 2C es una ilustración de una sección transversal de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que muestra una sola barra de agua rectangular descentrada.

La Figura 2D es una ilustración de una sección transversal de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que muestra múltiples barras de agua circulares.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para generar los isótopos deseados dentro de las barras de agua de los conjuntos de combustible nuclear.

20 La Figura 4 es una ilustración de una barra diana de la realización ejemplar que contiene dianas de irradiación.

La Figura 5 es una ilustración de un collarín y manguito de la realización ejemplar para asegurar las dianas de irradiación dentro de las barras de agua.

Las Figuras 6A y 6B son ilustraciones de un ejemplo de una arandela modular como una alternativa para asegurar las dianas de irradiación dentro de las barras de agua.

25 **Descripción detallada**

En el presente documento se desvelan realizaciones ilustrativas detalladas de las realizaciones ejemplares. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos desvelados en el presente documento son meramente representativos para los fines de describir realizaciones ejemplares. Las realizaciones ejemplares, sin embargo, pueden realizarse de muchas formas alternativas y no deberían considerarse limitadas solo a las realizaciones ejemplares expuestas en el presente documento.

30 Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. pueden usarse en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no deben limitarse a estos términos. Estos términos se usan solo para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse segundo elemento y análogamente, un segundo elemento podría denominarse primer elemento, sin alejarse del alcance de las realizaciones ejemplares. Como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye todas y cada una de las combinaciones de uno o más de artículos indicados asociados.

35 Se entenderá que cuando un elemento se denomina como "conectado", "acoplado", "emparejado", "fijado" o "unido" a otro elemento puede conectarse o acoplarse directamente a otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios. En contraste, cuando se dice que un elemento está "conectado directamente" o "acoplado directamente" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre los elementos podrían interpretarse de una manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "entre directamente", "adyacente" frente a "adyacente directamente", etc.).

40 La terminología usada en el presente documento es con el fin de describir realizaciones particulares únicamente y no pretende limitarse a las realizaciones ejemplares. Como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" pretenden incluir las formas plurales también, a menos que el lenguaje indique explícitamente otra cosa. Se entenderá que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usan en el presente documento, especifican la presencia de las características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero que no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos diferentes de los mismos.

Debe hacerse notar también que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos indicados pueden ocurrir fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras mostradas en sucesión pueden de hecho ejecutarse sustancialmente de forma concurrente o en ocasiones pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos implicados.

5 Aunque las realizaciones ejemplares pueden analizarse en un escenario particular o con referencia a un campo de la tecnología particular, se entiende que los procedimientos y realizaciones ejemplares pueden emplearse y adaptarse fuera de los contextos desvelados sin excesiva experimentación o sin limitar el alcance de los ejemplos desvelados en el presente documento. Por ejemplo, aunque las realizaciones ejemplares pueden mostrarse en conexión con un tipo particular de configuración del conjunto de combustible nuclear y barra de agua, las realizaciones ejemplares
10 pueden estar adaptadas y/o ser aplicables a cualquier otra configuración del conjunto de combustible y/o barra de agua. Análogamente, aunque las realizaciones y procedimientos ejemplares se analizaron con respecto a conjuntos de combustible nuclear convencionales, las realizaciones y procedimientos ejemplares pueden aplicarse también en diseños futuros de conjunto de combustible.

15 Los inventores han reconocido que las barras de agua en los conjuntos de combustible nuclear proporcionan una excelente fuente de moderador fluido a los conjuntos de combustible nuclear y, de esta manera, proporcionan también una excelente fuente para los neutrones térmicos dentro de los conjuntos de combustible nuclear. Los inventores han reconocido que la excelente fuente de neutrones térmicos en las barras de agua, en lugar de usarse para continuar la reacción de la cadena nuclear como en los conjuntos de combustible convencionales, puede usarse también para irradiar materiales particulares para producir los isótopos y radioisótopos deseados. Estos
20 materiales particulares pueden colocarse en las barras de agua de un combustible nuclear y después irradiarse durante el funcionamiento de un reactor que contiene el combustible nuclear. Los materiales pueden colocarse en posiciones y configuraciones tales que se consigan las características neutrónicas deseadas del conjunto. Los isótopos y radioisótopos resultantes pueden recogerse entonces y usarse en aplicaciones industriales, médicas y/o cualquier otra aplicación deseada. Los inventores han creado los siguientes procedimientos y aparatos ejemplares
25 para posibilitar de forma exclusiva el aprovechamiento de estos beneficios recién adquiridos.

Procedimientos ejemplares

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos ejemplares del uso de barras de agua para generar radioisótopos. Como se muestra en la Figura 3, en S300, el usuario/ingeniero selecciona un material deseado para su uso como una diana de irradiación. El ingeniero puede seleccionar el material diana y/o la cantidad de material diana en base al tipo y semivida de los isótopos que se producen a partir del material cuando se expone a un flujo de neutrones. El ingeniero puede seleccionar adicionalmente el material diana y/o la cantidad de material diana en base al conocimiento de la duración, cantidad y tipo de un flujo de neutrones al que se someterá la diana y/o que absorberá en su posición final en un reactor nuclear operativo. Por ejemplo, cobalto-59, níquel-62 y/o iridio-191 pueden seleccionarse en los procedimientos ejemplares porque se convierten fácilmente en cobalto-60, níquel-63 e iridio-192, respectivamente, en presencia de un flujo de neutrones. Cada uno de estos isótopos derivados tiene características deseadas, tales como uso como radioisótopos de larga duración en el caso del cobalto-60 y níquel-63, uso como fuente de radiografías en el caso del iridio-192. Puede elegirse la cantidad diana de irradiación inicial y/o los productos diana de irradiación ejemplares pueden tener una semivida suficientemente larga, de manera que una cantidad útil de productos permanezca sin desintegrarse en el momento cuando los productos están disponibles
30 para su recogida.

En S310, las dianas seleccionadas se ponen y/o se forman en una barra diana. Las barras diana de la realización ejemplar se analizan e ilustran a continuación. Se entiende que varios tipos y fases diferentes de materiales diana de irradiación pueden ponerse en una barra diana en S310 y que las barras diana de la realización ejemplar puedan formarse a partir de dianas de irradiación. Como alternativa, solo puede ponerse un único tipo y/o fase de material diana en una barra diana para separar los isótopos producidos en su interior. En S320, las barras diana que contienen la diana de irradiación seleccionada se instalan en barras de agua de los conjuntos de combustible nuclear. Los mecanismos de la realización ejemplar para instalar barras diana en barras de agua se analizan también a continuación con respecto a las realizaciones ejemplares.

El ingeniero puede situar y configurar adicionalmente las barras diana en S320 en base al conocimiento de las condiciones operativas en un reactor nuclear y el conjunto de combustible en el que se instalará la barra diana. Por ejemplo, el ingeniero puede desear un volumen de agua mayor en las posiciones axiales superiores dentro de las barras de agua y, en consecuencia, puede poner menos barras diana en las posiciones axiales superiores dentro de las barras de agua y/o reducir el diámetro de las barras diana en las posiciones axiales superiores. Como alternativa, por ejemplo, el ingeniero puede calcular un nivel deseado de flujo de neutrones para un nivel axial particular dentro de un conjunto de combustible y poner barras diana al nivel axial para absorber el exceso de flujo y conseguir el nivel deseado de absorción de flujo de neutrones desde el núcleo. Se entiende que el ingeniero puede configurar las barras diana en forma, tamaño, material, etc. y situar las barras en S320 para conseguir diversas características deseadas del conjunto, incluyendo características del conjunto termo-hidráulicas y/o neutrónicas. Análogamente, tal colocación y configuración de las barras diana en S320 puede satisfacer otros objetivos de diseño, tales como una producción de isótopo maximizada, volumen de agua de la barra de agua maximizado etc. Se entiende que la determinación de la configuración de la barra diana o colocación e irradiación de la selección diana basada en los
50
55
60

parámetros del conjunto de combustible y las características deseadas pueden realizarse antes de ejecutar los procedimientos ejemplares completamente, de manera que las configuraciones y colocaciones deseadas en S320 están predeterminadas.

5 En S330, las barras diana dentro de las barras de agua de los conjuntos de combustible nuclear se exponen al flujo de neutrones que convierte las dianas de irradiación en los productos derivados deseados. Por ejemplo, el conjunto de combustible que contiene barras diana puede cargarse en un reactor nuclear comercial clasificado como de 100 o más megavatios térmicos y las operaciones energéticas pueden iniciarse, generando de esta manera un flujo de neutrones en el conjunto y las barras de agua. Las barras de agua, que contienen mayores volúmenes de moderador líquido, puede suministrar mayores cantidades de neutrones térmicos a las barras diana, potenciando la producción de isótopos deseada de las dianas de irradiación en su interior. Pueden usarse también reactores y escenarios de ensayo no comerciales para irradiar las dianas de irradiación dentro de las barras de agua del conjunto.

15 En S340, los isótopos producidos pueden recogerse de las barras diana. Por ejemplo, el conjunto de combustible que contiene las barras diana puede retirarse del reactor durante una parada operativa, y las barras diana pueden retirarse del conjunto en el sitio o fuera del sitio de las instalaciones de manipulación de combustible. Los isótopos dentro de las barras diana pueden retirarse de las barras diana y procesarse o prepararse de otra manera para su uso. Por ejemplo, las dianas de irradiación y los isótopos producidos pueden retirarse a partir de una sola barra diana y separarse químicamente en instalaciones de celdas calientes, para purificar el isótopo producido.

20 Habiendo descrito los procedimientos ejemplares, se describen a continuación las barras diana de la realización ejemplar y otros mecanismos para colocar las barras diana en S310 y S320. Se entiende que pueden usarse otras realizaciones ejemplares con los procedimientos ejemplares descritos anteriormente para producir isótopos deseados en barras de agua de conjuntos de combustible nuclear. Análogamente, las realizaciones ejemplares descritas a continuación pueden usarse con otros procedimientos ejemplares usando diferentes etapas y/o orden de las etapas.

25 Barras diana de la realización ejemplar

La Figura 4 ilustra una barra 100 diana de la realización ejemplar que puede utilizarse en barras de agua de conjuntos de combustible nuclear para producir isótopos deseados. Como se muestra en la Figura 4, las barras 100 diana ejemplares pueden ser generalmente alargadas y cilíndricas o con otra forma para adaptarse dentro de las barras 22 de agua (Figuras 1 y 2) en los conjuntos de combustible nuclear. Las barras 100 diana de la realización ejemplar tienen una sección transversal o diámetro 101 que es menor que una sección transversal o diámetro de las barras 22 de agua, para ajustarse dentro de las barras de agua. El diámetro 101 puede ser también variable y/o sustancialmente menor que un diámetro o sección transversal de las barras de agua para permitir que pasen cantidades apreciables de refrigerante/moderador fluido a través de las barras de agua mientras que las barras 22 diana se instalan en las barras de agua.

35 La barra 100 diana de la realización ejemplar tiene una superficie 104 exterior que define al menos una cavidad 105 interna donde las dianas 110 de irradiación pueden estar contenidas. La cavidad 105 está con formada y situada dentro de la barra 100 de manera que mantiene las dianas 110 de irradiación a las alturas axiales deseadas o en otras posiciones deseadas. Como se ha descrito en los procedimientos ejemplares anteriores, las dianas 110 de irradiación pueden situarse directamente en la cavidad 105 de la barra 100 diana, particularmente si las dianas 110 de irradiación y los isótopos producidos a partir de las mismas son materiales sólidos. Análogamente, las dianas 110 de irradiación líquidas y/o gaseosas pueden cargarse en la cavidad 105. Como alternativa, las estructuras 111 de contención adicionales pueden cargarse con las dianas 110 de irradiación deseadas, sellarse y situarse dentro de la cavidad 105 interna. Las estructuras 111 de contención pueden proporcionar una capa adicional de contención entre la diana 110 de irradiación y el reactor nuclear operativo y/o pueden servir para separar y contener diferentes tipos/fases de dianas de irradiación e isótopos producidos dentro de la cavidad 105. Por ejemplo, uno o más tipos diferentes de diana 110 de irradiación pueden situarse en diferentes estructuras 111 de contención todas situadas dentro de la cavidad 105. Las diferentes estructuras 111 de contención pueden separar las diferentes dianas 110 de irradiación y los diversos isótopos producidos a partir de las mismas cuando se exponen al flujo de neutrones. Análogamente, si un isótopo producido es un líquido o gas, las estructuras 111 de contención pueden contener el líquido o gas producido en una región más pequeña, definida para una manipulación y retirada más fácil de la cavidad 105.

45 La estructura 111 de contención y/o las dianas 110 de irradiación pueden llevar indicadores 113 que identifiquen el tipo de diana y/u otras características. Análogamente, la barra 100 diana ejemplar puede incluir un indicador 130 externo que identifica la diana o dianas 110 contenidas en su interior u otra información deseada respecto a la barra 100 diana.

55 La barra 100 diana de irradiación ejemplar puede incluir adicionalmente un punto 120 de acceso que permita el acceso a la cavidad 105 interna y las dianas 110 de irradiación y los isótopos producidos a partir de las dianas 110 de irradiación en la cavidad 105. El punto 120 de acceso puede estar sellado tal como para contener dianas 110 de irradiación y/o estructuras 111 de contención mientras la barra 100 diana se expone al flujo de neutrones en un

reactor nuclear operativo. Por ejemplo, el punto 120 de acceso puede ser un sello mecánico o un enlace de material que sella la cavidad 105 interna después de que las dianas 110 de irradiación y/o las estructuras 111 de contención se sitúen en su interior. El punto 120 de acceso puede incluir una serie de elementos de aplanado hexagonales u otros mecanismos de reducción del espesor que permitan una rotura controlada y acceso a la cavidad 105 para recoger los isótopos producidos en su interior. Como alternativa, el punto 120 de acceso puede incluir un extremo roscado y una superficie interna roscada complementariamente que permite el atornillado y desatornillado de las partes de la barra 100 para sellar y acceder a la cavidad 105 repetidamente. Otros mecanismos de unión y desunión conocidos pueden estar presentes en el punto 120 de acceso, que permiten el acceso a y el sellado de la cavidad 105 interna.

La barra 100 diana de la realización ejemplar puede incluir uno o más dispositivos 160 de sujeción que permiten la unión o asegurar de otra manera la barra 100 diana ejemplar dentro de una barra de agua en un reactor nuclear operativo. Por ejemplo, el dispositivo 160 de sujeción puede ser un elemento de sujeción que sujeta un exterior de las barras 22 de agua (Figura 1) o puede ser un punto de conexión por soldadura a las barras 22 de agua (Figura 1). Como alternativa, el dispositivo 160 de sujeción puede interactuar con los mecanismos de seguridad de la realización ejemplar analizados a continuación.

La barra 100 diana de la realización ejemplar puede tomar cualquier forma o configuración deseada para satisfacer los parámetros del conjunto de combustible deseado y/o de exposición al flujo de neutrones. Por ejemplo, la barra 100 diana ejemplar puede ser de una longitud que permita o evite que la barra 100 diana y/o las dianas 110 de irradiación en su interior se extiendan a posiciones axiales dentro de una barra de agua donde la presencia de la barra 100 diana es deseada o no deseada. Por ejemplo, el ingeniero puede identificar una posición axial particular dentro de un conjunto de combustible nuclear con niveles de flujo de neutrones ideales para producir isótopos a partir de una cantidad de material en la diana 110 de irradiación y pueden crear una barra 100 diana y una cavidad 105 interna tal que la diana 110 de irradiación está situada en la posición axial cuando se instala en la barra de agua. O, por ejemplo, la barra 100 diana puede incluir adicionalmente extremos 150 ahusados que reducen la sección transversal de la barra 100 diana y que permiten un mayor volumen de agua en las barras de agua cuando se coloca la barra 100 diana, para permitir mayores cantidades de moderación y/o transferencia de calor al agua.

La barra 100 diana de la realización ejemplar puede fabricarse de cualquier material que mantenga sustancialmente sus propiedades mecánicas y neutrónicas en un entorno del reactor nuclear operativo mientras proporciona una sujeción adecuada a las dianas 110 irradiadas alojadas en su interior. Por ejemplo, la barra 100 diana puede fabricarse a partir de circonio y aleaciones del mismo, acero inoxidable resistente a corrosión, aluminio, etc., en base a las necesidades materiales de la barra 100 diana y/o los materiales usados para fabricar las barras 22 de agua (Figura 1).

En una realización alternativa, las barras diana ejemplares pueden fabricarse a partir del propio material diana de irradiación, si la diana de irradiación y los isótopos producidos a partir de la misma tienen características físicas apropiadas. Por ejemplo, las barras 100 diana ejemplares pueden fabricarse de iridio-191 y situarse dentro de las barras de agua de acuerdo con los procedimientos ejemplares, porque el iridio-191 y su isótopo generado, el iridio 192, son sólidos y compatibles con las condiciones del reactor nuclear operativo. En tal realización, las barras diana pueden poseer o no cavidades internas que alojan otras dianas de irradiación adicionales.

Se entiende que las barras diana de la realización ejemplar pueden variarse de diversas maneras a partir de la descripción dada anteriormente y aún realizar las funciones de contener las dianas de irradiación dentro de barras de agua de conjuntos de combustible nuclear. Adicionalmente, las barras diana de la realización ejemplar pueden fijarse a o mantenerse de otra manera en barras de agua, en solitario o en combinación con los mecanismos de carga y seguridad de la realización ejemplar analizados a continuación.

Mecanismos de seguridad de la realización ejemplar

Pueden usarse diversos mecanismos de seguridad ejemplares diferentes para contener una o más barras diana de la realización ejemplar dentro de las barras de agua de los conjuntos de combustible nuclear. La Figura 5 es una ilustración de un collarín 500 de soporte de la barra de agua de la realización ejemplar. El collarín 500 de la realización ejemplar se fija a una barra 22 de agua convencional por su extremo 502 inferior en un conjunto de combustible. El collarín 500 se extiende radialmente dentro del canal de la barra 22 de agua y proporciona un soporte sobre el que las barras 200 diana de la realización ejemplar pueden apoyarse en la barra 22 de agua. Las barras 200 diana de la realización ejemplar pueden ser similares a las barras diana ejemplares analizadas anteriormente y pueden miniaturizarse o alterarse de otra manera en tamaño para adaptarse al collarín 500 y/o permitir una separación apropiada dentro de la barra 22 de agua. Análogamente, una o más dianas 210 de irradiación pueden situarse en y/o unirse juntas dentro de una barra 200 diana. El collarín 500 retiene un pasaje 503 de flujo a través del cual el refrigerante/moderador líquido puede fluir hacia y a través de la barra 22 de agua.

Las barras 200 diana pueden descansar sobre o unirse, soldarse, roscarse y/o asegurarse de otra manera al collarín 500 para retener las barras diana en una posición constante dentro de la barra 22 de agua. Adicionalmente, un manguito 501 puede unirse a un collarín 500 y extenderse axialmente hacia arriba dentro de la barra 22 de agua. El manguito 501 puede asegurar adicionalmente las barras 200 diana de la realización ejemplar a una posición

circunferencial dentro de la barra 22 de agua. El manguito 501 puede sujetarse, soldarse o ser continuo con el collarín 500 y retener el pasaje 503 de flujo en la barra 22 de agua. Tanto el collarín 500 como el manguito 501 pueden fabricarse de materiales que retienen sus propiedades mecánicas y neutrónicas expuestas a las condiciones operativas en un reactor nuclear, incluyendo materiales ejemplares tales como acero inoxidable y/o aleaciones de circonio.

El collarín 500 y el manguito 501 pueden ser una diversidad de formas, dependiendo de la forma de la barra 22 de agua. Por ejemplo, si la barra 22 de agua tiene forma de cacahuete, el collarín 500 y/o el manguito 501 pueden tener adicionalmente forma de cacahuete. Análogamente, el collarín 500 y el manguito 501 no necesariamente se extienden alrededor de todo el perímetro interno de las barras 22 de agua; el collarín 500 y/o el manguito 501 pueden estar presentes solo en una parte del perímetro interno de las barras 22 de agua. Aunque el collarín 500 y el manguito 501 se muestran en el extremo inferior 502 de la barra 22 de agua, se entiende que el collarín 500 y/o el manguito 501 puede moverse a otras posiciones axiales en la barra 22 de agua, para conseguir una colocación deseada de las barras 200 diana de la realización ejemplar soportadas mediante ellos.

Se entiende que el collarín 500 de la realización ejemplar, con o sin manguito 501, puede usarse junto con otros dispositivos de retención para las barras diana ejemplares. Por ejemplo, la barra 200 puede estar sujeta adicionalmente a la barra 22 de agua a través de un dispositivo 160 de sujeción (Figura 4) además de estar soportada por el collarín 500 y el manguito 501.

Las Figuras 6A y 6B son ilustraciones de una arandela 600 modular que puede usarse para asegurar y retener las barras 200 diana ejemplares dentro de las barras 22 de agua. Como se muestra en la Figura 6A, pueden ponerse una o más arandelas 600 dentro de la barra 22 de agua en una o más posiciones axiales. Las arandelas 600 ejemplares pueden mantenerse en una posición axial particular por fricción únicamente y/o por mecanismos de sujeción o unión tales como soldadura y/o indentación en la barra 22 de agua que mantiene estacionaria a la arandela 600. Como alternativamente, como se muestra en la Figura 6B, un poste o tubo 610 central puede extenderse a través de una abertura 605 y fijarse a varias arandelas 600. Por tanto, las arandelas pueden mantenerse a distancias relativas y rotaciones constantes mediante el tubo 610 central, mientras que el tubo 610 central aún permite que un moderador/refrigerante fluido fluya a través del tubo 610 central y la barra 22 de agua.

La arandela 600 modular incluye una o más aberturas 605 en las localizaciones deseadas en la arandela 600. Las aberturas 605 están conformadas para permitir que al menos una barra 200 diana pase a través de y/o se una a la arandela 600. Las barras 200 diana pueden asentarse friccionalmente dentro de las aberturas 605 y/o pueden mantenerse de otra manera o ajustarse de forma flexible en las aberturas 605. De esta manera, las aberturas 605 mantienen la barra 200 diana en una posición angular y/o axial fija dentro de la arandela 600 y, de esta manera, en la barra 22 de agua. Las aberturas 605 que mantienen las barras 100 diana pueden evitar o reducir el movimiento de las barras 100 diana durante el funcionamiento del reactor nuclear. Las arandelas 600 pueden incluir adicionalmente diversas aberturas 605 no rellenas que permiten que el refrigerante/moderador fluya a través de la barra 22 de agua. Diversas aberturas 605 pueden mantener las barras 200 diana, de manera que múltiples barras 200 diana pueden mantenerse en posiciones constantes relativas unas a las otras dentro de la barra 22 de agua mediante las arandelas 600.

Pueden usarse múltiples arandelas 600 en una sola barra 22 de agua. Como se muestra en la Figura 6A, otras arandelas pueden mantener las mismas y/o diferentes barras 200 diana dentro de la barra 22 de agua. Las arandelas adicionales pueden proporcionar estabilidad adicional y alineación para las barras 200 diana que pasan a través de las múltiples arandelas 600.

Las arandelas 600 pueden fabricarse a partir de materiales que retienen sus propiedades mecánicas y neutrónicas cuando se exponen a condiciones operativas en un reactor nuclear, incluyendo materiales ejemplares tales como aleaciones de acero inoxidable y/o circonio. Las arandelas 600 pueden ser una diversidad de formas, dependiendo de la forma de la barra 22 de agua. Por ejemplo, si la barra 22 de agua fuera triangular, las arandelas 600 podrían ser análogamente triangulares. La arandela 600 no se extiende necesariamente alrededor de todo el perímetro interno de las barras 22 de agua; la arandela 600 puede estar presente en una única parte del perímetro interno de las barras 22 de agua. Se entiende que la arandela 600 puede moverse a otras posiciones axiales en la barra 22 de agua, para conseguir una colocación deseada de las barras 200 diana soportadas de esta manera.

Se entiende que las arandelas 600 pueden usarse en solitario o junto con otros dispositivos de retención para barras diana ejemplares. Por ejemplo, la barra 200 diana puede estar sujeta adicionalmente a la barra 22 de agua mediante un dispositivo 160 de sujeción (Figura 4) o soportada mediante el collarín 500 y el manguito 501 (Figura 5) además de estar asegurada mediante las arandelas 600. Los conjuntos de combustible de la realización ejemplar incluyen todas o algunas de las barras diana de la realización ejemplar descrita anteriormente y estructuras de contención utilizables de acuerdo con los procedimientos ejemplares.

Las estructuras de retención que incluyen arandelas 600 y/o collarines 500 de soporte pueden instalarse durante la fabricación de los conjuntos de combustible que contendrán las mismas. Las estructuras de retención pueden instalarse también después de que un conjunto de combustible se haya completado, o en conjuntos de combustible existentes. Como se ha descrito anteriormente con respecto a los procedimientos ejemplares, las estructuras de

retención pueden instalarse en las posiciones/configuraciones deseadas para satisfacer criterios específicos del conjunto. Las barras diana de la realización ejemplar pueden instalarse con las estructuras de retención o después de su instalación, como se describe en S320 anterior.

5 Debido a que las realizaciones y procedimientos ejemplares permiten y posibilitan que las dianas de irradiación se sometan a los diversos niveles de flujo térmico presentes en las barras de agua del reactor nuclear, los productos isotópicos creados en las realizaciones y procedimientos ejemplares pueden poseer una mayor actividad y/o pureza y pueden ser generados en cantidades de tiempo menores. Las realizaciones y procedimientos ejemplares proporcionan además a los ingenieros nucleares herramientas adicionales para configurar las propiedades neutrónicas y/o termodinámicas del conjunto de combustible por colocación de las dianas de irradiación dentro de
10 barras de agua donde pueden afectar favorablemente a estas propiedades mientras generan los isótopos deseados.

Habiendo descrito por tanto las realizaciones ejemplares, un experto apreciará que las realizaciones ejemplares pueden variarse por experimentación rutinaria y sin actividad inventiva adicional. Por ejemplo, aunque las realizaciones y procedimientos ejemplares se dan con respecto a diseños del conjunto de combustible y configuraciones de barra de agua existentes, está ciertamente dentro de las habilidades del ingeniero nuclear revisar
15 las realizaciones y procedimientos ejemplares para adecuarlos a futuros diseños mientras se mantienen las propiedades descritas anteriormente de las realizaciones y procedimientos ejemplares. Las variaciones no deben considerarse como una desviación del alcance de las realizaciones ejemplares y se pretende que todas estas modificaciones, como será obvio para un experto en la materia, estén incluidas dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para generar productos isotópicos, comprendiendo el procedimiento:
 - seleccionar (S300) una diana (110) de irradiación;
 - colocar (S310) la diana (110) de irradiación en una barra (100) diana;
 - 5 instalar la barra (100) diana en un barra (22) de agua de un conjunto (10) de combustible nuclear;
 - asegurar la barra (100) diana dentro de la barra (22) de agua soportando la barra (100) diana mediante un collarín (500) unido a la barra (22) de agua en una posición axial y que se extiende radialmente en la barra (22) de agua; y
 - 10 exponer (S330) la diana (110) de irradiación a un flujo de neutrones para convertir sustancialmente la diana (110) de irradiación en productos isotópicos.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
 - formar la diana (110) de irradiación en una barra (100) diana, en el que la colocación de la diana (110) de irradiación en una barra (22) de agua incluye la instalación (S320) de la barra (100) diana en una barra (22) de agua.
- 15 3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente:
 - recoger (S340) los productos isotópicos de la barra (22) de agua.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que instalar la barra (100) diana en una barra (22) de agua incluye situar la diana (110) de irradiación en una posición dentro de la barra (22) de agua para conseguir una propiedad neutrónica o termodinámica deseada del conjunto (10) de combustible nuclear.
- 20 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la selección de la diana (110) de irradiación incluye seleccionar un tipo y cantidad de diana (110) de irradiación para conseguir una actividad deseada del producto isotópico en base a las propiedades de la diana (110) de irradiación y la cantidad y duración del flujo de neutrones al que está expuesta la diana (110) de irradiación.
- 25 6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la exposición de la diana (110) de irradiación al flujo de neutrones incluye comenzar la operación de potencia en un reactor de 100 + MW_{th} que contiene el conjunto (10) de combustible.
7. Un sistema para producir isótopos en una barra (22) de agua de un conjunto (10) de combustible, comprendiendo el sistema:
 - 30 al menos una barra (100) diana que contiene una diana (110) de irradiación, teniendo la al menos una barra (100) diana un tamaño que permita la colocación de la al menos una barra (100) diana dentro de la barra (22) de agua; y
 - al menos un dispositivo de seguridad configurado para contener la al menos una barra (100) diana dentro de la barra (22) de agua durante el funcionamiento de un reactor que contiene el conjunto (10) de combustible,
 - 35 en el que la barra (100) diana tiene una pared externa que define una cavidad (105) dentro de la barra (100) diana, y en el que una o más dianas (110) de irradiación están situadas dentro de la cavidad (105);
 - caracterizado porque**
 - el al menos un dispositivo de seguridad incluye un collarín (500) unido a la barra (22) de agua en una posición axial y que se extiende radialmente dentro de la barra (22) de agua, soportando el collarín (500) la al menos una barra (100) diana en la posición axial.
- 40 8. El sistema de la reivindicación 7, en el que el al menos un dispositivo de seguridad incluye adicionalmente un manguito (501) que se extiende axialmente hacia arriba desde el collarín (500) y que está unido al collarín (500), limitando el manguito (501) el movimiento radial de la al menos una barra (100) diana dentro de la barra (22) de agua.
- 45 9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, en el que el collarín y al menos una barra diana soportada por el collarín están unidos.
10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el al menos un dispositivo de seguridad incluye una arandela fijada a la barra de agua en una posición axial, incluyendo la arandela una pluralidad de aberturas, extendiéndose la al menos una barra diana a través de la pluralidad de aberturas.
- 50 11. El sistema de la reivindicación 10, en el que una abertura tiene un diámetro sustancialmente igual al de la barra diana que se extiende a través de la misma, de manera que se une friccionalmente con, y mantiene la posición de, la barra diana que se extiende a través de la misma.
12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que la barra diana incluye adicionalmente un dispositivo de unión configurado para unir la barra de agua y mantener la barra diana estacionaria en su interior.

13. Un conjunto de combustible nuclear, que comprende:

- 5 una pluralidad de barras de combustible que contienen material fisible, extendiéndose las barras de combustible en una dirección axial;
- al menos una barra de agua que se extiende en la dirección axial, teniendo la barra de agua extremos abiertos en los extremos del conjunto de combustible de manera que permita que un fluido fluya a través del conjunto de combustible en la dirección axial;
- y un sistema para producir isótopos en la barra de agua de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12.

FIG. 1
TÉCNICA RELACIONADA

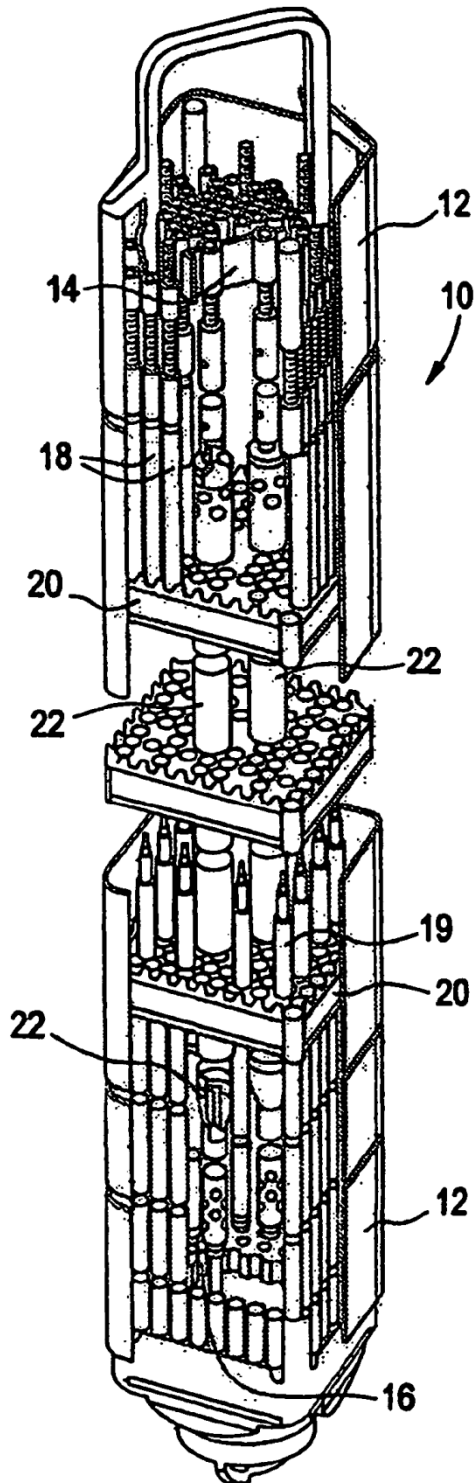


FIG. 2A
TÉCNICA RELACIONADA

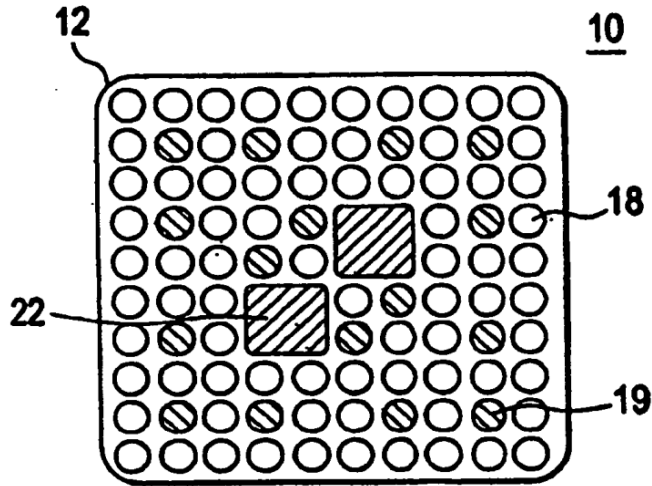


FIG. 2B
TÉCNICA RELACIONADA

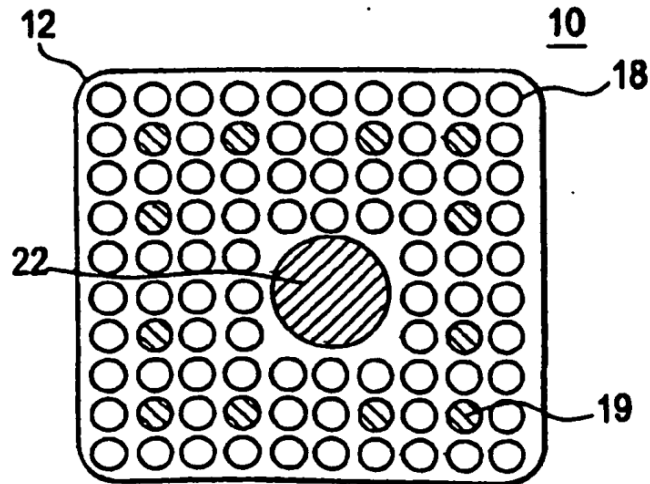


FIG. 2C
TÉCNICA RELACIONADA

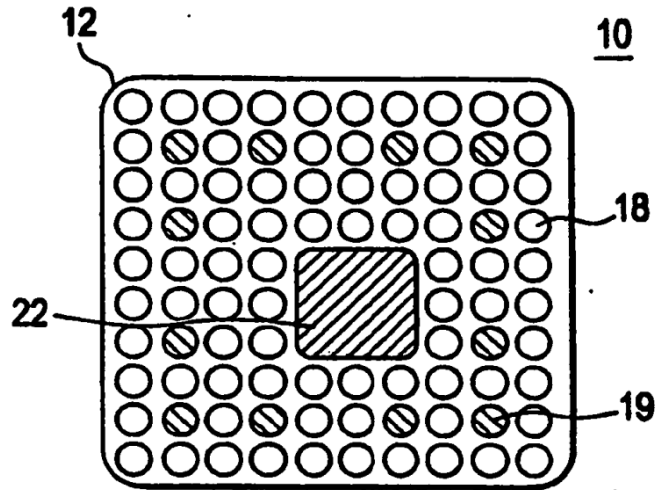


FIG. 2D
TÉCNICA RELACIONADA

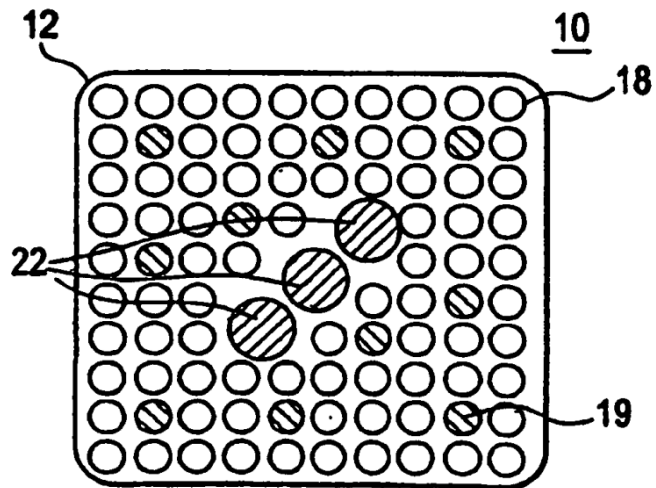


FIG. 3

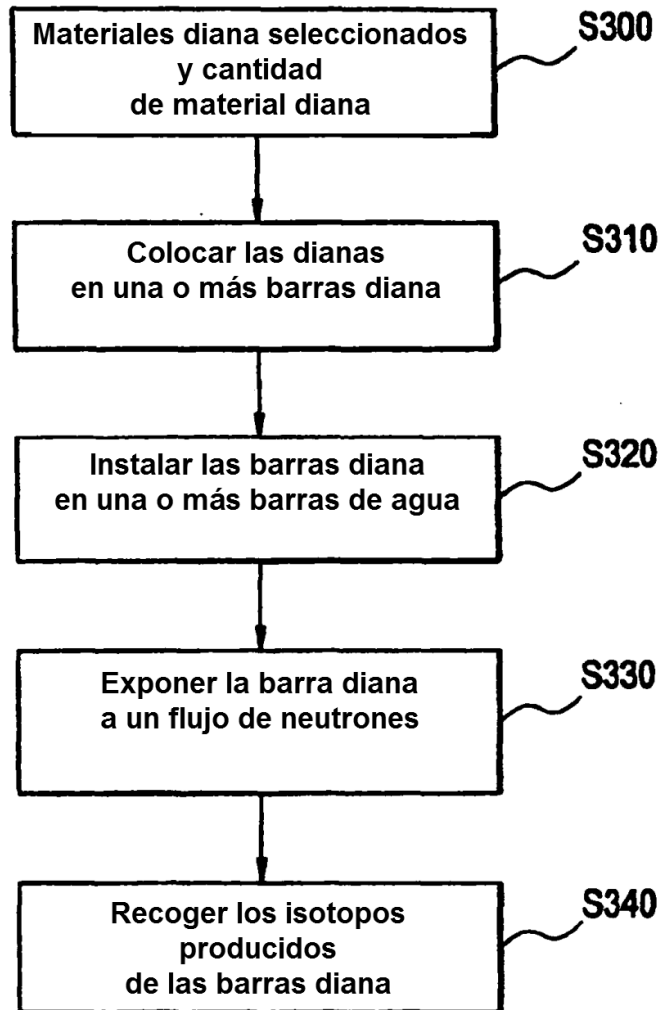


FIG. 4

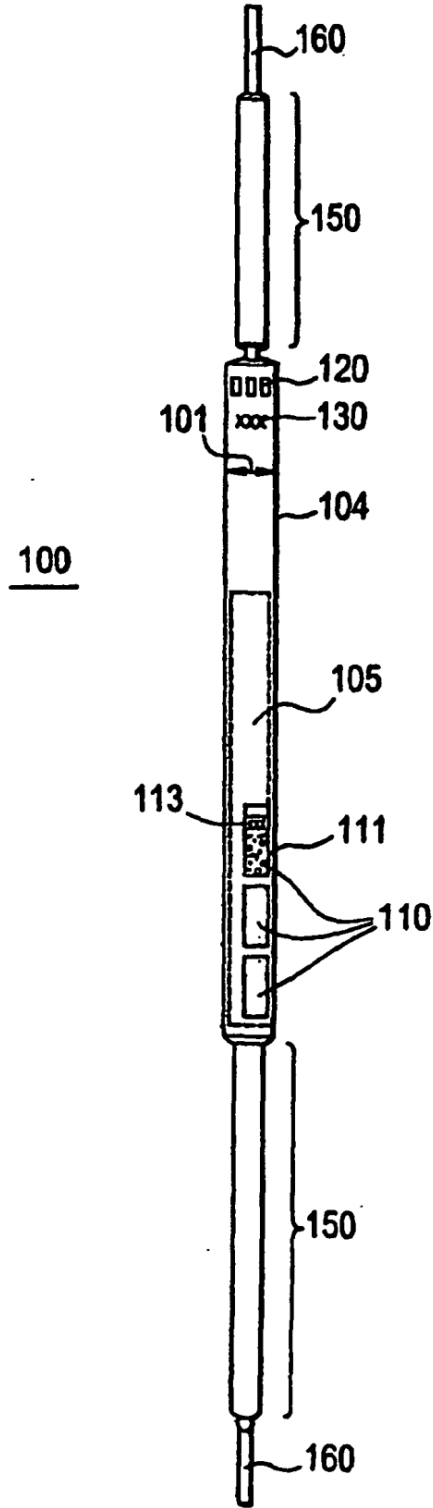


FIG. 5

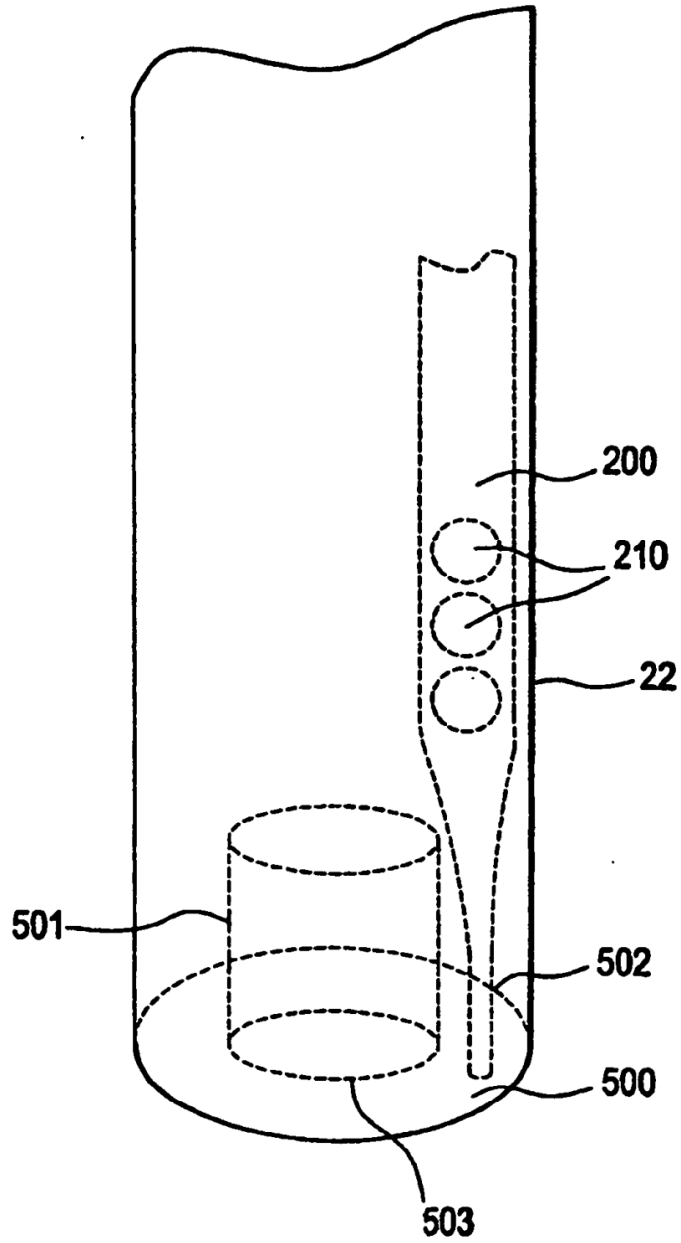


FIG. 6A

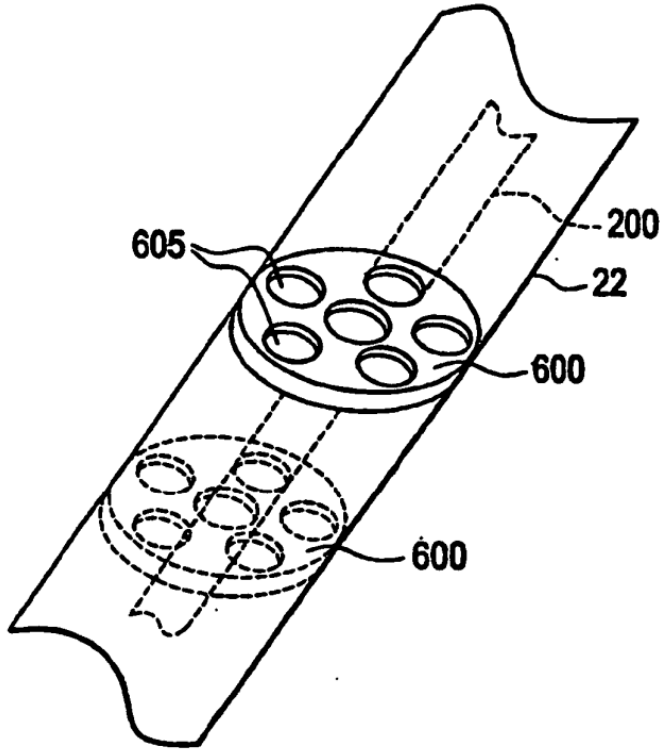


FIG. 6B

