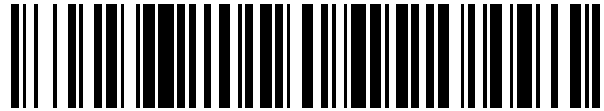


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 280**

51 Int. Cl.:

**G21G 1/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2009 E 09152602 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2015 EP 2093773**

54 Título: **Aparatos y procedimientos de producción de radioisótopos en tubos de instrumentación de reactor nuclear**

30 Prioridad:

**21.02.2008 US 71455**

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

**25.01.2016**

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.;  
SMITH, DAVID GREY y  
STACHOWSKI, RUSSELL EDWARD**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 557 280 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

Aparatos y procedimientos de producción de radioisótopos en tubos de instrumentación de reactor nuclear

### Antecedentes

#### Campo

- 5 Las realizaciones ejemplares se refieren generalmente a radioisótopos que tienen aplicaciones médicas y a aparatos y procedimientos para la producción de los mismos en reactores nucleares.

#### Descripción de la técnica relacionada

10 Los radioisótopos tienen una variedad de aplicaciones médicas derivadas de su capacidad para emitir cantidades discretas y tipos de radiación ionizante. Esta capacidad hace que los radioisótopos sean útiles en el tratamiento relacionado con el cáncer, imágenes médicas y tecnología de etiquetado, diagnóstico del cáncer y otra enfermedad, y la esterilización médica.

15 Los radioisótopos de corta duración, que tienen una vida media del orden de días o incluso horas, son de particular importancia en el cáncer y otro tratamiento médico por su capacidad para producir un perfil único de radiación y, sin embargo, descomponerse rápidamente en isótopos inocuos, estables excretados del cuerpo después de que la dosis de radiación se suministra en la aplicación específica. Sin embargo, las vidas medias cortas de estos radioisótopos de corta duración hacen también que su adquisición y manipulación sean difíciles. Los radioisótopos de corta duración se producen convencionalmente mediante el bombardeo de isótopos padres estables en los aceleradores o reactores de baja potencia con neutrones *in situ* en los centros médicos o en instalaciones de producción cercanas. Estos radioisótopos se transportan rápidamente debido al tiempo de descomposición relativamente rápido y las cantidades exactas de los radioisótopos necesarios en aplicaciones particulares. Además, la producción de radioisótopos médicos de corta duración requiere generalmente de equipos de irradiación y extracción engorrosos y costosos, que pueden ser prohibitivamente caros, espaciosos y/o prohibidos para la seguridad en los centros médicos.

25 Diversos radioisótopos de corta duración que tienen aplicaciones médicas se pueden generar a través de la fisión nuclear, y por lo tanto en grandes cantidades en antas de potencia nucleares. Por ejemplo, la fisión de Uranio-235 en el combustible nuclear puede producir grandes cantidades de Tecnecio-99, que es útil en múltiples aplicaciones de imagen y de diagnóstico de cáncer. Sin embargo, los radioisótopos de corta duración producidos en el combustible nuclear se pueden entremezclar con un amplio espectro de otros subproductos de fisión nuclear. La extracción de los radioisótopos útiles de corta duración puede tener riesgos de radiación y exposición química inaceptables y/o puede requerir una cantidad de tiempo en la que los radioisótopos de corta duración pueden descomponerse en cantidades no que se pueden utilizar.

30 Debido a las dificultades con la producción y la vida útil de los radioisótopos de corta duración, la demanda de estos radioisótopos pueden superar con creces la oferta, en particular para los radioisótopos que tienen aplicaciones médicas significativas en áreas de enfermedades persistentes como el cáncer. El coste de los radioisótopos de corta duración eficaces puede llegar a ser prohibitivamente alto en comparación con los costes de salud típicos para enfermedades tales como el cáncer.

#### Sumario

40 Las realizaciones ejemplares se refieren a procedimientos de producción de radioisótopos, que se pueden utilizar en aplicaciones médicas, en reactores nucleares comerciales y aparatos asociados. Los procedimientos ejemplares pueden utilizar tubos de instrumentación convencionalmente encontrados en recipientes de reactores nucleares para exponer las dianas de irradiación al flujo de neutrones que se encuentra en el reactor nuclear operativo. Los radioisótopos de corta duración se pueden producir en las dianas de irradiación debido al flujo. Estos radioisótopos de corta duración se pueden recoger después de forma relativamente rápida y sencilla mediante la extracción de las dianas de irradiación del tubo de instrumentación y de la contención del reactor, sin apagar el reactor ni requiriendo procedimientos de extracción químicos. Los radioisótopos de corta duración se pueden transportar después inmediatamente a centros médicos para su uso en, por ejemplo, el tratamiento de cáncer.

50 Las realizaciones ejemplares pueden incluir aparatos para la producción de radioisótopos en reactores nucleares y tubos de instrumentación de los mismos. Las realizaciones ejemplares pueden incluir uno o más subsistemas configurados para insertar y extraer las dianas de irradiación de un tubo de instrumentación de un reactor nuclear comercial operativo. Las realizaciones ejemplares pueden incluir un subsistema de tubo, un subsistema de accionamiento de dianas de irradiación, y/o un almacenamiento de la diana de irradiación y el subsistema de extracción para insertar y extraer las dianas de irradiación de un tubo de instrumentación. Las realizaciones ejemplares pueden conservar un orden lineal de las dianas de irradiación utilizadas en las mismas para permitir el seguimiento y la medición de los radioisótopos producidos en las dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares.

**Breve descripción de los dibujos**

Las realizaciones ejemplares se harán más evidentes mediante la descripción, en detalle, de los dibujos adjuntos, en los que los elementos similares se representan con números de referencia similares, que se proporcionan a modo de ilustración solamente y que, por tanto, no limitan las realizaciones ejemplares en la presente memoria.

5 La Figura 1 es una ilustración de un reactor nuclear convencional que tiene un tubo de instrumentación;

La Figura 2 es una ilustración de un sistema de las realizaciones ejemplares para la producción de radioisótopos de corta duración en un reactor nuclear;

La Figura 3 es una ilustración de un subsistema de tubos de las realizaciones ejemplares de los sistemas de las realizaciones ejemplares;

10 Las Figuras 4A y 4B son ilustraciones de manguitos de las realizaciones ejemplares que pueden utilizarse con los sistemas de las realizaciones ejemplares;

La Figura 5 es una ilustración de un subsistema de accionamiento de dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares que se puede utilizar con sistemas de realización ejemplar;

15 La Figura 6 es una ilustración de un subsistema de almacenamiento de dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares que se puede utilizar con el sistema de las realizaciones ejemplares;

La Figura 7 es una ilustración de un mecanismo de extracción de las realizaciones ejemplares que se puede utilizar con los sistemas de las realizaciones ejemplares; y

Las Figuras 8A y 8B son ilustraciones de las dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares.

**Descripción detallada**

20 Las realizaciones ilustrativas detalladas de las realizaciones ejemplares se divulgan en la presente memoria. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en la presente memoria son meramente representativos con la finalidad de describir las realizaciones ejemplares. Las realizaciones ejemplares se pueden, sin embargo, realizar de muchas formas alternativas y no deben interpretarse como limitadas solo a las realizaciones ejemplares establecidas en la presente memoria.

25 Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc., se pueden utilizar en la presente memoria para describir diversos elementos, estos elementos no deben estar limitados por estos términos. Estos términos solo se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por lo tanto, un primer elemento, podría denominarse un segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento podría denominarse un primer elemento, sin apartarse del alcance de las realizaciones ejemplares. Tal como se utiliza aquí, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

30 Se entenderá que cuando un elemento se conoce como estando "conectado", "acoplado", "unido", "adjunto" o "fijo" a otro elemento, puede estar directamente conectado o acoplado a otro elemento o que elementos intermedios pueden estar presentes. En contraste, cuando un elemento se conoce como estando "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras utilizadas para describir la relación entre los elementos se deberían interpretar de manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

35 La terminología utilizada en la presente memoria tiene la finalidad de describir diversas realizaciones únicamente y no pretende limitar las realizaciones ejemplares. En la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el/la" pretenden incluir las formas plurales también, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye" y/o "incluyendo", cuando se utilizan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes, pero no excluyen la presencia o adición de uno o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

40 También se debe señalar que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos señalados pueden ocurrir fuera del orden observado en las Figuras. Por ejemplo, dos figuras que se muestran en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse en paralelo y al mismo tiempo o en ocasiones se pueden ejecutar en orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos involucrados.

45 La Figura 1 es una ilustración de un recipiente 10 de presión del reactor convencional que se puede utilizar con las realizaciones ejemplares y los procedimientos ejemplares. El recipiente 10 de presión del reactor se puede utilizar en al menos un reactor 100 nuclear de agua ligera comercial MWe convencionalmente utilizado para la generación de electricidad en todo el mundo. El recipiente 10 de presión del reactor se puede situar dentro de una estructura 411 de contención que sirve para contener la radiactividad en el caso de un accidente y evitar el acceso al reactor 10 durante la operación del reactor. Una cavidad por debajo de la recipiente 10 del reactor, conocida como cámara 20

seca, sirve para alojar el equipo de servicio del recipiente, tales como bombas, desagües, tubos de instrumentación, y/o unidades de barras de control. Como se muestra en la Figura 1, al menos un tubo 50 de instrumentación se extiende verticalmente en el recipiente 10 y bien dentro o a través del núcleo 15 que contiene combustible nuclear y cantidades relativamente altas de flujo de neutrones durante la operación de los del núcleo 15. Los tubos 50 de instrumentación pueden ser generalmente cilíndricos y enanchados con la altura del recipiente 10; sin embargo, otras geometrías de los tubos de instrumentación se encuentran comúnmente en la industria. Un tubo 50 de instrumentación puede tener un diámetro interno y/o holgura de aproximadamente 25,4 mm (1 pulgada), por ejemplo.

Los tubos 50 de instrumentación pueden terminar por debajo del recipiente 10 del reactor en la cámara 20 seca. Convencionalmente, tubos los 50 de instrumentación pueden permitir que detectores de neutrones, y otros tipos de detectores, se inserten en los mismos a través de una abertura en un extremo inferior en la cámara 20 seca. Estos detectores se pueden extender a través de los tubos 50 de instrumentación para monitorear las condiciones en el núcleo 15.

Los ejemplos de los tipos de monitores convencionales incluyen detectores de amplio rango (WRNM), monitores de rango fuente (SRM), monitores de rango intermedio (IRM), y/o Monitores de Rango de Potencia locales (LPRM). El acceso a los tubos 50 de instrumentación y a los dispositivos de monitoreo insertados en los mismos está convencionalmente restringido a los cortes operativos debido a los peligros de contención y de radiación.

Aunque el recipiente 10 se ilustra con los componentes que se encuentran comúnmente en un Reactor de Agua en Ebullición comercial, las realizaciones y procedimientos ejemplares se pueden utilizar con diversos tipos diferentes de reactores que tienen tubos 50 de instrumentación u otros tubos de acceso extendiéndose en el reactor. Por ejemplo, Reactores de agua presurizada, Reactores de Agua Pesada, Reactores Moderados por Grafito, etc. que tienen una potencia de menos de 100 megavatios eléctricos a varios gigavatios eléctricos y que tienen tubos de instrumentación en diversas posiciones diferentes a las mostradas en la Figura 1 se pueden utilizar con las realizaciones y procedimientos ejemplares. Como tal, los tubos de instrumentación que se pueden utilizar en los procedimientos ejemplares pueden tener cualquier característica protuberante en cualquier geometría alrededor del núcleo que permita el acceso cerrado al flujo del núcleo nuclear de diversos tipos de reactores.

Los solicitantes han reconocido que los tubos 50 de instrumentación se pueden utilizar para generar rápida y constantemente radioisótopos de corta duración en una base a gran escala sin la necesidad de separación química o isotópica y/o en espera de la parada del reactor de los reactores comerciales. Los procedimientos ejemplares pueden incluir la inserción de dianas de irradiación en los tubos 50 de instrumentación y la exposición de las dianas de irradiación al núcleo 15 mientras opera, exponiendo de este modo las dianas de irradiación al flujo de neutrones comúnmente encontrado en el núcleo 15 operativo. El flujo del núcleo puede convertir una porción sustancial de las dianas de irradiación en un radioisótopo útil, incluyendo radioisótopos de corta duración que se pueden utilizar en aplicaciones médicas. Las dianas de irradiación se pueden extraer después de los tubos 50 de instrumentación, incluso durante la operación continua del núcleo 15, y extraerse para su uso médico y/o industrial. Las realizaciones ejemplares que permiten procedimientos ejemplares se describen a continuación, incluyendo más detalles de los procedimientos ejemplares habilitados por las realizaciones ejemplares.

La Figura 2 es una ilustración de un sistema de las realizaciones ejemplares para la producción de radioisótopos en un reactor nuclear. El sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares se muestra en la Figura 2 situado por debajo de un tubo 50 de instrumentación en la cámara 20 seca, por debajo del recipiente 10 de presión del reactor. El sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares puede insertar y extraer las dianas 250 de irradiación en/del tubo 50 de instrumentación para su irradiación en el recipiente 10 operativo. El sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares puede incluir tres subsistemas diferentes, cada uno descrito a su vez a continuación - subsistema 200 de tubos de instrumentación; subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación; y/o subsistema 400 de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación. Las dianas 250 de irradiación su uso en las realizaciones y procedimientos ejemplares se describen, por último, a continuación.

#### Subsistema de tubos

La Figura 3 es una ilustración de un subsistema 200 de tubos de instrumentación de las realizaciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 3, el tubo 50 de instrumentación, como también se muestra en las Figuras 1-2, se extiende desde una posición inferior en la cámara 20 seca en el recipiente 10 del reactor y el núcleo 15 nuclear que contiene el combustible nuclear. Las dianas 250 de irradiación se pueden empujar linealmente y extraerse del tubo 50 de instrumentación a través de la abertura 51 del tubo de instrumentación mediante el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación (Figura 5).

El tubo 50 de instrumentación se puede extender hasta cerca de una parte 16 superior del núcleo 15. Por tanto, las dianas 250 de irradiación se pueden situar linealmente y mantenerse a través de la longitud vertical del núcleo 15 nuclear en el tubo 50 de instrumentación. El flujo de neutrones en el núcleo 15 puede ser conocido y puede ser lo suficientemente alto como para convertir una cantidad sustancial de las dianas 250 de irradiación en el tubo 50 en radioisótopos útiles de corta duración. Como se explicará a continuación con referencia a las Figuras 8A y 8B, el tipo

de diana 250y su posición vertical en el núcleo 15 nuclear pueden permitir el cálculo preciso del tiempo de exposición y de la tasa de generación de radioisótopos para maximizar la generación y la actividad de los radioisótopos.

5 Un manguito 260 se puede insertar en el tubo 50 de instrumentación para proporcionar más contención, blindaje, y geometría coincidente de las dianas 250 de irradiación. El manguito 260 puede ser generalmente rígido y fabricarse a partir de un material que mantiene sustancialmente sus características físicas cuando se expone a un núcleo 15 nuclear operativo. El manguito 260 se puede fabricar de, por ejemplo, acero inoxidable, aluminio, una aleación de circonio, Inconel, níquel, titanio, etc.

10 El manguito 260 se puede extender más allá de la abertura 51 del tubo 50 de instrumentación para proporcionar orientación y alineación más allá del tubo 50 de instrumentación. Por ejemplo, el manguito 260 se puede extender hacia abajo y terminar más cerca del subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación para orientar adecuadamente las dianas 250 de irradiación dentro y fuera de la subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación, que se puede situar más abajo que la abertura 51 del recipiente 10.

15 El manguito 260 puede proporcionar una superficie interior lisa, constante para facilitar la inserción y extracción de las dianas 250 de irradiación en/del tubo 50 de instrumentación. Como se ha descrito anteriormente, el tubo 50 de instrumentación puede tener una variedad de geometrías y/o cambiar la anchura con la distancia vertical del recipiente 10. El manguito 260 puede tener un diámetro exterior variable para tener en cuenta la geometría del tubo 50 de instrumentación, pero puede tener un diámetro interior uniforme asociado con el tamaño de las dianas 250 de irradiación. Por ejemplo, el manguito 260 puede tener un diámetro interior lo suficiente estrecho como para evitar que las dianas 250 de irradiación se muevan o cambien de posición en línea a través del tubo 50 de instrumentación, para permitir la conservación del orden de las dianas de irradiación, para permitir su identificación en base al orden, etc.

25 En una realización ejemplar, el manguito 260 puede ser modular y consistir de diversas piezas que permiten su montaje e inserción en el tubo 50 de instrumentación. Como se muestra en las Figuras 4A y 4B, diversos componentes diferentes pueden formar un manguito 260 modular. En la Figura 4A, los segmentos 261 de un manguito 260 se muestran. Cada segmento 261 puede incluir un elemento 264 y/o 265 de acoplamiento que puede unir cada segmento 261 a otro segmento 261 y permitir que las dianas 250 de irradiación pasen a través de los segmentos 261 al ser huecos. Los elementos 264 y 265 de acoplamiento pueden incluir, por ejemplo, un extremo u orificio roscado hueco o una espiga hueca y receptor. Los segmentos 261 pueden presentar diversos diámetros 262 exteriores para igualar o reflejar la geometría del tubo 50 de instrumentación pero lo suficientemente pequeños para pasar a través de la abertura 51. Los segmentos 261 pueden incluir diámetros 263 interiores que son relativamente constantes y de anchura compatible con las dianas 250 de irradiación de recepción. Por lo tanto, si los segmentos 261 se insertan en tubo 50 de instrumentación de forma individual, los segmentos 261 se pueden montar en el interior del tubo 50 de instrumentación para proporcionar un diámetro interior continuo, lineal para las dianas 250 de irradiación insertadas en el tubo 50 y el manguito 260.

40 Como se muestra en la Figura 4B, el manguito 260 tiene un diámetro interior y exterior sustancialmente constante, y una o más pinzas 266 modulares se acoplan al manguito 260 para proporcionar un ajuste entre el tubo 50 de instrumentación y el manguito 260/pinza 266. Por lo tanto, las pinzas 266 se insertan y se ensamblan alrededor del manguito 260 en el tubo 50 de instrumentación para proporcionar un diámetro interior continuo para las dianas 250 de irradiación insertadas en el tubo 50 y el manguito 260 rodeado por las pinzas 266 modulares.

#### Subsistema de accionamiento de dianas de irradiación

45 La Figura 5 es una ilustración de un subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 5, dos engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden recibir y/o transmitir las dianas 250 de irradiación desde/al manguito 260 o abertura 51 del tubo 50 de instrumentación. Los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden situar uno frente a otro. Los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden situar a continuación y en ambos lados del tubo 50 de instrumentación en la cámara 20 seca por debajo de recipiente 10. Mediante el dimensionamiento y situación de los engranajes 310a y 310b de accionamiento y el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación en base a la cantidad de espacio en la cámara 20 seca por debajo del recipiente 10, el sistema 100 de generación de radioisótopos puede encajar completamente dentro de cámara 20 seca de muchos reactores nucleares operativos actuales en todo el mundo.

55 Los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden tener superficies 311a y/o 311b circunferenciales o laterales especialmente conformadas que complementan la forma de las dianas 250 de irradiación para agarrar de forma segura y mantener o ajustarse a las dianas 250 de irradiación que entran entre engranajes 310a y 310b de accionamiento. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5, las superficies 311a y 311b pueden tener una forma ondulada para acoplarse con las dianas 250 de irradiación esféricas. Las ondas en las superficies 311a y 311b pueden tener radios sustancialmente similares a los de las dianas 250 de irradiación para sujetar y mover las dianas 250 de irradiación que entran entre los engranajes 310a y 310b de accionamiento, manteniendo el mismo orden lineal de las dianas 250 de irradiación dentro y fuera del tubo 50 de instrumentación. Como alternativa, las superficies 311a y 311 b pueden tener otras formas para coincidir y/o acoplarse con las dianas de irradiación como

alternativa conformadas como se puede sustituir por un experto en la materia.

Los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden girar en direcciones opuestas alrededor de ejes paralelos perpendiculares al tubo 50 de instrumentación, para elevar o descender las dianas 250 de irradiación que pasan entre los mismos. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5, si el engranaje 310a de accionamiento gira en sentido horario y el engranaje 310b de accionamiento en sentido antihorario, las dianas 250 de irradiación entre y debajo de los ejes de giro de los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden elevar desde el subsistema 400 de almacenamiento y extracción dentro del subsistema 200 de tubos. En contraposición, si los engranajes 310a y 310b de accionamiento se hacen girar en las direcciones inversas, de tal manera que el engranaje 310b de accionamiento se hace girar en el sentido antihorario y el engranaje 310a de accionamiento se hace girar en sentido horario, las dianas 250 de irradiación se pueden hacer descender desde el subsistema 200 de tubos en el subsistema 400 de extracción.

Los engranajes 310a y 310b de accionamiento y otros ejemplos de mecanismos accionamiento que se pueden utilizar en el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación pueden conservar el orden lineal de las dianas 250 de irradiación que pasan entre el subsistema 200 de tubos y el subsistema 300 de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación. De esta manera, se puede conservar el orden lineal general de las dianas 250 de irradiación en todo el sistema 100 de las realizaciones ejemplares, y cualquier monitoreo de las dianas de irradiación que depende del orden vertical de las dianas 250 irradiación 250 dentro del tubo 50 se puede realizar con éxito.

Como se muestra en la Figura 5, los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden accionar por un subsistema 390 de potencia de accionamiento que permite el movimiento sincrónico entre los engranajes 310a y 310b de accionamiento. La realización ejemplar mostrada en la Figura 5 muestra una pluralidad de engranajes individuales que transfieren movimiento desde un eje 325 de transmisión de potencia a los engranajes 310a y 310b de accionamiento. El eje 325 de transmisión de potencia se puede conectar engranajes 391a y 391b de transferencia inferiores dentados que se engranan con un área dentada de engranajes 392a y 392b de transferencia superiores, respectivamente, por lo que los engranajes 392a y 392b de transferencia superiores se pueden hacer girar mediante el giro del eje 325 de transmisión de potencia. Los engranajes 392a y 392b de transferencia superiores pueden incluir extremos 393a y 393b roscados o de enclavamiento, respectivamente, que se engranan con o de otra manera enclavan con los engranajes 310a y 310b de accionamiento, respectivamente. De esta manera, ambos engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden girar mediante el giro del eje 325 de transmisión de potencia.

Como se muestra en la Figura 5, los engranajes 391a y 391b de transferencia inferiores se pueden engranar con orientaciones opuestas a los engranajes 310b y 310a de accionamiento, respectivamente, para hacer girar los engranajes 310a y 310b de accionamiento en direcciones opuestas como se ha descrito anteriormente. Los engranajes 392a y 392b de transferencia superiores pueden tener radios similares y engranarse con los engranajes 310b y 310a de accionamiento en radios similares para impartir un movimiento simétrico angular (los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden tener movimientos angulares negativos entre sí) a los engranajes 310a y 310b de accionamiento. Por lo tanto, si los engranajes 310a y 310b de accionamiento poseen radios exteriores similares en las superficies 311a y 311b, las dianas 250 de irradiación pueden encajar en una posición circunferencial constante dentro de las superficies 311a y 311b para permitir la retención y ajuste de las dianas 250 de irradiación a través de los engranajes 310a y 310b de accionamiento descritos anteriormente.

Se entiende que cualquier procedimiento conocido de disposición de los engranajes y/o de suministro de potencia a los engranajes 310a y 310b de accionamiento se puede utilizar en las realizaciones ejemplares. Por ejemplo, aunque un sistema de engranaje de tornillo sinfín se muestra en los engranajes 392a y 392b de transferencia superiores para los engranajes 310a y 310b de accionamiento, otras interfaces, incluyendo una interfaz de engranaje dentado y/o placa de fricción convencional, se pueden utilizar. Como alternativa, por ejemplo, los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden alimentar directamente con motores eléctricos sin la necesidad de un subsistema 390 de potencia de accionamiento ni eje 325 de transmisión de potencia.

El eje 325 de transmisión de potencia se puede alimentar localmente por una variedad de medios que incluyen un motor 921, de engranajes fuera de las bombas de circulación principales, etc., o se puede alimentar de forma remota. Como se muestra en la Figura 5, el eje 325 de transmisión de potencia se puede conectar a un motor 921 capaz de hacer girar el eje 325 de transmisión de potencia. Un contador 911 digital se puede conectar además al eje 325 de transmisión de potencia para detectar una posición, el número de giros, y/o velocidad angular del eje 325 de transmisión de potencia. Tanto el contador 911 digital como el motor 921 se pueden conectar comunicativamente a un ordenador 900.

El ordenador 900 se puede programar adecuadamente, introducirle, o tener acceso a información del sistema pertinente incluyendo, por ejemplo, radios de y la conexión entre los engranajes utilizados en el sistema 100 de las realizaciones ejemplares, la posición de los engranajes y de las dianas de irradiación en otros subsistemas 200 y 400, el perfil de flujo axial del reactor, las dimensiones de dianas de irradiación, distribución, y orden lineal, y/o información de contador 911 digital y del motor 921. Con esta información, el ordenador 900 puede automáticamente accionar el motor 921 y mover las dianas 250 de irradiación a través del sistema 100 de las realizaciones

ejemplares. Tal accionamiento automático se puede basar en el sistema conocido y en la información del reactor, incluyendo el estado en línea. De esta manera, el ordenador 900 se puede conectar con y coordinar otros subsistemas, incluyendo el subsistema 400 de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación, descritos a continuación, para permitir la sincronización a través de sistema 100 de las realizaciones ejemplares.

5 EL subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación puede insertar y extraer las dianas 250 de irradiación del subsistema 200 de tubos a cualquier velocidad deseada, dependiendo de la velocidad de giro de los engranajes 310a y 310b de accionamiento y de los radios de los engranajes 310a y 310b de accionamiento. Además, los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden servir para mantener la posición axial de las dianas 250 de irradiación dentro del subsistema 200 de tubos. Puesto que los engranajes 310a y 310b de accionamiento se  
10 pueden mantener en su lugar mediante, por ejemplo, un sistema de engranaje de tornillo sinfín utilizado en los extremos 393a y 393b roscados de los engranajes 392a y 392b de transferencia superiores y de los engranajes 310a y 310b de accionamiento, las dianas 250 de irradiación se pueden mantener en posición axial sin espacio para escapar entre los engranajes 310a y 310b de accionamiento bloqueados y el tubo 50 y/o manguito 260. Es decir, los extremos 393a y 393b roscados o de enclavamiento pueden incluir tornillos en la interfaz con los engranajes 310a y  
15 310b de accionamiento para proporcionar movimiento y hacer girar los engranajes 310a y 310b de accionamiento, pero que evitan que los engranajes 310a y 310b de accionamiento accionen el subsistema 390 de potencia de accionamiento.

Al conservar tanto orden axial de las dianas 250 de irradiación en el tubo 50 de instrumentación como el orden de las dianas 250 de irradiación insertadas o extraídas del núcleo 15, el seguimiento e identificación de las dianas 250  
20 de irradiación que pasan a través del subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación se pueden habilitar.

Aunque el subsistema de accionamiento de dianas de irradiación se muestra como una serie de engranajes en la Figura 5, otros mecanismos de elevación y/o descenso de las dianas 250 de irradiación entre los subsistemas 200 y 400 se pueden utilizar como se apreciará por un experto en la materia. Por ejemplo, un accionador o accionamiento neumático entre los subsistemas 200 y 400 puede servir para mover y mantener las dianas 250 de irradiación entre  
25 estos subsistemas. De esta manera otros mecanismos se pueden utilizar para el subsistema 300 de accionamiento de dianas permitiendo al mismo tiempo que el sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares funcione durante la inserción y extracción dianas de irradiación en los tubos 50 de instrumentación de operación de reactores nucleares.

#### Subsistema de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación

30 La Figura 6 es una ilustración de un subsistema 300 de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación de las realizaciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 6, las dianas 250 de irradiación pueden entrar o salir del subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación cerca de la parte superior de subsistema 400 de almacenamiento y extracción. Las dianas 250 de irradiación pueden entrar/salir del subsistema 300 de almacenamiento a través de un tubo 420 de retención que va desde una salida del subsistema 300 de  
35 accionamiento de dianas de irradiación hacia abajo en una posición inferior en la cámara 20 seca. El tubo 420 de retención pueden ser un tubo rígido fabricado de un material diseñado para mantener sustancialmente sus características físicas cuando se expone a la radiación presente cerca de un reactor nuclear en operación, incluyendo, por ejemplo, acero inoxidable, aleación en base a níquel, titanio, etc.

Las dianas 250 de irradiación no irradiadas (nuevas) pueden viajar a través del tubo 420 de retención para cargarse en el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación y/o las dianas 250 de irradiación irradiadas (que  
40 ahora contienen radioisótopos de corta duración de la exposición al flujo de neutrones del núcleo) pueden viajar hacia abajo en el tubo 420 de retención para almacenarse en el tubo 420 de retención después de su extracción del reactor operativo mediante el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación. El tubo 420 de retención puede incluir un tubo 410 de salida situado cerca de una brecha en el tubo 420 de retención y un mecanismo 415 de  
45 extracción, que se describe a continuación con respecto a la Figura 7.

El mecanismo 415 de extracción puede empujar las dianas 250 de irradiación desde el tubo 420 de retención a un tubo 410 de salida. El tubo 410 de salida se puede hacer pasar después a través de la contención 411 hasta un área 412 de retención superior, donde las dianas 250 de irradiación se pueden recoger para su uso como radioisótopos. El tubo 410 de salida se puede hacer pasar a través de la contención 411 en una variedad de maneras, incluyendo a  
50 través de tuberías y/o escotillas conocidas en la cámara 20 seca que salen de la contención 411 y/o a través de un paso especialmente diseñado a través de la contención 411. Tal paso se puede diseñar especialmente para mantener la presurización y/o la seguridad de la contención.

La Figura 7 es una ilustración de un mecanismo 415 de extracción de las realizaciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 7, el mecanismo 415 de extracción de las realizaciones ejemplares puede incluir una barra 418 de empuje conectada a un eje 417 y una rueda 416 de accionamiento en una configuración de pistón/rueda. La  
55 rueda 416 de accionamiento se puede accionar mediante el engranaje 414 de extracción para girar y empujar las dianas 250 de irradiación en el tubo 410 de salida desde el tubo 420 de retención.

El engranaje 414 de extracción puede ser un engranaje convencional conectado a la rueda 416 de accionamiento o puede ser una configuración de engranaje de tornillo y tornillo sinfín como se muestra en la Figura 7. El engranaje 414 de extracción se puede conectar al subsistema 390 de potencia de accionamiento y/o al eje 325 de transmisión de potencia (Figura 5) en momentos deseados para extraer de forma sincrónica las dianas de irradiación a medida que se mueven por el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación. De esta manera, la ubicación exacta y la identificación de las dianas 250 de irradiación pueden ser posible entre los subsistemas, mediante el mantenimiento del orden de las dianas y/o del movimiento sincrónico de las dianas 250 a través del sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares. Como alternativa, un motor 922 y/o contador 912 digital se pueden fijar al eje 325 de accionamiento para proporcionar la localización giratoria y la sincronización con el ordenador 900. Un sistema de este tipo puede ser similar a la combinación de motor 921/contador digital 911 que se ha descrito anteriormente en la Figura 5 y puede transmitir información similar al ordenador 900 compartido para facilitar la sincronización del movimiento y extracción de las diana 250 de irradiación dentro/del sistema 100 de las realizaciones ejemplares.

Aunque el mecanismo 415 de extracción de las realizaciones ejemplares se muestra como una configuración de pistón/rueda, otros tipos de mecanismos de extracción se pueden utilizar con las realizaciones ejemplares. Por ejemplo, el mecanismo de extracción puede incluir un accionador accionado de forma remota que simplemente empuja las dianas 250 de irradiación en el tubo 410 de salida tras el accionamiento. Otros tipos de mecanismos de extracción conocidos en la técnica se pueden sustituir por el mecanismo de extracción como será conocido por un experto en la materia.

Como se muestra en la Figura 6, las dianas 250 de irradiación pueden cargar el tubo 420 de retención hacia abajo hasta un mecanismo 450 de control de flujo. Un tubo 460 de distribución se puede extender hacia arriba y alrededor de los subsistemas 400 y/o 300 hasta un depósito 419 de dianas de irradiación en forma de espiral. De esta manera, la gravedad puede accionar las dianas 250 de irradiación hacia abajo a través del tubo 460 de distribución hasta el mecanismo 450 de control de flujo. Aunque el tubo 460 de distribución se muestra como una espiral, cualquier número de configuraciones se puede utilizar, incluyendo una trayectoria recta o hacia arriba desde el depósito 419 con la ayuda de un sistema de accionamiento adicional para empujar las dianas de irradiación hasta el mecanismo 450 de control de flujo.

El mecanismo 450 de control de flujo puede ser un conjunto de engranajes dentados y/o con superficies especiales similares a los engranajes 310a y 310b de accionamiento del subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación (Figura 5), y las descripciones de las porciones redundantes de los mismos se omiten. El mecanismo de control de flujo puede incluir un par de engranajes horizontales en lugar de verticales, como los engranajes 310a y 310b de accionamiento. Similar a los engranajes 310a y 310b, el mecanismo 450 de control de flujo se puede mover por engranajes de tornillos sinfín conectados al eje de accionamiento por engranajes de conexión. Un eje de accionamiento se puede conectar a un motor y/o contador, ambos de los que se pueden conectar al ordenador 900, que puede coordinar aún más y controlar el movimiento de las dianas 250 de irradiación con el mecanismo 450 de control de flujo.

El mecanismo 450 de control de flujo puede retener y/o mover las dianas de irradiación entre el tubo 460 de distribución y el tubo 420 de retención, que pueden ambos tener aberturas cerca del mecanismo 450 de control de flujo. Debido a que las dianas de irradiación se pueden accionar por gravedad desde el depósito 490, el mecanismo 450 de control de flujo puede servir para bloquear las dianas de irradiación de empujarse hacia arriba en el tubo 420 de retención en los momentos indeseados. El mecanismo 450 de control de flujo se puede accionar por el mismo conjunto 320 de engranajes y/o por el accionamiento 325 de alimentación como en el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación (Figura 5) para simplificar y conservar la sincronía del sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares. El software en el ordenador 900 que controla el mecanismo 450 de control de flujo puede mantener la sincronía entre todos los subsistemas 200, 300, y 400.

El mecanismo 450 de control de flujo se muestra como un conjunto de engranajes dentados; sin embargo, diversos tipos diferentes de dispositivos de bloqueo, tales como accionadores, válvulas, etc., se pueden utilizar para controlar el movimiento de las dianas de irradiación entre el tubo 460 de distribución y el tubo 250 de retención.

Mediante la configuración del sistema 400 de almacenamiento y extracción de las realizaciones ejemplares, el orden y la linealidad de las dianas 250 de irradiación se pueden conservar desde su inserción hasta su extracción del sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares. Por ejemplo, como las dianas 250 de irradiación se alimentan en el tubo 420 de retención del sistema 300 de accionamiento de irradiación después de haberse irradiado en el núcleo, las dianas se pueden sustentar y/o accionarse en el tubo 460 de distribución hasta que todos los tubos de irradiación se extraigan del subsistema 200 de tubos de instrumentación. Debido a la naturaleza de accionamiento por gravedad del tubo 460 de distribución, el mecanismo 450 de control de flujo puede permitir que las dianas 250 de irradiación irradiadas retornen al mecanismo 415 de extracción, que puede extraer de forma síncrona las dianas 250 de irradiación irradiadas en cola hacia el tubo 410 de salida. De esta manera, el orden vertical exacto de las dianas de irradiación, de la posición más superior a la posición más inferior en el tubo 50, se puede mantener a medida que las dianas 250 de irradiación irradiadas se dirigen fuera de la contención 411.



El flujo de neutrones dentro del núcleo 15 es generalmente conocido o determinable para un experto en la materia. Al conservar el orden lineal de las dianas de irradiación en el núcleo, el sistema 100 de las realizaciones ejemplares puede proporcionar la máxima actividad específica en las dianas 250 de irradiación. De esta manera, la actividad específica de las dianas 250 de irradiación se puede maximizar permitiendo que las dianas estén preparadas para su descarga para colocarse en una posición axial con flujo propicio para generar una actividad específica requerida para el uso médico y/o industrial de las dianas 250 de irradiación.

Además, mediante la configuración mostrada en la Figura 6, el tubo 460 de distribución puede tener una longitud aproximadamente igual a una longitud del tubo 50 de instrumentación, impidiendo de este modo un recuento incorrecto o desbordamiento de las dianas de irradiación en el subsistema 300 de accionamiento de dianas de irradiación o subsistema 200 de tubos. El depósito 419 puede almacenar dianas de irradiación adicionales que se pueden liberar en el tubo 460 de distribución, después de que todas las dianas 250 de irradiación irradiadas con anterioridad hayan pasado al tubo 420 de retención. De esta manera, el depósito 419 puede proporcionar continuamente dianas 250 de irradiación en el sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares y puede maximizar la producción de radioisótopos.

El depósito 419 puede actuar tanto como un repositorio de distribución de dianas y un repositorio para la colocación de las dianas 250 que salen del bucle 460 apilado. Cuando el subsistema 300 y/o el mecanismo 450 de control de flujo hacen avanzar las dianas en el núcleo del reactor, se puede permitir la salida de dianas 250 adicionales del repositorio 419 por gravedad y su introducción en el tubo 460 de distribución. Cuando las dianas se extraen del núcleo del reactor, las dianas se pueden mover de nuevo en el depósito 419 repositorio. El depósito 419 puede ser una variedad de formas que permiten dicho movimiento de las dianas de irradiación, incluyendo, por ejemplo, un depósito en forma de embudo.

El subsistema 400 de almacenamiento y extracción de dianas irradiadas de las realizaciones ejemplares que se muestra en la Figura 6 puede facilitar la extracción y/o almacenamiento ordenado de las dianas 250 de irradiación que contiene radioisótopos de corta duración que se pueden utilizar en aplicaciones médicas e industriales; sin embargo, otros subsistemas de las realizaciones ejemplares pueden permitir la extracción con éxito de las dianas 250 de irradiación irradiadas del sistema 100 de generación de radioisótopos. Por ejemplo, el subsistema de extracción 300 puede consistir enteramente en un tubo de salida dirigido fuera de la contención, de manera que las dianas 250 de irradiación pueden salir directamente del recipiente 10 desde los sistemas de accionamiento de dianas de irradiación y/o cargarse directamente en el recipiente 10 desde el mismo.

### Operación del sistema de generación de radioisótopos

En los sistemas de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares que se han descrito anteriormente, es posible resumir la operación de tales realizaciones ejemplares para lograr los procedimientos ejemplares. Las dianas 250 de irradiación nuevas se pueden almacenar en el depósito 419 (Figura 6) y/o mantenerse en el tubo 460 de distribución por el mecanismo 450 de control de flujo. Tras la liberación o la activación del mecanismo 450 de control de flujo, las dianas 250 de irradiación se pueden mover hacia arriba a través del tubo 420 de retención, accionadas por gravedad debido a que el depósito 419 se encuentra por encima del tubo 420 de retención y/o del mecanismo de control de flujo.

Una vez que una cantidad suficiente de dianas 250 de irradiación se ha hecho pasar al tubo 420 de retención, las dianas 250 de irradiación pueden salir del tubo 420 de retención cerca de los engranajes 310a y 310b de accionamiento (Figura 5). Los engranajes 310a y 310b de accionamiento se pueden hacer girar para acoplarse con las dianas 250 de irradiación que salen del tubo 420 de retención. Los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden mover secuencialmente las dianas 250 de irradiación en el manguito 260 (Figura 3), conservando el orden de las dianas 250 de irradiación. Las dianas 250 de irradiación se pueden accionar continuamente en el manguito 260 para pasar al tubo 50 de instrumentación a través de la abertura 51 y hasta dentro del núcleo 15. Una vez que el tubo 50 de instrumentación y el manguito 260 se cargan con dianas de irradiación, los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden mantener las dianas de irradiación en su lugar en el tubo 50.

El núcleo 15 se puede operar en algún momento, mientras que las dianas de irradiación se retienen en el tubo 50 y en el núcleo 15. Al conocer el perfil de flujo axial del núcleo 15 y la distribución de dianas 250 de irradiación, las dianas de irradiación se podrán retener dentro del núcleo 15 durante un período de tiempo para convertir sustancialmente las dianas 250 de irradiación en radioisótopos deseados.

Al finalizar el período de tiempo deseado, los engranajes 310a y 310b de accionamiento pueden dejar de retener las dianas 250 dentro del tubo 50 y el manguito 260 y/o en la dirección inversa para permitir que las dianas de irradiación pasen del manguito 260 hacia atrás en el tubo 420 de retención. Este accionamiento descendente de las dianas 250 de irradiación puede hacer retornar otras dianas de irradiación en el tubo 420 de retención o tubo 460 de distribución más atrás en el tubo 460 de distribución. El mecanismo 450 de retención puede ayudar aún más el retorno de las dianas de irradiación al tubo 460 de distribución o, como alternativa, puede evitar que cualquier diana de irradiación entre en el tubo de retención o extraer esas dianas 250 que hacen que el tubo 420 de retención se vacíe cuando las dianas 250 de irradiación irradiadas se hacen pasar hacia abajo en el tubo 420 de retención.

Una vez que todas las dianas 250 de irradiación irradiadas se vacían del manguito 260 en el tubo 420 de retención, el mecanismo 450 de retención puede accionar, o permitir que la gravedad accione, la dianas 250 de irradiación irradiadas en un tubo 410 de salida (Figura 7). Un mecanismo de extracción puede empujar de forma síncrona las dianas 250 de irradiación en el tubo 410 de salida con su movimiento por el mecanismo 450 de retención.

5 Desde el tubo 410 de salida, las dianas 250 de irradiación irradiadas se pueden extraer de la contención 411 y recogerse para su uso médico o industrial. Durante toda la operación de los sistemas de las realizaciones ejemplares, las dianas 250 de irradiación mantienen un orden lineal. Todo el procedimiento descrito anteriormente se puede automatizar con un usuario u ordenador 900 remoto que accione los diversos subsistemas como se ha descrito anteriormente con respecto a cada subsistema. Por ejemplo, un ordenador 900 remoto puede iniciar la  
10 inserción de dianas 250 en el núcleo 15 y puede calcular el perfil de flujo axial del núcleo 15 y las características de la irradiación neutrónicas de las dianas 250 que se tienen que colocar en el núcleo 15. Al conocer el orden lineal de las dianas de irradiación y, por lo tanto, su colocación axial en el núcleo, el ordenador puede calcular un tiempo de exposición deseado. Al finalizar el tiempo de exposición, el equipo puede iniciar la extracción de dianas 250 desde el núcleo y, una vez que todas las dianas 250 son extraídas del núcleo 15, el ordenador 900 puede iniciar la extracción  
15 de dianas 250 de los sistemas de las realizaciones ejemplares y de la contención 411. Las propiedades de actividad y de radiación exactas de cada diana 250 de irradiación se pueden calcular en su orden lineal después de la extracción, lo que permite la recogida y uso de los radioisótopos presentes en la dianas 250 de irradiación irradiadas.

#### Dianas de irradiación

20 Las Figuras 8A y 8B son ilustraciones de dianas 250a y 250bde irradiación de las realizaciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 8A, la diana 250a de irradiación puede ser más o menos esférica para permitir el giro y rodadura a través de aparatos de las realizaciones ejemplares. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, las dianas de irradiación pueden tener también otras formas. Por ejemplo, hexaedros y/o cilindros se pueden utilizar  
25 como dianas 250 de irradiación para evitar su rodadura en algunas o todas las direcciones o para alojar diferentes geometrías y/o ubicaciones de tubos 50 de instrumentación. Las superficies de los engranajes de accionamiento y las formas de tubo se pueden variar para coincidir con estas geometrías de dianas de irradiación diferentes.

Como se muestra en la Figura 8A, la diana 250a de irradiación puede ser generalmente sólida y fabricarse a partir de un material que se convierte en un radioisótopo útil cuando se expone al flujo de neutrones presente en un reactor nuclear comercial operativo. Por otra parte, diferentes materiales se pueden colocar a modo de placas o  
30 capas en diferentes radios de la diana 250a de irradiación de permitir una manipulación y recogida más fácil y de los radioisótopos de la diana 250a de irradiación.

Como alternativa, como se muestra en la Figura 8B, la diana de 250b irradiación puede ser generalmente hueca e incluir un material líquido, gaseoso, y/o sólido que se convierte en un radioisótopo gaseoso, líquido y/o sólido útil cuando se expone al flujo de neutrones presente en un reactor nuclear comercial operativo. Una cubierta 251 puede  
35 rodear y contener el material 250 de dina líquido, sólido o gaseoso, experimentando la cubierta 251 cambios físicos insignificantes cuando se expone a un flujo de neutrones, incluyendo, por ejemplo, acero inoxidable y/o aluminio. Un puerto 253 de acceso puede permitir el acceso a través de la cubierta 251 para la recogida de los radioisótopos producidos en la diana 250b de irradiación. Por ejemplo, el puerto 253 de acceso se puede soldar o roscar en la cubierta 251 para proporcionar una junta estanca para el material 252 de diana líquido/sólido/gaseoso y los  
40 radioisótopos producidos. El puerto 253 de acceso puede incluir un área 255 frangible que se desgarrar fácilmente, se perfora fácilmente, etc. cuando se somete a una fuerza externa apropiada cuando el radioisótopo líquido/sólido/gaseoso está listo para ser recogido.

Aunque el sistema 100 de generación de radioisótopos de las realizaciones ejemplares se ha descrito en detalle como un aparato que se puede utilizar para realizar los procedimientos ejemplares de producción y recogida de  
45 isótopos de corta duración, se entiende que otros aparatos se pueden utilizar para realizar los procedimientos ejemplares. Por ejemplo, un manguito cerrado que contiene dianas de irradiación se puede insertar y extraer de los tubos de instrumentación de los reactores comerciales operativos en una forma de "cartucho" a diversos intervalos para exponer adecuadamente las dianas de irradiación al flujo de neutrones suficientemente para crear radioisótopos de corta duración utilizables.

50 Diversos radioisótopos diferentes se pueden generar en las realizaciones ejemplares y en los procedimientos ejemplares. Las realizaciones ejemplares y los procedimientos ejemplares pueden tener una ventaja particular en que permiten la generación y recogida de radioisótopos de corta duración en una escala de tiempo relativamente rápida en comparación con la vida media de los radioisótopos producidos, sin necesidad de apagar un reactor comercial, un procedimiento potencialmente costoso, y sin procedimientos de extracción isotópica y/o química  
55 peligrosos y prolongados. Aunque los radioisótopos de corta duración que tienen aplicaciones de diagnóstico y/o terapéuticas se pueden producir con los aparatos y procedimientos ejemplares, los radioisótopos que tienen aplicaciones industriales y/o medias vidas largas se pueden generar también.

Las dianas 250 de irradiación y la cantidad de tiempo de exposición en el tubo 50 de instrumentación se pueden seleccionar en los procedimientos y aparatos ejemplares para determinar el tipo y la concentración del radioisótopo

5 producido. Es decir, como se ha descrito anteriormente, debido a que se conocen los niveles de flujo axiales dentro de un reactor operativo, y debido a que las realizaciones ejemplares pueden permitir un control preciso de la posición axial de las dianas 250 de irradiación utilizadas en los aparatos y procedimientos de las realizaciones ejemplares, el tipo y tamaño de la diana 250 de irradiación y el tiempo de exposición se pueden utilizar para determinar los radioisótopos resultantes y su fuerza. Es conocido para un experto en la materia y de referencia a los gráficos de descomposición y en sección transversal convencionales qué tipos de dianas 250 de irradiación van a producir radioisótopos deseados dada la exposición a una cantidad particular de flujo de neutrones. Además, las dianas 250 de irradiación se pueden elegir en base a su sección transversal de neutrones relativamente más pequeña, para no interferir sustancialmente con la reacción en cadena nuclear que ocurre en un núcleo del reactor nuclear comercial operativo.

10 Por ejemplo, se sabe que el Molibdeno-99 se puede convertir en Tecnecio-99m con una vida media de aproximadamente 6 horas cuando se expone a una cantidad particular de flujo de neutrones. El Tecnecio-99m tiene diversos usos médicos especializados, incluyendo imágenes médicas y diagnóstico de cáncer, y una vida media de corta duración. Al utilizar dianas 250 de irradiación fabricadas de Molibdeno-99 y expuestas a un flujo de neutrones en un reactor operativo en base al tamaño de la diana 250, se puede generar y recoger Tecnecio-99m en los aparatos y procedimientos de las realizaciones ejemplares mediante la determinación del tamaño de la diana de irradiación que contiene Mo-99, la posición axial de la diana en el núcleo nuclear operativo, el perfil axial del núcleo nuclear operativo, y la cantidad de tiempo de exposición de la diana de irradiación.

15 La Tabla 1 a continuación enumera diversos radioisótopos de corta duración que se puedan generar en los procedimientos ejemplares utilizando una diana 250 de irradiación adecuada. La vida media más larga de los radioisótopos de corta duración mencionados puede ser de aproximadamente 75 días. Teniendo en cuenta que la parada del reactor y la extracción del combustible gastado pueden ocurrir con tan poca frecuencia como dos años, con la extracción y recogida de radioisótopos de procedimientos significante que requieren combustible y los tiempos de parada, los radioisótopos que figuran a continuación no se pueden producir y recoger de forma viable del combustible nuclear gastado convencional.

25 Tabla 1 - Lista de radioisótopos potenciales producidos

<u>Material padre</u>	<u>Radioisótopo Producido</u>	<u>Vida media (aproximadamente)</u>	<u>Uso potencial</u>
Molibdeno-99	Tecnecio-99m	6 horas	Imágenes de cáncer y órganos pobremente cargados
El cromo-50	Cromo-51	28 días	Trastornos de glóbulos rojos en sangre y gastrointestinales
Cobre-63	Cobre-64	13 horas	Estudio de las enfermedades de Wilson y Menke
Disproσιο-164	Disproσιο-165	2 horas	Tratamiento de sinovectomía de la artritis
Erbio-168	Erbio-169	9.4 día	Alivio del dolor de la artritis
Holmio-165	Holmio-166	27 horas	Cáncer hepático y tratamiento del tumor
Yodo-130	Yodo-131	8 días	Cáncer de tiroides y su uso en la terapia beta
Iridio-191	Iridio-192	74 días	Tratamiento de cáncer por radioterapia interna
Hierro-58	Hierro-59	46 días	Estudio del metabolismo del hierro y trastornos esplénicos
Lutecio-176	Lutecio-177	6.7 día	Imágenes y tratamiento de tumores endocrinos
Paladio-102	Paladio-103	17 días	Braquiterapia para el cáncer de próstata
Fósforo-31	Fósforo-32	14 días	Tratamiento de policitemia vera
Potasio-41	Potasio-42	12 horas	Estudio del flujo sanguíneo coronario
Renio-185	Renio-186	3,7 días	Tratamiento de cáncer de hueso
Samario-152	Samario-153	46 horas	Alivio del dolor por cáncer secundario
Selenio-74	Selenio-75	120 días	Estudio de las enzimas digestivas

(continuación)

<u>Material padre</u>	<u>Radioisótopo Producido</u>	<u>Vida media (aproximadamente)</u>	<u>Uso potencial</u>
Sodio-23	Sodio-24	15 horas	Estudio de electrolitos
Estroncio-88	Estroncio-89	51 días	Alivio del dolor de próstata y cáncer de hueso
Iterbio-168	Iterbio-169	32 días	Estudio de líquido cefalorraquídeo
Iterbio-176	Iterbio-177	1,9 horas	Se utiliza para producir Lu-177
Itrio-89	Itrio-90	64 horas	Braquiterapia del cáncer

5 La Tabla 1 no es una lista completa de los radioisótopos que se pueden producir en las realizaciones ejemplares y procedimientos ejemplares, sino más bien es ilustrativa de algunos radioisótopos que se pueden utilizar con las terapias médicas, incluyendo el tratamiento de cáncer.

Con la selección de diana apropiada, casi cualquier radioisótopo de corta duración se puede producir y recoger para su uso a través de las realizaciones y procedimientos ejemplares.

10 En las realizaciones ejemplares que se han descrito de este modo, se apreciará por un experto en la materia que las realizaciones ejemplares se pueden variar a través de experimentación rutinaria y sin actividad inventiva adicional. Las variaciones no han de considerarse como fuera del alcance de las realizaciones ejemplares.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de producción de radioisótopos, comprendiendo el procedimiento;
 

insertar al menos una diana (250) de irradiación en un manguito (260) de un subsistema de tubo, insertándose el manguito en un tubo (50) de instrumentación de un reactor (10) nuclear, extendiéndose el tubo de instrumentación en el reactor y teniendo una abertura (51) accesible desde el exterior del reactor, para exponer la diana de irradiación al flujo de neutrones presente en el reactor nuclear cuando opera, convirtiéndose sustancialmente la diana de irradiación en un radioisótopo cuando se expone a un flujo de neutrones presente en el reactor nuclear, teniendo el manguito un diámetro interior sustancialmente constante, y el sistema de tubo incluyendo además al menos una pinza (266) conformada para acoplarse con el manguito y una superficie interior variable del tubo de instrumentación; y

extraer la diana de irradiación y los radioisótopos producido del tubo de instrumentación.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el reactor nuclear es un reactor nuclear de más de 100 Megavattios eléctrico.
3. El procedimiento de la reivindicación 1 o 2, en el que la inserción y la extracción se realizan mientras el reactor nuclear está operando.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el radioisótopo producido tiene una vida media de 75 días o menor.
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que la diana de irradiación es una seleccionada del grupo que consiste en Molibdeno-99, Cromo-50, Cobre-63, Disprobio-164, Erblio-168, Holmio-165, Yodo-130, Iridio-191, Hierro-58, Lutecio-176, Paladio-102, Fósforo-31, Potasio-41, Renio-185, Samario-152, Selenio-74, Sodio-23, Estroncio-88, Iterbio-168, Iterbio-176 e Itrio-89.
6. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el radioisótopo producido se elige del grupo que consiste en Tecnecio-99m, Cromo-51, Cobre-64, Disprobio-165, Erblio-169, Holmio-166, Yodo-131, Iridio-192, Hierro-59, Lutecio-177, Paladio-103, Fósforo-32, Potasio-42, Renio-186, Samario-153, Selenio-75, Sodio-24, Estroncio-89, Xenón-133, Iterbio-169, Iterbio-177, e Itrio-90.
7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de exposición incluye:
 

elegir un diana de irradiación con una sección transversal de neutrones conocida; y

situar la diana de irradiación en una posición axial en el tubo de instrumentación durante una cantidad de tiempo que corresponda a una cantidad de tiempo requerida para convertir sustancialmente toda la diana de irradiación en un radioisótopo a un nivel de flujo correspondiente a la posición axial en base al perfil de flujo de neutrones axial del reactor nuclear operativo.
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
 

extraer las dianas de irradiación y los radioisótopos producidos desde una estructura de contención que rodea el reactor nuclear.
9. Un sistema de generación de radioisótopos, comprendiendo el sistema:
 

un subsistema (200) de tubo configurado para permitir la inserción y extracción de al menos una diana (250) de irradiación en un tubo (50) de instrumentación de un reactor nuclear; incluyendo el subsistema de tubo un manguito (260) insertado en el tubo de instrumentación, teniendo el manguito un diámetro interior sustancialmente constante, e incluyendo además al menos una pinza (266) conformada para acoplarse con el manguito y una superficie interior variable del tubo de instrumentación;

un subsistema (300) de accionamiento de dianas de irradiación configurado para insertar y extraer la al menos una diana de irradiación del tubo de instrumentación del reactor nuclear; y

un subsistema (400) de almacenamiento y extracción de dianas de irradiación configurado para almacenar la al menos una diana de irradiación.
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que el manguito es modular.
11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en el que el manguito se extiende más allá de una abertura en el tubo de instrumentación hasta el subsistema de accionamiento de dianas de irradiación.

**FIG. 1**  
**TÉCNICA CONVENCIONAL**

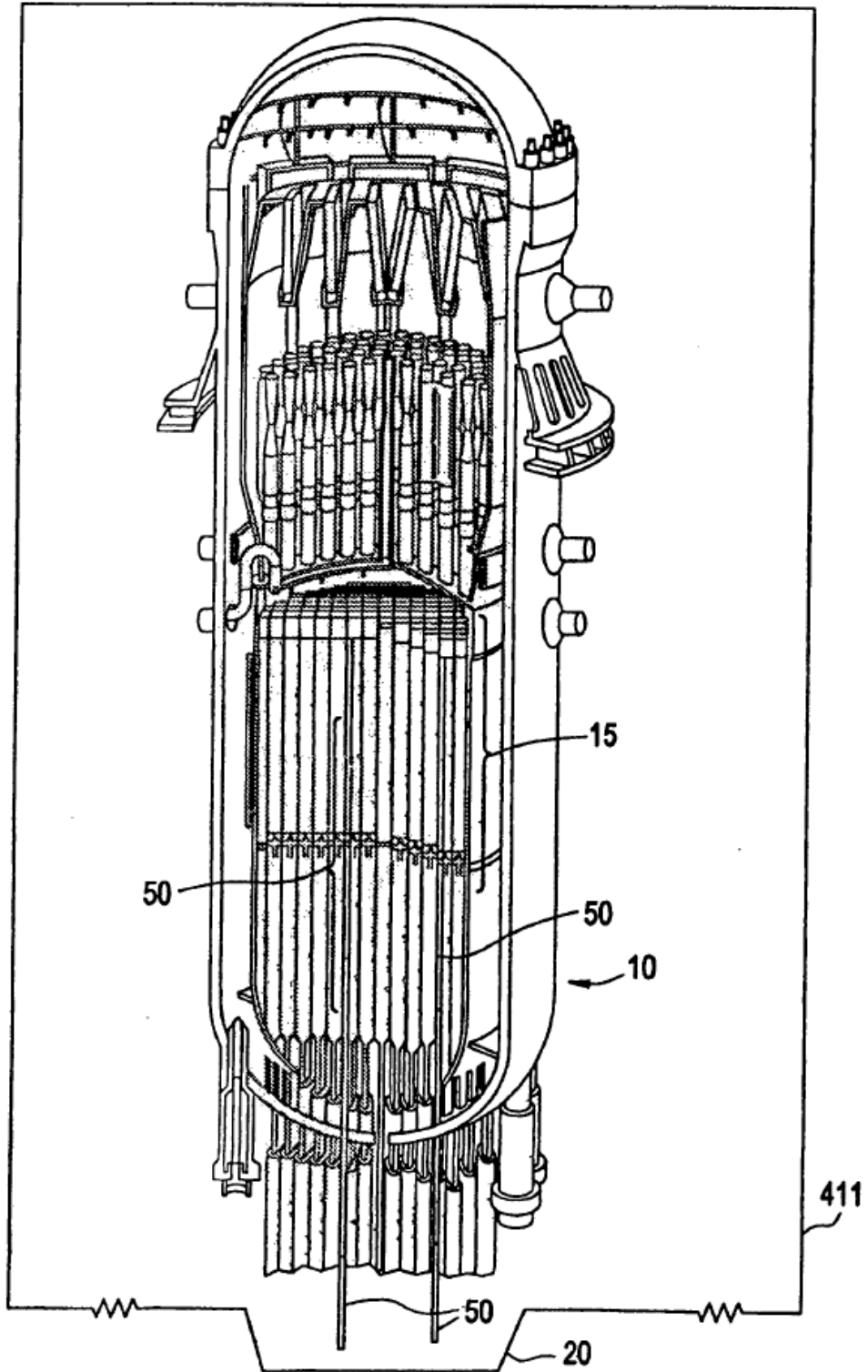


FIG. 2

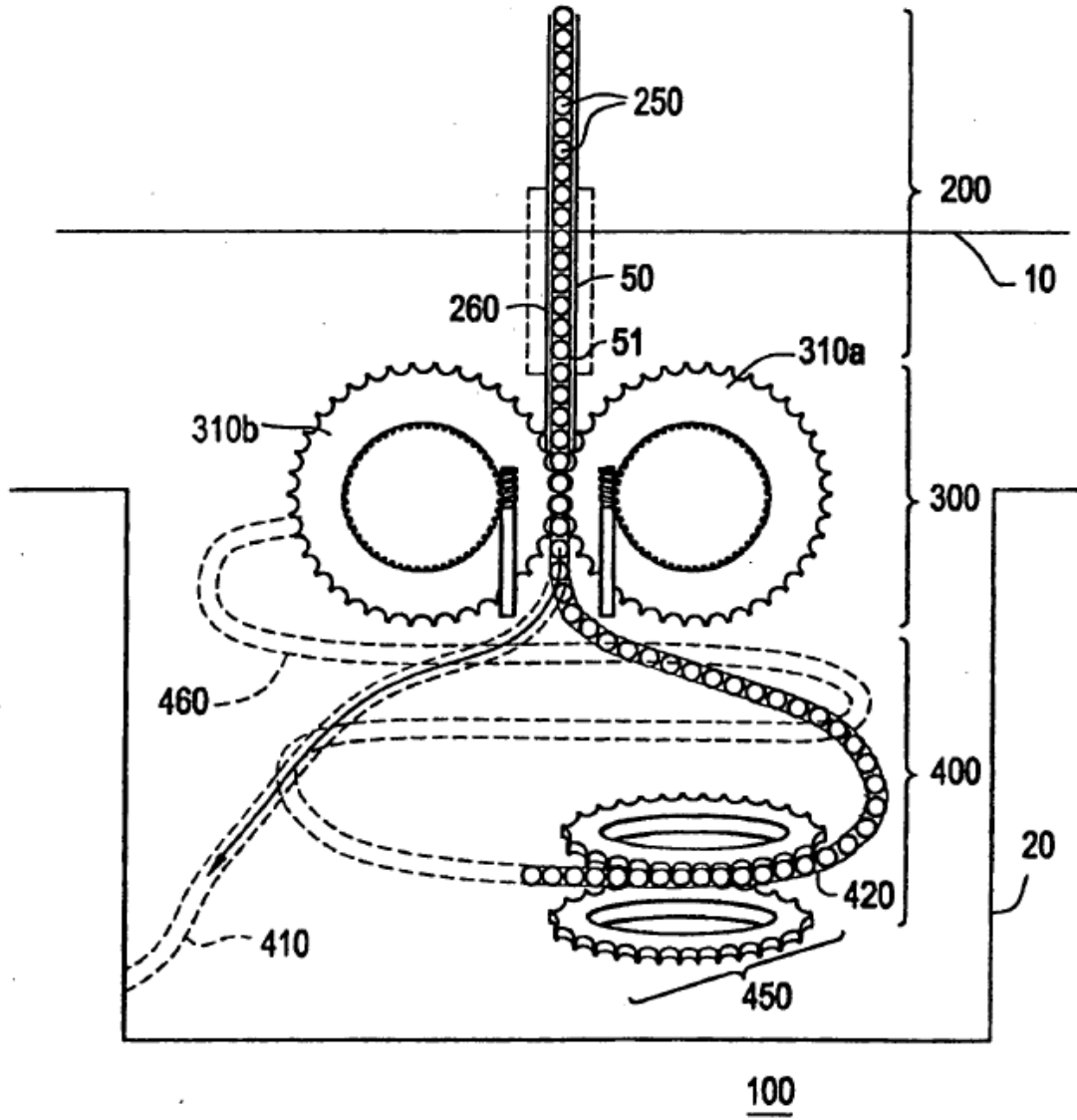
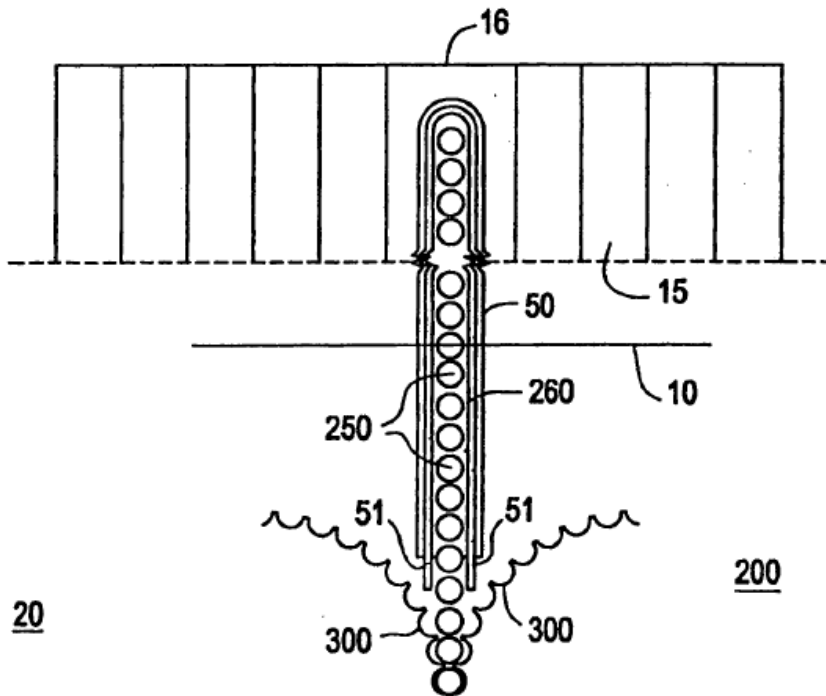
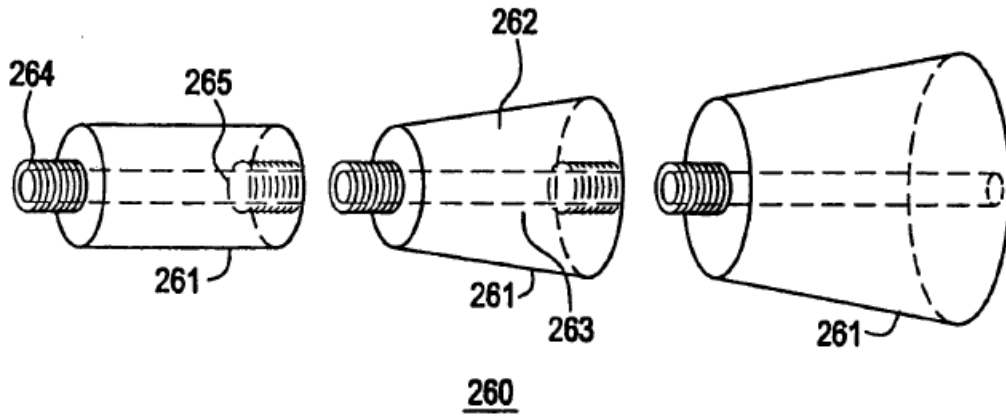


FIG. 3





**FIG. 4A**



**FIG. 4B**

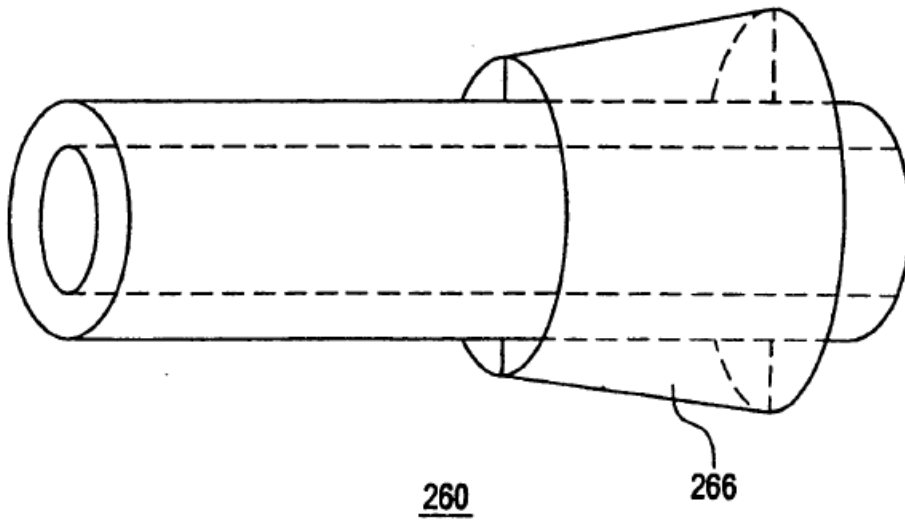


FIG. 5

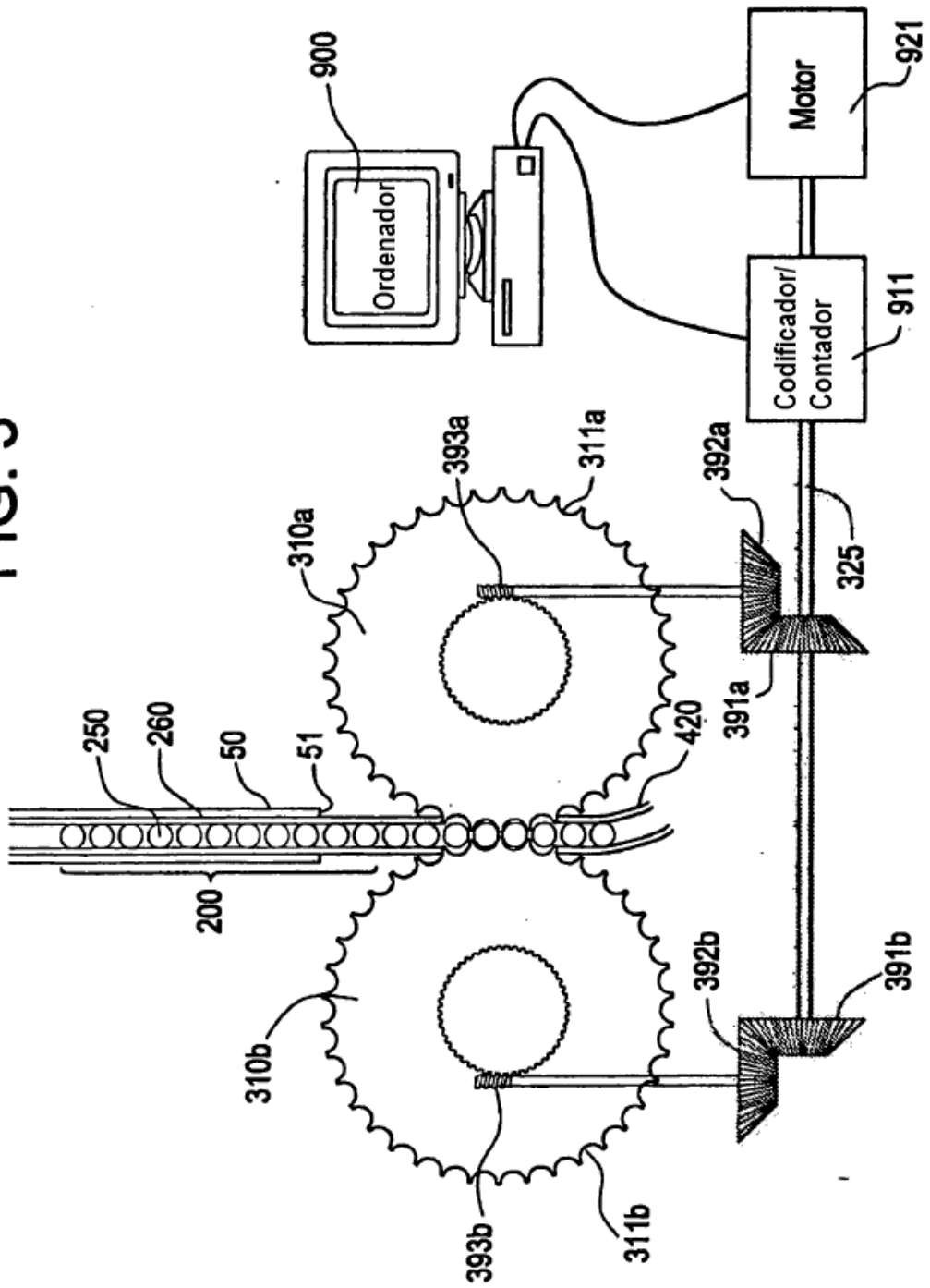


FIG. 6

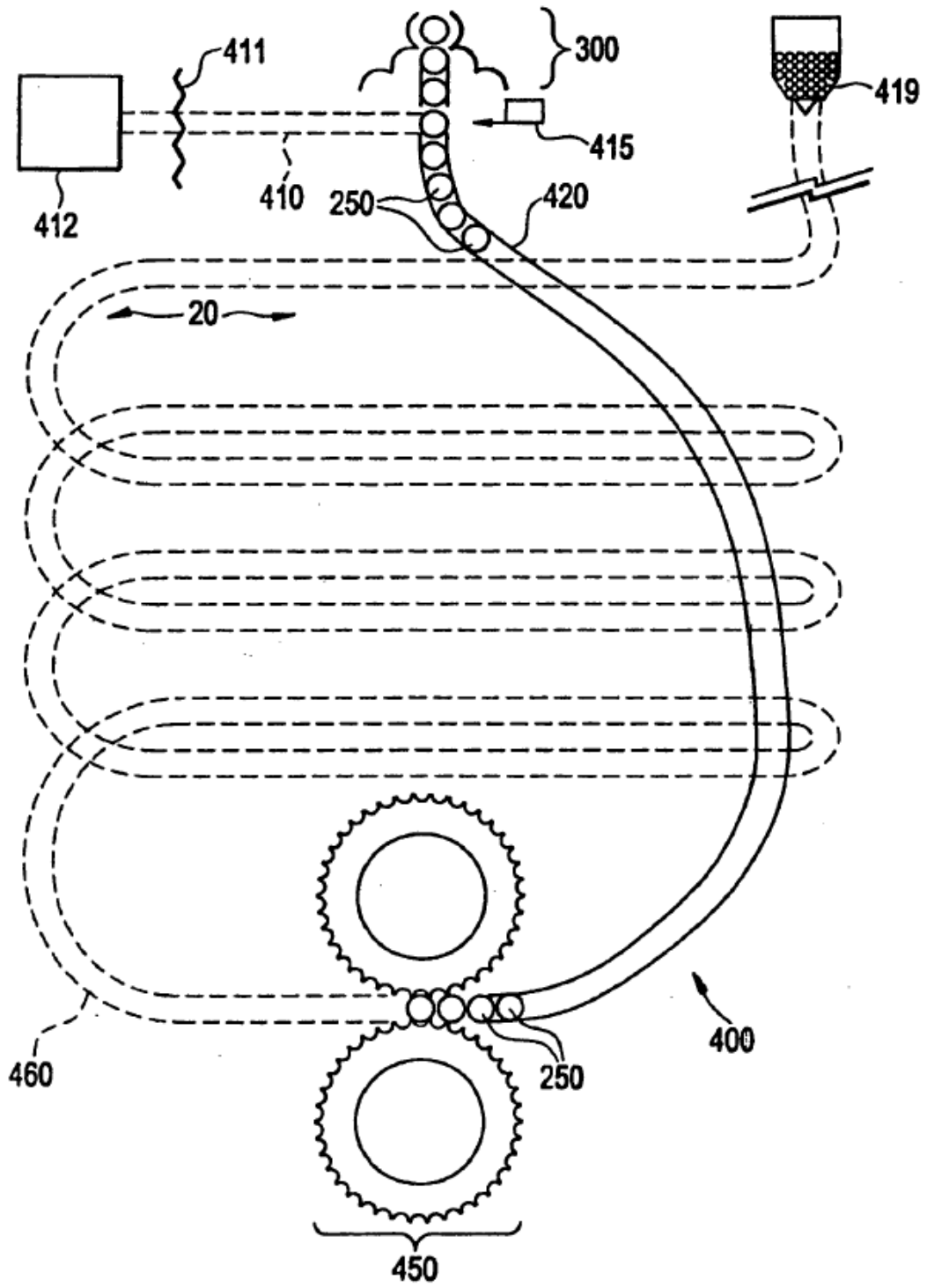
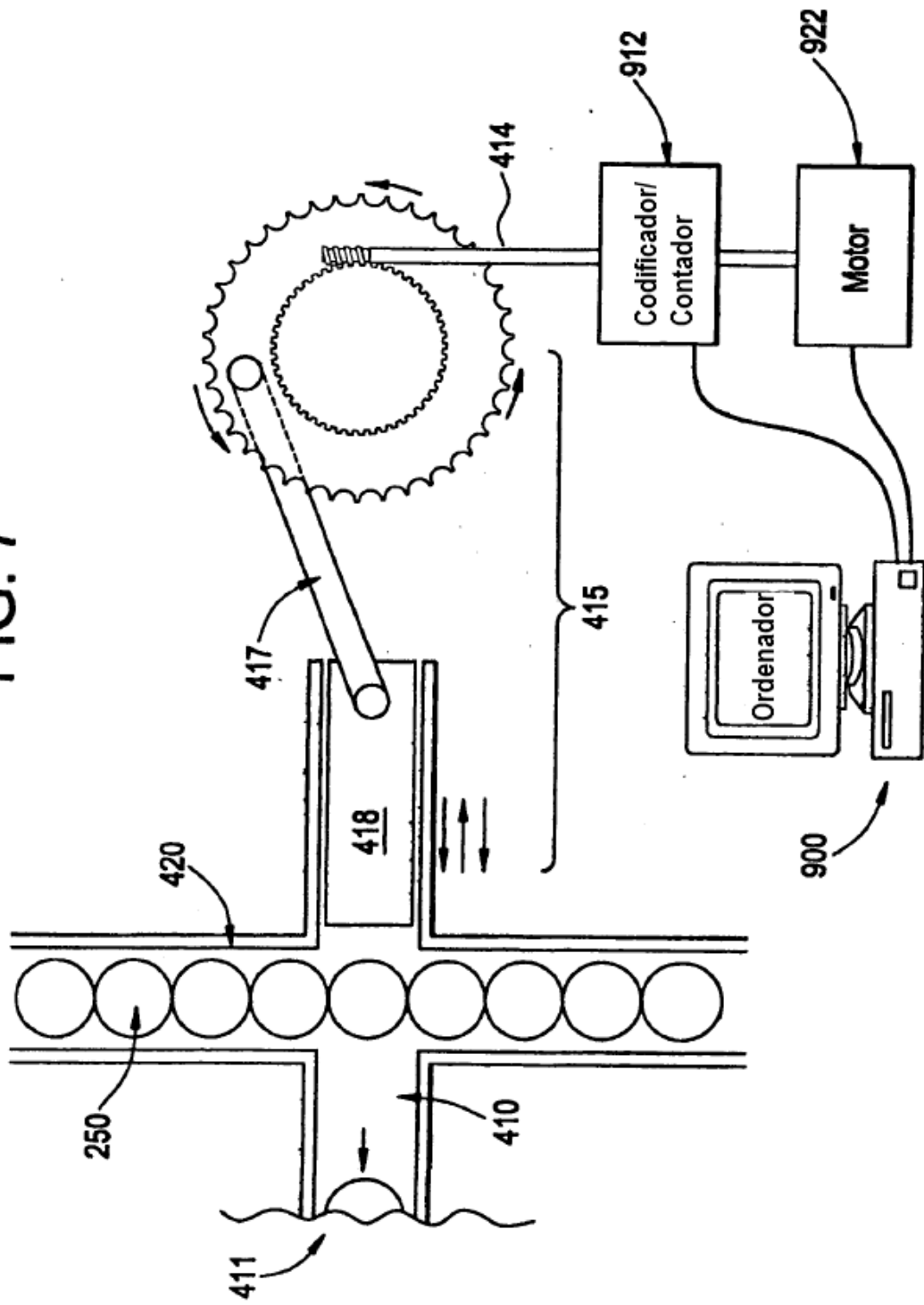
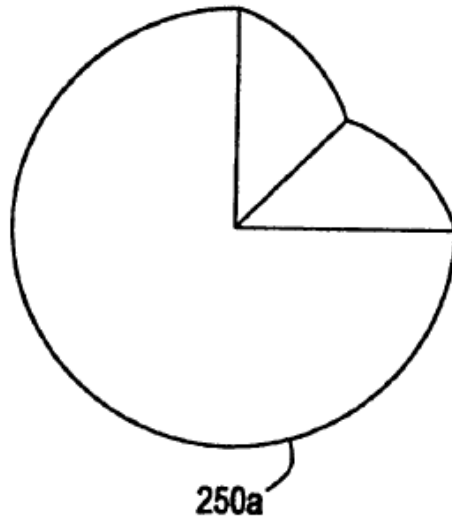


FIG. 7



**FIG. 8A**



**FIG. 8B**

