

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 840**

51 Int. Cl.:

**G21G 1/02** (2006.01)

**G21C 23/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2016** **E 16168194 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018** **EP 3091539**

54 Título: **Sistemas y procedimientos para generar isótopos en soportes de arranque de reactores nucleares**

30 Prioridad:

**06.05.2015 US 201514705190**

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

**17.09.2018**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CAINE, THOMAS A.;  
STACHOWSKI, RUSSELL E. y  
MIRANDA, DANA C.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 681 840 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

Sistemas y procedimientos para generar isótopos en soportes de fuentes de arranque de reactores nucleares

**Antecedentes**

5 Como se muestra en la figura 1, una estación de energía nuclear incluye convencionalmente un recipiente 10 a presión de reactor con diversas configuraciones de combustible y componentes internos del reactor para producir energía nuclear. Por ejemplo, la vasija 10 puede incluir una envoltura 30 de núcleo que rodea un núcleo 35 de combustible nuclear que aloja estructuras de combustible, tales como unos conjuntos 40 de combustible. El núcleo 35 puede estar delimitado verticalmente por la guía 45 superior y la placa 70 de núcleo. Los conjuntos 40 de combustible pueden extenderse entre y asentarse en la placa 70 de núcleo y la guía 45 superior, que pueden incluir varias aberturas conformadas para recibir los extremos de los conjuntos 40. Otras estructuras de núcleo, tales como elementos de control y tubos de instrumentación, pueden extenderse del mismo modo a través y/o entre la placa 70 de núcleo y/o la guía 45 superior. Uno o más accionamientos 1 de varillas de control pueden colocarse debajo de la vasija 10 y conectarse a las paletas de varilla de control o a otros elementos de control que se extienden entre los conjuntos 40 de combustible dentro del núcleo 35.

15 Una región 25 de bajante anular puede conformarse entre la envoltura 30 de núcleo y la vasija 10, a través de la que fluye el fluido refrigerante y el moderador en el plenum 55 inferior de núcleo. Por ejemplo, en los tipos de reactores de agua ligera de Estados Unidos, el fluido puede ser agua purificada, mientras que en los reactores de tipo uranio natural, el fluido puede ser agua pesada purificada. En los reactores refrigerados por gas, el fluido refrigerante puede ser un gas, tal como helio, con la moderación proporcionada por otras estructuras. El fluido puede fluir hacia arriba desde el plenum 55 inferior de núcleo a través del núcleo 35. En un reactor a base de agua en ebullición, una mezcla de agua y vapor sale del núcleo 35 de combustible nuclear y entra en el plenum 60 superior de núcleo bajo el cabezal 65 de envoltura.

25 Los reactores nucleares se reabastecen de combustible periódicamente con un nuevo combustible para soportar las operaciones de energía a lo largo de un ciclo de operación. Durante el apagado para el reabastecimiento de combustible, la vasija 10 se enfría, se despresuriza y se abre retirando el cabezal 95 superior en la brida 90. Con acceso a los componentes internos del reactor, el equipo puede cambiarse o retirarse y algunos o todos los conjuntos 40 de haces de varillas de combustible pueden reemplazarse y/o moverse dentro del núcleo 35. El mantenimiento en otras estructuras internas y externas puede realizarse durante tal interrupción.

30 Como se muestra en las figuras 2A y 2B, uno o más moldes 48 de soporte de combustible pueden asentarse y/o extenderse a través de la placa 70 de núcleo. El molde 48 puede incluir varios orificios 49 para recibir conjuntos de combustible y/o elementos de control, alineándolos entre sí y con la placa 70 de núcleo y dirigiendo el refrigerante hacia arriba a través de tales componentes. El molde 48 puede alojar varios conjuntos de combustible en diversos orificios 49 mientras mantiene otro espacio en la placa 70 de núcleo. Por ejemplo, un tubo 50 de instrumentación puede penetrar la placa 70 de núcleo y colocarse próximo al molde 48, permitiendo que el tubo 50 se extienda verticalmente adyacente a varios conjuntos de combustible colocados en el molde 48. De manera similar, una o más penetraciones 75 de soporte de fuentes pueden extenderse en la placa 70 de núcleo adyacentes al molde 48. La penetración 75 de soporte de fuentes puede contener una fuente de arranque, tal como un isótopo sellado de Californio o Plutonio-Berilio que emite espectros de neutrones sustanciales y detectables, que de manera confiable comienza la reacción en cadena nuclear en un nuevo núcleo con combustible completamente nuevo, o después de períodos de parada excesivamente largos cuando la fisión espontánea no es confiable en el combustible quemado. Del mismo propietario que la presente "General Electric Systems Technology Manual", 14 de diciembre de 2014, Capítulo 5.1, describe un contexto tecnológico útil. Como se ve en la vista de arriba hacia abajo de la figura 2B, la penetración 75 de soporte de fuentes puede colocar la fuente en una relación estática deseada con el tubo 50 de instrumentación, permitiendo la detección de neutrones de una fuente en la penetración 75 para compararlos con los neutrones generados por fisión durante el arranque y los conjuntos de combustible en el molde 48. De esta manera, la placa 70 de núcleo y el molde 48 pueden alinear radialmente/horizontalmente varios componentes de núcleo diferentes en una base de un núcleo y garantizar que mantengan la colocación deseada a lo largo de una extensión axial/vertical del núcleo.

50 El documento US 2011/0051874 A1 se refiere a unos conjuntos de retención de blancos de irradiación para sistemas de suministro de isótopos.

**Sumario**

Se proporciona un procedimiento y un soporte de blancos de irradiación como se define en las reivindicaciones adjuntas.

55 Las realizaciones de ejemplo incluyen soportes para los materiales que van a ser objeto de la irradiación en las posiciones de núcleo libres mientras se sellan en un núcleo de reactor nuclear. Las realizaciones de ejemplo pueden incluir extremos inferiores y/o superiores que se acoplan o se unen de otro modo a los componentes del reactor para colocar los soportes dentro del núcleo, muy cerca del combustible generador de neutrones y del moderador. Los soportes pueden sellarse de manera robusta en blancos de irradiación y descendientes radiactivos producidos a

través de la irradiación con un flujo de neutrones, tales como en las cavidades internas de cualquier forma o tamaño que alojen los blancos deseados. Como un ejemplo, un soporte puede estar conformado para unirse mínimamente con una placa de núcleo existente y/o moldes de combustible en una parte inferior del núcleo y extenderse hasta una abertura de guía superior en la parte superior del núcleo, dando como resultado un soporte de ejemplo fijado, pero fácilmente extraíble, en el núcleo en cada extremo, al mismo tiempo que coloca de otro modo el soporte en un espacio abierto desocupado por un soporte de fuentes de arranque no usado. Los blancos de irradiación pueden absorber el flujo de neutrones encontrado en una posición dentro del soporte.

Los procedimientos de ejemplo incluyen la instalación y la irradiación de los soportes de destino en la operación de reactores nucleares. Los soportes pueden colocarse directamente dentro de un núcleo de combustible en los procedimientos de ejemplo, sin ninguna estructura entre los soportes y el combustible y/o el moderador, para una mayor irradiación por radiación encontrada en el núcleo durante la operación. Durante la operación, el soporte instalado puede permanecer estacionario dentro del núcleo y generar mayores cantidades de descendientes radiactivos deseados a través de la absorción y un deterioro potencialmente radioactivos sin contribuir significativamente a la reactividad cuando esté instalado. Después de un ciclo operacional de varios meses u otro período de operación, los soportes pueden extraerse del núcleo nuclear sin involucrarse con combustible u otras estructuras de núcleo, sin embargo, los soportes pueden permanecer protegidos en un moderador durante tales operaciones, permitiendo una manipulación y recolección más segura y fácil.

### **Breves descripciones de los dibujos**

Las realizaciones de ejemplo se harán más evidentes describiendo en detalle los dibujos adjuntos, en los que elementos similares están representados por números de referencia similares, que se dan a modo de ilustración solamente y por lo tanto no limitan los términos que los mismos representan.

La figura 1 es una ilustración de un recipiente de energía nuclear de la técnica relacionada y sus componentes internos.

Las figuras 2A y 2B son ilustraciones de una placa de núcleo de la técnica relacionada y un molde de soporte de combustible.

La figura 3 es una ilustración de una realización de ejemplo del soporte de blancos de irradiación intranuclear instalado en un núcleo del reactor nuclear.

La figura 4 es una ilustración detallada de una realización de ejemplo del soporte de blancos de irradiación nuclear instalado entre los moldes de combustible.

Las figuras 5A y 5B son ilustraciones de las secciones transversales de una realización de ejemplo de los soportes de blancos de irradiación intranuclear.

La figura 6 es una gráfica que demuestra una mayor activación en la realización de ejemplo de soportes de blancos de irradiación intranuclear.

### **Descripción detallada**

Debido a que el presente documento es un documento de patente, deberían aplicarse amplias reglas generales de construcción en cuando a la lectura y la comprensión del mismo. Todo lo descrito y mostrado en el presente documento es un ejemplo de un objeto que cae dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Cualquier detalle estructural y funcional específico desvelado en el presente documento es simplemente con fines de describir cómo realizar y usar las realizaciones o procedimientos de ejemplo. Varias realizaciones diferentes no descritas específicamente en el presente documento pueden caer dentro del ámbito de reivindicación; como tales, las reivindicaciones pueden incorporarse de muchas formas alternativas y no deberían interpretarse como limitadas solo a las realizaciones de ejemplo establecidas en el presente documento.

Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. pueden usarse en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento podría denominarse un primer elemento, sin alejarse del ámbito de las realizaciones de ejemplo. Como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los artículos enumerados asociados.

Se entenderá que cuando se hace referencia a que un elemento se "conecta", "acopla", "empareja", "une" o "fija" a otro elemento, puede conectarse o acoplarse directamente al otro elemento o unos elementos intermedios pueden estar presentes. Por el contrario, cuando se hace referencia a un elemento como que está "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre elementos deberían interpretarse de manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" y "directamente adyacente", etc.). De manera similar, una expresión tal como "conectado comunicativamente" incluye todas las variaciones de rutas de intercambio de información entre dos

dispositivos, incluyendo dispositivos intermedios, redes, etc., conectados o no de manera inalámbrica.

Como se usa en el presente documento, las formas singulares “un”, “una”, “el” y “la” están destinadas a incluir tanto las formas singular como plural, a menos que el lenguaje indique explícitamente lo contrario con palabras como “solo”, “único”, y/o “uno”. Se entenderá además que los términos “comprende”, “que comprende”, “incluye” y/o “que incluye”, cuando se usan en el presente documento, especifican la presencia de características, etapas, operaciones, elementos, ideas y/o componentes indicados, pero los mismos no excluyen la presencia o adición de una o más características, etapas, operaciones, elementos, componentes, ideas y/o grupos de los mismos.

Debería observarse también que las estructuras y operaciones que se tratan a continuación pueden producirse fuera del orden descrito y/o observado en las figuras. Por ejemplo, dos operaciones y/o figuras mostradas en sucesión pueden de hecho ejecutarse concurrentemente o algunas veces pueden ejecutarse en el orden inverso, en función de la funcionalidad/acciones involucradas. De manera similar, las operaciones individuales dentro de los procedimientos de ejemplo descritos a continuación pueden ejecutarse repetitiva, individual o secuencialmente, con el fin de proporcionar bucles u otras series de operaciones además de las operaciones individuales descritas a continuación. Debería suponerse que cualquier realización que tenga características y funcionalidades descritas a continuación, en cualquier combinación viable, cae dentro del ámbito de las realizaciones de ejemplo.

Los solicitantes han reconocido que la mayoría de los procedimientos para generar materiales a través de la captura de neutrones en un reactor nuclear insertan unos blancos de irradiación en tubos de combustible o instrumentación, o forman blancos de irradiación como estructuras de núcleo existentes como hojas de control. Los solicitantes han reconocido que estos procedimientos tienden a vincular la generación con las operaciones del reactor, requiriendo que los blancos se muevan y se recolecten con el combustible, o requieran configuraciones complejas para interactuar con los tubos de instrumentación o las estructuras de núcleo existentes. Los solicitantes también han identificado recientemente que las posiciones del soporte de arranque en la mayoría de los reactores nucleares tienen una funcionalidad distinta que ya no se necesita después de la operación del reactor. Para superar estos problemas recientemente reconocidos, así como otros, los inventores han desarrollado unos procedimientos y unos sistemas que colocan independientemente los blancos de irradiación directamente en un núcleo de combustible nuclear sin impactar en el combustible u otras estructuras u operaciones del núcleo. Estos procedimientos y sistemas pueden proporcionar una nueva funcionalidad para las posiciones de soporte de arranque y otras localizaciones de núcleo disponibles durante la operación.

La presente invención se refiere a unos soportes de blancos de irradiación para su uso en un reactor nuclear y los procedimientos de uso de los mismos. Las realizaciones de ejemplo y los procedimientos de ejemplo tratados a continuación ilustran solo un subconjunto de la variedad de configuraciones diferentes que pueden usarse como y/o en conexión con la presente invención.

La figura 3 es una ilustración de una realización de ejemplo del soporte 100 de blancos de irradiación intranuclear. Como se muestra en la figura 3, el soporte 100 puede abarcar el núcleo 35 en una dimensión vertical o axial entre la placa 70 de núcleo y la guía 45 superior, independientemente de otros componentes internos del núcleo. Por ejemplo, el soporte 100 puede estar conformado y dimensionado para ajustarse entre varios conjuntos de combustible, tubos de instrumentación, elementos de control, etc., normalmente encontrados en un núcleo nuclear. Aunque el portador 100 de la realización de ejemplo se muestra abarcando toda una distancia vertical desde la placa 75 de núcleo hasta la guía 45 superior, se entiende que es posible una extensión parcial con las conexiones apropiadas.

Como se muestra en la figura 3, el soporte 100 de blancos de irradiación intranuclear de la realización de ejemplo está configurado para insertarse en, para parearse de manera segura con, una penetración 75 de soporte de fuentes en la placa 70 de núcleo. Por ejemplo, la penetración 75 de soporte de fuentes puede ser un agujero existente u otra abertura en la placa 70 de núcleo en la que un soporte de fuentes de arranque se coloca originalmente y a continuación se retira por el operador de la planta u otro administrador. La penetración 75 de soporte de fuentes puede tener una o más pulgadas de profundidad con un diámetro aproximado de una pulgada y puede extenderse total o parcialmente a través de la placa 70 de núcleo. La penetración 75 de soporte de fuentes puede colocarse en otras estructuras además de una placa 70 de núcleo; sin embargo, la colocación de la penetración 75 de soporte de fuentes proporciona una holgura vertical por encima de la penetración 75 que no está bloqueada por otros componentes internos del núcleo tales como los conjuntos de combustible, los moldes de combustible, la instrumentación, los dispositivos de flujo, etc. comunes a los núcleos nucleares.

El soporte 100 de la realización de ejemplo puede asentarse en la penetración 75 a través de la gravedad, la inserción del operador, y/o bajo la fuerza de un resorte u otro cierre o mecanismo de retención durante la instalación y la operación. Por ejemplo, el soporte 100 puede atornillarse en la penetración 75, bloquearse en la misma a través de una unión y acoplamiento, o simplemente asentarse a través de la gravedad en la penetración 75. Como tal, un extremo axialmente inferior del soporte 100 de la realización de ejemplo puede específicamente conformarse, dimensionarse, o configurarse de otro modo para que coincida con una penetración 75 deseada para su inserción.

Como se muestra en la figura 3, si el soporte 100 de la realización de ejemplo tiene una longitud vertical del núcleo 35, el soporte 100 puede asentarse en un orificio 145 superior en la guía 45 superior. Por ejemplo, en un reactor de agua en ebullición, el núcleo 35 puede tener aproximadamente 3,96 m (13 pies) o más, y el soporte 100 puede

extenderse toda o parte de esta distancia. El orificio 145 superior puede ser similar a la penetración 75 de soporte de fuentes en la que puede preexistir o formarse nuevamente. El orificio 145 superior está alineado y prepuesto para retener un soporte de fuentes de arranque junto con la penetración 75 en la placa 70 de núcleo. El soporte 100 de la realización de ejemplo puede asentarse en el orificio 145 superior a través de una inserción de operador. Como tal, un extremo axialmente más alto del soporte 100 de la realización de ejemplo puede estar específicamente conformado, dimensionado o configurado de otro modo para coincidir con un orificio 145 superior deseado para su inserción y retención.

El soporte 100 puede estar bajo la fuerza de un resorte o empuje u otro mecanismo de bloqueo proporcionado durante la instalación y/o la operación. Por ejemplo, el soporte 100 puede asentarse en el orificio 145 superior debido a un resorte en la penetración 75 que empuja el soporte 100 de la realización de ejemplo verticalmente hacia arriba en el orificio 145. Un resorte en el orificio 145 superior puede empujar de manera similar el soporte 100 de la realización de ejemplo axialmente hacia abajo en una penetración 75 opuesta, permitiendo un grado deseado de fijación axial.

El soporte 100 de blancos de irradiación intranuclear de la realización de ejemplo puede incluir además una o más aletas 110 de molde que se extienden radialmente, horizontalmente, o de otra manera con respecto al núcleo 35 para parearse con los moldes de combustible cercanas. Como se muestra en la figura 4, un detalle simplificado de una base del soporte 100 de la realización de ejemplo, las aletas 110 pueden capturarse por un lado del molde 48 de combustible. El molde 48 de combustible incluye una ranura configurada para recibir una parte de un soporte de fuentes de arranque u otro componente de núcleo, y la aleta 110 está conformada y dimensionada para fijarse dentro de tal ranura. El soporte 100 puede incluir, por ejemplo, cuatro aletas 110 perpendiculares que se insertan en hasta cuatro moldes 48 adyacentes. El soporte 100 de la realización de ejemplo puede, por lo tanto, asentarse entre y en varios moldes 48 adyacentes que anclan uno o más conjuntos 40 de combustible, de tal manera que el soporte 100 está colocado adyacente a los conjuntos 40 que se extienden hacia arriba en una dirección vertical o axial.

Mientras que la penetración 75 y el orificio 145 pueden proporcionar una fijación axial al soporte 100 conformado para asentarse en los mismos, las aletas 110 conformadas para asentarse en un molde 45 adyacente pueden proporcionar una fijación rotacional y/o evitar la traslación radial del soporte 100. Las aletas 110 pueden bloquearse o asentarse de manera extraíble en el/los molde(s) 48 en otros ángulos y posiciones con el fin de orientar el soporte 100 en otras posiciones y/o parearse con otras estructuras completamente para aprovecharse de otros espacios existentes y ajustar las penetraciones dentro de un núcleo nuclear. De manera similar, el soporte 100 de la realización de ejemplo puede incluir una o ninguna de las aletas 110 y un asiento final en la penetración 75 (figura 3) para lograr una colocación y un nivel de fijación deseados dentro de un núcleo nuclear.

A través de las características de ejemplo descritas anteriormente, un soporte 100 de la realización de ejemplo puede incluir cualquier número de características de retención que son muy similares a las estructuras existentes en los soportes de arranque que se parean con otras características de núcleo como una placa de núcleo y la guía superior, con el fin de reemplazar las mismas sin modificación y/o interrupción de las características de núcleo existentes. Un operador u otro administrador, puede instalar el soporte 100 de la realización de ejemplo durante una interrupción u otro período de acceso en combinación con tales características de núcleo existentes. Por ejemplo, un reactor puede operarse durante un período de meses o años para mantener una reacción en cadena nuclear que genera calor que a su vez se convierte en electricidad. El reactor puede apagarse a continuación terminando la reacción en cadena nuclear, y los operadores pueden acceder a los componentes internos del reactor para el mantenimiento y el reabastecimiento de combustible. Durante una interrupción de este tipo, los componentes internos del reactor, uno o más conjuntos 40 de combustible, y potencialmente cualquier fuente de arranque innecesaria puede retirarse y/o mezclarse dentro del núcleo, y puede agregarse combustible nuevo. En el mismo periodo de tiempo, el soporte 100 de la realización de ejemplo puede instalarse donde estaba la fuente de arranque o debería haber estado dentro del núcleo nuclear. A continuación, el reactor se puede volver a poner en operación para mantener la reacción en cadena nuclear y la irradiación inherentes al mismo, y el soporte 100 de la realización de ejemplo puede permanecer en la posición instalada durante dicha operación e irradiación y recuperarse más tarde, durante una interrupción posterior.

Como se muestra en la figura 3, el soporte 100 de la realización de ejemplo incluye una cavidad 150 interna que aloja uno o más blancos 151 de irradiación que se convierten en un descendiente radiactivo deseado cuando se exponen a la radiación en un reactor nuclear en operación. Por ejemplo, la cavidad 150 interna puede ser una carcasa formada integralmente dentro del soporte 100 en la que puede insertarse un blanco 151 de irradiación en la fabricación y retirarse a través de la destrucción del soporte 100. De manera similar, la cavidad 150 interna puede abrirse y/o segmentarse selectivamente para permitir la segregación de múltiples blancos deseados en diferentes posiciones y su retirada no destructiva. Los diseños compatibles de los cuerpos de varillas de combustible y de los soportes de blancos de irradiación se muestran en las publicaciones de patentes del mismo propietario que la presente US2009/0122946 publicada el 14 de mayo de 2009 de Fawcett y col.; US2009/0135983 publicada el 28 de mayo de 2009 de Russell, II y col.; y US2009/0274260 publicada el 5 de noviembre de 2009 de Russell, II y col., que pueden usarse como partes centrales del soporte de la realización de ejemplo.

El soporte 100 de blancos de irradiación intranuclear de la realización de ejemplo puede fabricarse de otra manera a partir de materiales que mantienen sustancialmente sus propiedades físicas en un entorno de reactor nuclear en operación con el fin de evitar la colocación y la contención de los blancos 151 de irradiación retenidos en la cavidad 150 interna. Por ejemplo, el soporte 100 puede fabricarse de acero inoxidable, una aleación de zirconio y una aleación

de aluminio, etc. Si el molde 48 de combustible, la placa 70 de núcleo y/o la guía 45 superior están fabricadas de un material, tal como acero inoxidable, el soporte de la realización de ejemplo, al menos en las estructuras que entran en contacto directamente con estas estructuras de núcleo, puede ser de otro material, tal como aleaciones de zirconio, con el fin de mejorar la compatibilidad del material y eliminar el potencial voltaico y el ensuciamiento. Tales materiales pueden tener además un impacto mínimo sobre la radiación, teniendo unas secciones transversales de mínima dispersión y absorción para el flujo de neutrones encontrado en un reactor.

El soporte 100 de la realización de ejemplo coincide con las geometrías de los soportes de fuentes de arranque en los extremos verticales, con el fin de parearse con las estructuras de núcleo existentes que retienen dichos soportes de arranque; sin embargo, el resto del soporte 100 puede tener cualquier forma que maximice la producción del material descendiente radiactivo deseado en el núcleo 35. Por ejemplo, como se muestra en la sección transversal de la figura 5A, la cavidad 150 interna puede ser redonda, o como se muestra en la figura 5B, cruciforme. La cavidad 150 interna puede ser de manera similarmente helicoidal, cuadrada, plana, etc. y extenderse en cualquier grado en una posición horizontal con el fin de alojar los blancos 151 de irradiación de una forma coincidente y/o maximizar la exposición a la radiación en las posiciones deseadas dentro de un núcleo de combustible nuclear. La cavidad 150 interna puede incluir además un moderador y/o refrigerante tal como un depósito de agua líquida 152 mostrado en la figura 5A u otra estructura que mejore la geometría, la irradiación y/o la refrigeración de cualquier blanco 151 de irradiación contenido en el soporte 100 de la realización de ejemplo.

El soporte 100 de la realización de ejemplo puede ser relativamente pequeño, tal como cilíndrico como se muestra en la sección transversal radial en la figura 5A y aproximadamente de 1,27 a 2,54 cm (de media a una pulgada completa) de diámetro. Si el soporte 100 tiene una longitud axial de hasta 4 metros (13 pies) y abarca una longitud vertical completa del núcleo 35, la cavidad 150 interna puede tener aproximadamente 2,4 metros (8 pies) de longitud axial para coincidir con las longitudes de las secciones de combustible del núcleo. Incluso este tamaño de ejemplo más pequeño puede alojar, por ejemplo, 250 centímetros cúbicos de blancos de irradiación. O, por ejemplo, como se muestra en la sección transversal radial en la figura 5B, con una cavidad 150 cruciforme más grande, 2,54 - 3,08 cm (1 - 2 pulgadas) en la longitud total del brazo, pueden alojarse 570 centímetros cúbicos de blancos de irradiación. En función del blanco de irradiación padre, estos tamaños pueden permitir varios miles de curies de actividad para un radioisótopo producido o varios moles de átomos de un isótopo producido a partir de un material padre y una irradiación suficiente.

Como se muestra en la figura 3, la penetración 75 de soporte de fuentes y/o el orificio 145 superior se colocan intencionalmente dentro del núcleo 35 para recibir un soporte de fuentes de arranque, y por lo tanto cualquiera o ambas de entre la penetración 75 y el agujero 145 superior pueden estar libres después de la puesta en marcha o en el caso de que tales fuentes de arranque no se usen en el arranque. La penetración 75 y el orificio 145 superior pueden proporcionar además un paso abierto entre los dos para alojar un soporte de fuentes de arranque, que proporciona proximidad cercana a los elementos de combustible o a los conjuntos 40 de combustible (figura 4) que generan grandes cantidades de flujo de neutrones durante la operación. Este paso abierto normalmente puede accederse fácilmente con el combustible apagado durante las paradas de repostaje cada 2-3 años, y este paso puede estar normalmente bajo el agua o protegido de otra manera con combustible.

Basándose en las características anteriores de las penetraciones 75 de soporte de fuentes existentes y/o en los orificios 145 superiores, el soporte 100 de blancos de irradiación intranuclear de la realización de ejemplo puede tomar ventaja de los pasos desocupados entre la penetración 75 de soporte y el orificio 145 superior siguientes al arranque para generar descendientes radiactivos deseados a partir de blancos de irradiación, incluidos los elementos de valor industrial y los radioisótopos. Específicamente, en el caso de material padre Cobalto-59, una irradiación significativa con neutrones térmicos para un ciclo de operación en el soporte 100 colocado entre haces en una posición de soporte de arranque típica dentro de un núcleo nuclear generará grandes cantidades de Cobalto-60, que es médicamente útil por sus rayos gamma de alta energía. Por supuesto, otros blancos de irradiación, como el iridio-193 o cualquier otro isótopo no fisionable con un número atómico por debajo de 90 y una sección transversal de absorción de neutrones apreciable, tal como una sección transversal que exceda un barnio, pueden usarse como blancos de irradiación en las realizaciones de ejemplo.

El acceso a un soporte 100 de este tipo puede ser relativamente sencillo durante los movimientos de combustible en una interrupción operacional, cuando las localizaciones de soporte de fuentes pueden exponerse fácilmente a través del combustible que se mueve. Ventajosamente, el soporte 100 puede estar completamente separado de cualquier combustible en el núcleo y protegido de los operadores durante dicho acceso por un moderador tal como agua ligera refrigerante u otra protección. Esto permite un manejo fácil y seguro del soporte 100 de la realización de ejemplo en un núcleo de combustible sin implicación con el combustible nuclear.

La figura 6 es una gráfica que muestra unos rendimientos mejorados del uso del portador 100 de la realización de ejemplo en las penetraciones 75 de soporte de fuentes existentes y/o en los orificios 145 superiores entre los conjuntos de combustible en comparación con un mejor rendimiento esperado en una varilla de combustible de esquina en un conjunto de combustible. La figura 6 informa de niveles de activación en curies por gramo de blancos de irradiación frente a un nivel axial para dos posiciones diferentes dentro de un mismo núcleo simulado con todas las demás variables constantes. Como se muestra en la figura 6, durante la misma cantidad de tiempo en el mismo núcleo, el soporte de la realización de ejemplo que contiene una misma masa de blancos de irradiación de Cobalto-59

5 logrará una mayor activación, un mayor porcentaje de nucleídos convertidos a Cobalto-60, cuando se coloca entre los conjuntos de combustible en una localización de soporte de fuentes en comparación con la posición de una varilla de esquina en un haz de combustible nuevo. Esta mejora se observa en cada posición axial, debido al acceso mejorado del moderador y del flujo de neutrones en las posiciones de soporte de fuentes con las que son compatibles las realizaciones de ejemplo.

10 Por lo tanto, se han descrito las realizaciones y procedimientos de ejemplo, un experto en la materia apreciará que las realizaciones de ejemplo pueden variarse y sustituirse a través de la experimentación de rutina mientras que todavía caen dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, una variedad de diferentes localizaciones de soporte de fuentes disponibles, en varios tipos diferentes de diseños de reactor, son compatibles con las realizaciones y procedimientos de ejemplo simplemente a través del dimensionamiento apropiado de las realizaciones de ejemplo, y caen dentro del ámbito de las reivindicaciones. Tales variaciones no deben considerarse como una desviación del ámbito de estas reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de creación de isótopos deseados en un reactor (10) nuclear comercial que genera calor para su uso en la producción de energía, comprendiendo el procedimiento:

5 operar el reactor (10) nuclear para generar calor para su uso en la producción de energía, en el que el reactor (10) incluye un soporte (100) de blancos de irradiación en un núcleo (35) del reactor (100) nuclear en una posición (75) directamente expuesta al combustible (40) y al moderador desde todos los lados en el núcleo e inaccesible desde el exterior del reactor (10) durante la operación, en el que,

10 el soporte (100) de blancos de irradiación puede moverse independientemente del combustible (40) y contiene de manera impermeable un blanco (151) de irradiación que tiene una sección transversal de absorción de neutrones térmicos superior a 1 barnio y un número atómico inferior a 90, y la operación irradia el soporte (100) de blancos de irradiación con un flujo de neutrones para producir un descendiente radiactivo deseado a partir del blanco (151) de irradiación; estando el procedimiento **caracterizado por**:

15 retirar un soporte de fuentes de arranque de la posición (75); e instalar el soporte (100) de blancos de irradiación en la posición (75), en el que la retirada y la instalación se realizan durante un período no operativo.

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

recuperar el soporte (100) de blancos de irradiación de la posición (75), en el que la recuperación se realiza durante un período no operativo.

20 3. Procedimiento de la reivindicación 2, en el que la recuperación incluye mover al menos un conjunto (40) de combustible directamente adyacente al soporte (100) de blancos de irradiación con el fin de exponer y acceder al soporte (100) de blancos de irradiación.

25 4. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que la posición (75) está en contacto directo con el moderador de tal manera que el soporte (100) de blancos de irradiación hace contacto directamente con el moderador, y en el que el soporte (100) de blancos de irradiación puede moverse dentro del moderador.

5. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que la operación se realiza durante una pluralidad de meses, y en el que el soporte (100) de blancos de irradiación se sella en el interior del reactor (10) durante la operación, y en el que el blanco (151) de irradiación no produce neutrones durante la operación.

30 6. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que instalar el soporte (100) de blancos de irradiación en la posición (75) comprende insertar el soporte (100) de blancos de irradiación en una penetración en una placa (70) del núcleo en una parte inferior del núcleo anteriormente ocupada por el soporte de fuentes de arranque y que asienta una aleta (110) del soporte (100) de blancos de irradiación en un molde (48) de combustible adyacente en la placa de núcleo.

35 7. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que el blanco de irradiación es al menos 0,1 kilogramos de cobalto-59.

8. Un soporte (100) de blancos de irradiación para la colocación libre en un núcleo (35) de reactor nuclear, comprendiendo el soporte:

40 un extremo inferior conformado para asentarse en una estructura (70) no combustible en un núcleo (35) de reactor nuclear; y

un blanco (151) de irradiación sellado impermeablemente dentro de una cavidad (150) interna, en el que el blanco (151) de irradiación es no fisionable y no es una fuente de neutrones;

en el que la estructura (70) no combustible es una placa (70) del núcleo en una parte inferior del núcleo, **caracterizado porque** el extremo inferior está conformado para asentarse en un orificio (75) para un soporte de fuentes de arranque en la placa (70) del núcleo

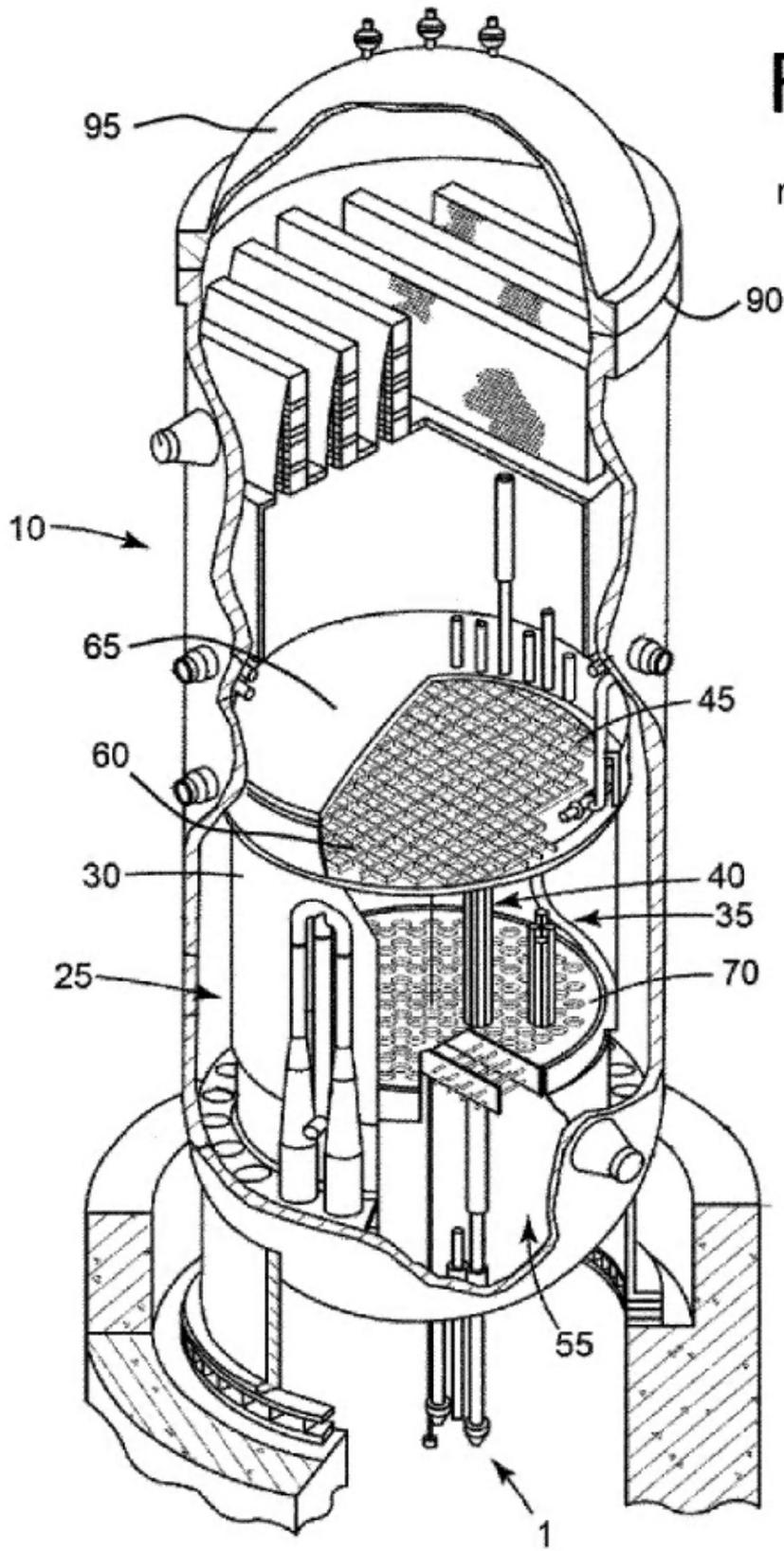
45 9. El soporte (100) de blancos de la reivindicación 8, en el que el soporte comprende además:

un extremo superior conformado para asentarse en una guía (45) superior en la parte superior del núcleo (35), y en el que la cavidad (150) interna está colocada entre el extremo superior y el extremo inferior.

10. El soporte (100) de blancos de la reivindicación 8, que comprende además:

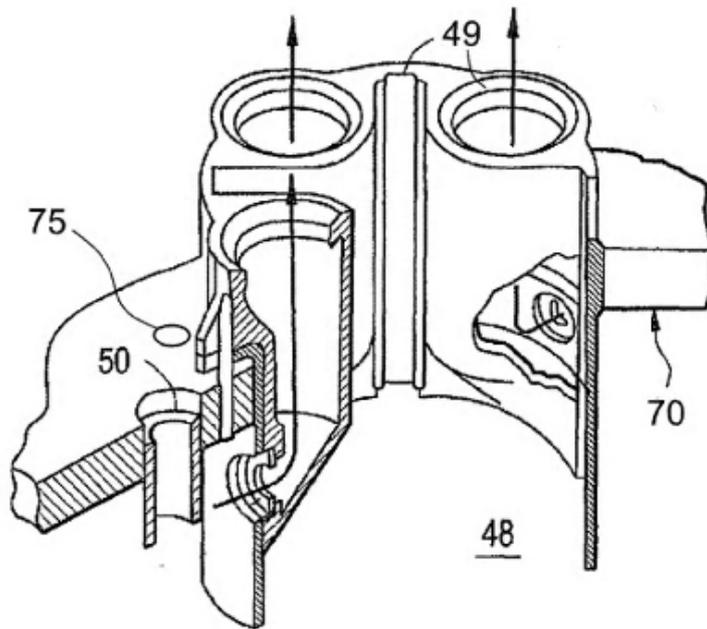
50 una pluralidad de aletas (110) que se extienden horizontalmente desde el extremo inferior, en el que cada una de las aletas (110) está conformada para fijarse en un molde (48) de combustible por encima de la placa (70) del núcleo; y

una cavidad (152) de moderador separada de la cavidad (150) interna y que contiene un moderador de neutrones, en el que la cavidad (150) interna y la cavidad (152) de moderador se extienden verticalmente al menos 2,44 m.

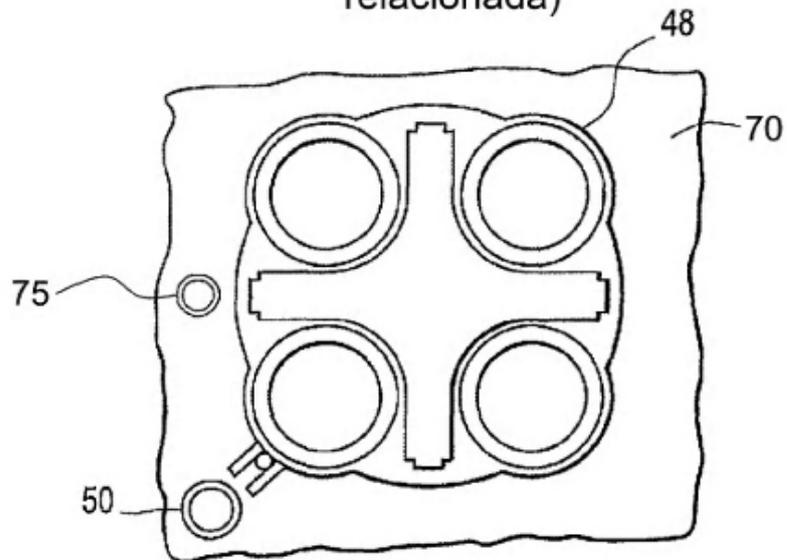


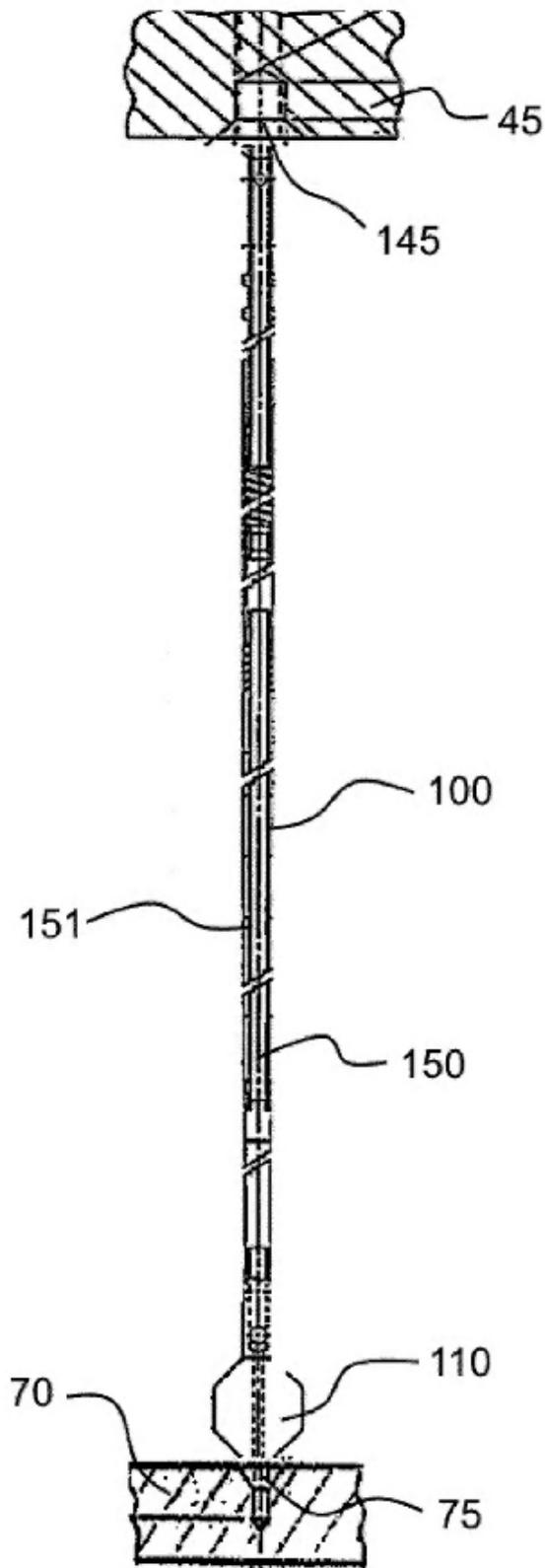
**FIG. 1**  
(Técnica relacionada)

**FIG. 2A**  
(Técnica relacionada)



**FIG. 2B**  
(Técnica relacionada)





35

FIG. 3

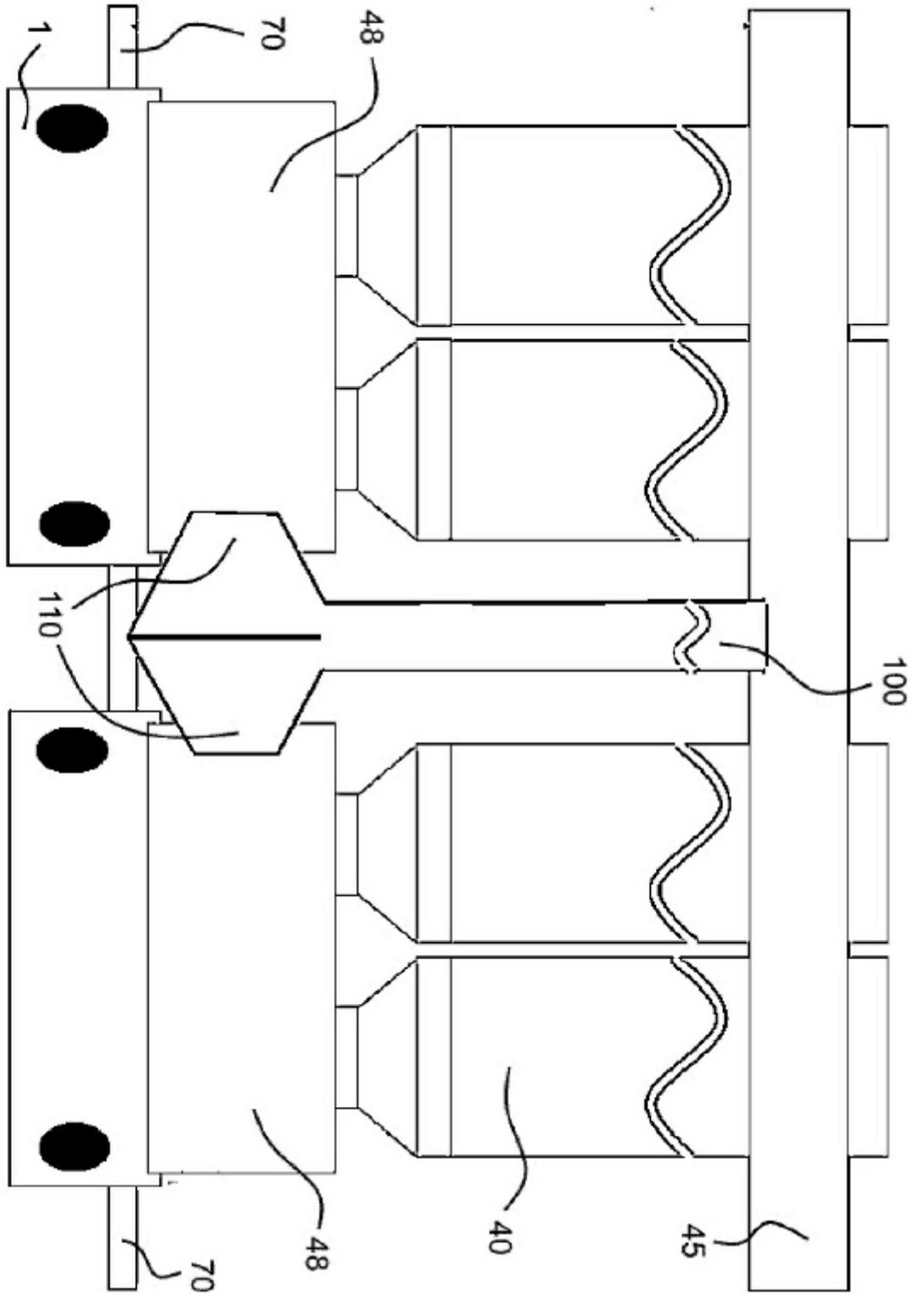
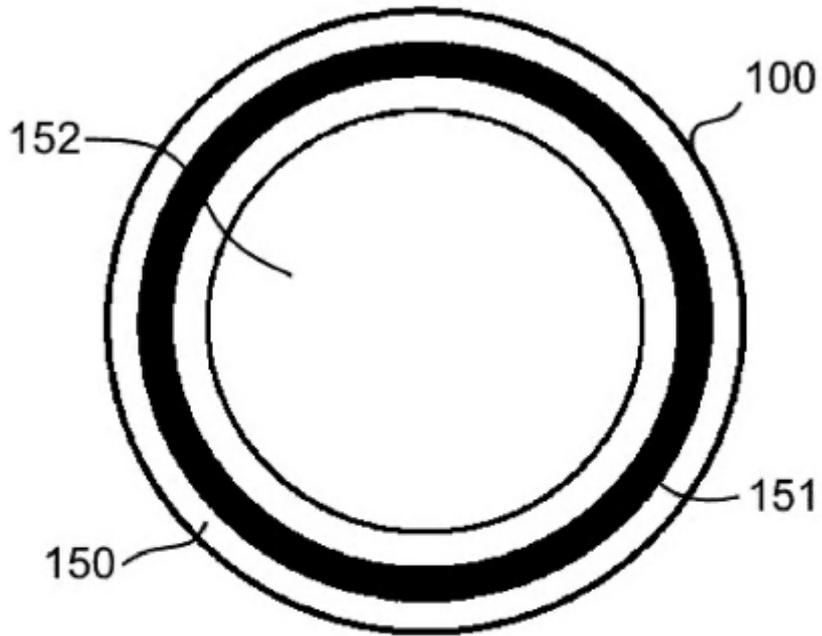
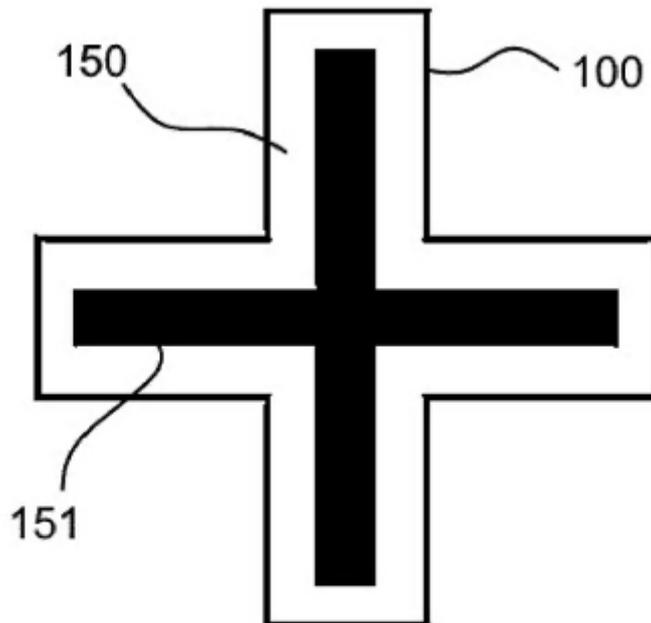


FIG. 4



**FIG. 5A**



**FIG. 5B**

# FIG. 6

