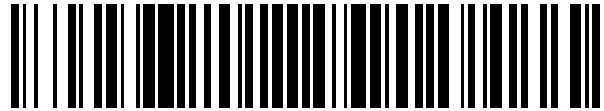


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 211**

51 Int. Cl.:

**G21G 1/02** (2006.01)

**G21C 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2010 E 10160137 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015 EP 2242063**

54 Título: **Materiales y aparatos de venenos consumibles para reactores nucleares y procedimientos de uso de los mismos**

30 Prioridad:

**17.04.2009 US 385747**

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

**07.12.2015**

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. y  
TROSMAN, LUKAS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 553 211 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

Materiales y aparatos de venenos consumibles para reactores nucleares y procedimientos de uso de los mismos

### Antecedentes

#### Campo

- 5 Las realizaciones y procedimientos de ejemplo se refieren en general a materiales y componentes usados en reactores de plantas de energía nuclear.

#### Descripción de la técnica relacionada

10 En general, las plantas de energía nuclear incluyen núcleos de reactor que tienen un combustible dispuesto en ellos para producir energía mediante la fisión nuclear. Un diseño común en las plantas de energía nuclear de Estados Unidos es disponer el combustible en una pluralidad de barras de combustible unidas juntas como un conjunto de combustible, o haz de combustible, colocado dentro del núcleo del reactor. La energía se genera por el combustible nuclear, típicamente uranio, por medio de una reacción en cadena de fisión de los átomos del combustible.

15 La fisión en estado estable en el combustible del reactor libera grandes cantidades de neutrones, que inician y sostienen la reacción en cadena de fisión. Convencionalmente, la gestión y mantenimiento de una reacción de fisión en estado estable y la producción de energía correspondiente y las normas de seguridad se consiguen mediante la gestión de la cantidad de neutrones y del flujo de neutrones dentro del núcleo. La gestión del flujo de neutrones puede conseguir varios objetivos, incluyendo, por ejemplo, maximizar la producción de energía, igualar la exposición a neutrones del combustible y su fisionado o "quemado", minimizando los picos de flujos de neutrones, y proporcionando márgenes de seguridad para una operación y parada segura del reactor.

20 La gestión del flujo de neutrones convencional tiene varias formas. Los venenos consumibles son una forma de gestión del flujo de neutrones usada convencionalmente en reactores nucleares. Los venenos consumibles típicamente absorben el flujo de neutrones, reduciendo de ese modo o "envenenando" la reactividad del combustible y la tasa de fisión, allí donde se colocan. En base al conocimiento de ingeniería del núcleo del reactor y la física del reactor, el ingeniero puede determinar áreas del núcleo sometidas a cantidades no deseadas de flujo de neutrones en momentos particulares durante el tiempo de operación y colocar venenos consumibles en esas posiciones. De ese modo, se puede reducir el flujo no deseado, dando como resultado un quemado más uniforme y/o seguro a todo lo largo del combustible. Alternativamente, los venenos consumibles pueden colocarse en el refrigerante o moderador del núcleo y reducir la reactividad a todo lo largo del núcleo, proporcionando potencialmente una parada más fácil del núcleo y/o reduciendo la dependencia de otros enfoques de gestión del flujo de neutrones, tal como el uso de barras/hojas de control.

25 Los venenos consumibles tienen también convencionalmente un efecto reducido cuando pasa el tiempo en un núcleo en operación. Cuantos más neutrones absorbe un veneno consumible particular, menor es su capacidad para continuar absorbiendo neutrones. Por medio de esta propiedad, los venenos consumibles pueden usarse para controlar el flujo de neutrones o la reactividad en periodos de tiempo específicos sometidos a cantidades no deseadas de flujos de neutrones, tales como en el inicio de los ciclos de operación, en tanto tienen un efecto mínimo en otros períodos de tiempo en donde el efecto de envenenamiento es indeseado, tal como al final de los ciclos de operación.

40 Los venenos consumibles convencionales incluyen, por ejemplo, compuestos de gadolinio y/o boro. Estos y otros elementos relacionados tienen una elevada sección de absorción, o probabilidad, para el flujo de neutrones térmicos normalmente hallados en los reactores de agua ligera. Cuando los venenos consumibles absorben neutrones y disminuyen la reactividad, se convierten en otros elementos con unas secciones de absorción de neutrones térmicos mucho más bajas, "quemándose" de ese modo a lo largo del tiempo en el núcleo en operación. Los compuestos de gadolinio y/o boro se diseñan convencionalmente en barras especiales o aditivos de combustible. En estas formas, los venenos consumibles pueden colocarse en localizaciones axiales y radiales específicas dentro del núcleo para reducir niveles indeseados de flujos de neutrones predichos o experimentados en esas localizaciones en ciertos momentos. Los elementos de veneno consumible convencionales pueden retirarse del núcleo y desecharse a la finalización de cada ciclo de operación, y pueden introducirse nuevos elementos de veneno consumible para sustituir los viejos, dependiendo de las características del nuevo núcleo.

### Sumario

50 En un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de operación de un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 1 del presente documento.

En otro aspecto de la invención, se proporciona un componente de veneno consumible de acuerdo con la reivindicación 6 del presente documento.

Las realizaciones de ejemplo se dirigen a materiales utilizables como venenos consumibles en reactores nucleares.

Los materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo pueden absorber flujos de neutrones, o reducir la reactividad, en posiciones deseadas dentro de un reactor nuclear en operación. Los materiales de la realización de ejemplo pueden tener un efecto de absorción sustancialmente reducido con la exposición incrementada al flujo de neutrones. Los materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo producen productos hijos deseados cuando se queman, permitiendo de ese modo la colocación y uso para la mejora de las características neutrónicas y/o el blindaje del flujo de neutrones en localizaciones convencionalmente prohibitivas por no económicas. Materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo pueden incluir iridio natural e iridio-193 enriquecido.

Las realizaciones de ejemplo incluyen componentes combustibles y/u otros componentes del reactor fabricados de y/o conteniendo una cantidad deseada de materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo. Las realizaciones de ejemplo pueden fabricarse, conformarse, y colocarse para proporcionar efectos deseados de veneno consumible en el núcleo del reactor en localizaciones convencionales y localizaciones no convencionalmente usadas debido a la inviabilidad económica.

Los procedimientos de ejemplo incluyen el uso de componentes de la realización de ejemplo, incluyendo la determinación de localizaciones que se benefician de los efectos del veneno consumible, la fabricación de componentes de la realización de ejemplo de una cantidad deseada de materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo, la colocación de componentes de la realización de ejemplo, la exposición de los componentes de la realización de ejemplo al flujo dentro del reactor nuclear en operación, la retirada de los componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo del núcleo, y/o la recogida de los componentes de ejemplo de los productos hijos deseados producidos a partir de los materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo.

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

Se sigue una descripción detallada de realizaciones de la invención a modo de ejemplo solamente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La FIG. 1 es una realización de un conjunto combustible de ejemplo que tiene componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo.

La FIG. 2 es una ilustración de varios conjuntos de combustible de ejemplo y componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo dentro del núcleo de reactor.

La FIG. 3 es una ilustración de un núcleo de reactor que usa capas perimetrales en la realización de ejemplo.

La FIG. 4 es una ilustración de una capa perimetral de la realización de ejemplo.

La FIG. 5 es un gráfico de veneno consumible de la realización de ejemplo para conversión de masa de iridio en masa de platino con tasas de flujo más bajas.

La FIG. 6 es un gráfico de veneno consumible de la realización de ejemplo para conversión de masa de iridio en masa de platino con tasas de flujo más altas.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos de ejemplo para el uso de componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo.

### **Descripción detallada**

Se desvelan en el presente documento realizaciones ilustrativas detalladas de realizaciones de ejemplo. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos desvelados en el presente documento son meramente representativos con la finalidad de describir las realizaciones de ejemplo. Las realizaciones de ejemplo pueden, sin embargo, realizarse de muchas formas alternativas y no se deberían interpretar como limitadas solamente a las realizaciones de ejemplo expuestas en el presente documento.

Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. se pueden usar en el presente documento para describir varios elementos, estos elementos no deberían limitarse a estos términos. Estos términos se usan solamente para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse como segundo elemento y, de modo similar, un segundo elemento podría denominarse como primer elemento, sin apartarse del alcance de las realizaciones de ejemplo. Como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de los uno o más de apartados listados asociados.

Se entenderá que cuando se hace referencia a un elemento como estando "conectado", "acoplado", "emparejado", "añadido", o "fijado" a otro elemento, se puede conectar o acoplar directamente al otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios. Por el contrario, cuando se hace referencia al elemento como estando "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre elementos se deberían interpretar en una forma similar (por ejemplo, "entre" respecto a "directamente entre", "adyacente" respecto a "directamente adyacente", etc.).

La terminología usada en el presente documento tiene la finalidad de describir solamente realizaciones particulares y no se pretende que sea limitativa de las realizaciones de ejemplo. Tal como se usan en el presente documento, las formas singulares "un", "una", y "el", "la" se pretende que incluyan asimismo las formas plurales, a menos que el lenguaje explícitamente indique lo contrario. Se entenderá adicionalmente que los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye" y/o "incluyendo", cuando se usan en el presente documento, especifican la presencia de

las características, enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes establecidos, pero no descartan la presencia o adición de uno o más de otras características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

5 Se debería tomar nota también de que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/acciones indicadas pueden tener lugar fuera del orden anotado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras mostradas en sucesión pueden de hecho ejecutarse sustancialmente simultáneamente o pueden a veces ejecutarse en orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/acción implicada.

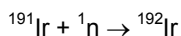
10 Las realizaciones de ejemplo pueden usar elementos no convencionales como venenos consumibles para reactores nucleares comerciales u otros y pueden producir inesperadamente elementos e isótopos de los mismos deseados cuando se usan. Los productos hijos producidos por el quemado de venenos consumibles convencionales pueden ser de bajo valor y/o químicamente/radioactivamente inseguros, pero las realizaciones de ejemplo pueden producir isótopos y elementos hijos producidos que en su lugar tienen valor y otra utilidad significativa. Por ejemplo, un veneno consumible de la realización de ejemplo hecho de iridio puede producir platino a través de la exposición a y la absorción del flujo de neutrones. El platino producido puede tener un valor incrementado y aplicaciones industriales alternativas y puede no ser peligroso y/o necesitar ser desechado, como los venenos consumibles convencionales.

15 Debido a la utilidad incrementada y no reconocida de los venenos consumibles de la realización de ejemplo y los materiales deseados producidos a partir de los mismos, los venenos consumibles de la realización de ejemplo pueden colocarse en posiciones en un reactor nuclear no convencionalmente utilizadas para venenos consumibles convencionales, debido al coste de dicha colocación y/o requisitos de desechado de los venenos consumibles convencionales. Dichas colocaciones de ejemplo pueden beneficiar las características neutrónicas de un reactor nuclear usando venenos consumibles de la realización de ejemplo y producir materiales deseados adicionales.

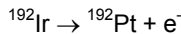
Venenos consumibles de ejemplo

25 Los venenos consumibles de la realización de ejemplo absorben apreciablemente el flujo de neutrones, incluyendo el flujo de neutrones térmicos, comúnmente hallados en reactores nucleares en operación. Después de una exposición suficiente al reactor nuclear en operación, los venenos consumibles de ejemplo se convierten en materiales que tienen sustancialmente menos secciones transversales y no absorben apreciablemente un flujo de neutrones adicional. Los materiales resultantes poseen otra utilidad o valor fuera del reactor, y pueden recogerse para dicho uso y/o valor.

30 El iridio es un metal duro resistente a la corrosión que puede exponerse directamente a las condiciones del reactor en operación y mantener suficientemente sus características geométricas de modo que se usa sin blindaje o contención dentro de un reactor nuclear en operación. El iridio natural incluye los isótopos estables iridio-191 (~37% de abundancia) e iridio-193 (~63% de abundancia). El iridio-191 tiene una sección transversal al neutrón térmico de aproximadamente 750 barns y sufrirá la siguiente reacción cuando se expone al flujo de neutrones en reactores nucleares de agua ligera convencionales:

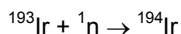


El iridio-192 producido es inestable y decae con emisión beta en platino-192 con una vida media de aproximadamente 74 días tal como:



40 El platino-192 resultante es estable y tiene una sección transversal de aproximadamente 14 barns que es menor que una décima de la sección transversal del iridio-191 como veneno consumible padre.

El otro isótopo del iridio natural, el iridio-193, tiene una sección transversal al neutrón térmico de aproximadamente 110 barns y sufrirá la siguiente reacción cuando se expone al flujo de neutrones en reactores nucleares comerciales:



45 El iridio-194 producido es inestable y decae con emisión beta en platino-194 con una vida media de aproximadamente 19 horas tal como:



El platino-194 resultante es estable y tiene una sección transversal de aproximadamente 1,1 barns, que es menor de una centésima de la sección transversal del iridio-193 veneno consumible padre de la realización de ejemplo.

50 De ese modo, el iridio natural puede funcionar como un veneno consumible, que tiene un efecto de absorción de neutrones modesto inicialmente, y que depende de la cantidad de iridio usada y del flujo del reactor en operación, teniendo un efecto de absorción de neutrones despreciable en un último punto del tiempo, una vez quemado. La cantidad y colocación del iridio natural puede ajustarse, dependiendo de los niveles y tipos de flujo encontrados en el

reactor nuclear en operación, para producir un efecto de veneno consumible deseado, incluyendo la reducción de los picos de flujo y el incremento de los márgenes de parada. La Figura 6 ilustra un veneno consumible de ejemplo —un mol de iridio-191— convertido en platino-192 a lo largo del periodo de dos años dentro de un flujo de neutrones de  $1,44E14$ , que puede ser un nivel común de flujo encontrado en reactores nucleares. Como se muestra en la Figura 6, una parte sustancial del iridio se puede convertir en platino dentro de este único ciclo de dos años. Debido a que varias plantas nucleares comerciales operan con dos años entre ciclos de recarga que permiten acceso al núcleo y/o recogida de materiales producidos en ellos, el iridio puede convertirse sustancialmente en platino durante los ciclos de operación comercial de modo que la mayor parte del platino puede recogerse del reactor durante los ciclos de recarga. Los componentes de ejemplo que pueden fabricarse a partir de iridio natural se explican a continuación.

Los isótopos de platino producidos a partir del iridio natural son estables y pueden tener un valor monetario y/o aplicación industrial significativos. El platino producido puede recogerse directamente desde cualquier componente de veneno consumible fabricado a partir de iridio natural, una vez que los isótopos radiactivos restantes hayan decaído a niveles seguros de platino no radiactivo. Alternativamente, los isótopos de platino pueden recogerse inmediatamente a partir de componentes de veneno consumible fabricados de iridio natural, antes de que el iridio-192 haya decaído a niveles de radiactividad despreciables, a través de la extracción química en instalaciones apropiadas que tienen protección adecuada contra la radiación, tales como células calientes y similares. Adicionalmente, la cantidad y colocación de iridio natural usado en un veneno consumible de la realización de ejemplo se puede seleccionar para asegurar que todo el iridio natural se convierte sustancialmente en platino al final de un ciclo de operación conocido y del enfriamiento y manejo de combustible posterior al ciclo.

Otro ejemplo de venenos consumibles puede incluir iridio-193 isotópicamente separado. Como se ha explicado anteriormente, el iridio natural es aproximadamente 63% de iridio-193, que puede separarse a través de mecanismos de separación isotópica conocidos tal como procedimientos de separación de isótopos de tipo centrífugo y de difusión en gas, por ejemplo. Los venenos consumibles resultantes pueden ser así sustancialmente puros en iridio-193.

El iridio-193 puro puede poseer características beneficiosas adicionales como un veneno consumible de la realización de ejemplo. Como se ha mostrado anteriormente, el iridio-193 tiene una sección transversal más de 100 veces mayor que el platino-194 producido y una vida media del orden de horas. Así, los componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo fabricados a partir de iridio-193 puro puede tener un efecto de veneno consumible más significativo y recogerse de los reactores nucleares como platino sustancialmente puro, no radiactivo sin requerir un tiempo de decaimiento sustancial y/o separación química.

Varias fases de materiales pueden usarse como venenos consumibles de la realización de ejemplo. Se entiende que los venenos consumibles líquidos o gaseosos, o venenos consumibles que generen productos hijos deseables líquidos o gases, pueden usarse también como venenos consumibles de la realización de ejemplo, con contención apropiada para la colocación y/o recogida del material y/o productos del mismo. Venenos consumibles de la realización de ejemplo sólidos, incluyendo el iridio natural y el iridio-193 explicados anteriormente, que producen solo productos hijos deseados sólidos incluyendo el platino, pueden conformarse y usarse directamente como componentes del veneno consumible de la realización de ejemplo, tal como se explica en la sección a continuación.

#### Componentes de veneno consumible de realización de ejemplo

Componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo fabricados a partir de iridio-193 altamente enriquecido. Los componentes de ejemplo se pueden configurar y colocar en localizaciones del reactor que se benefician de la presencia del veneno consumible, en base al conocimiento del experto en la técnica en relación a las características físicas y neutrónicas del reactor particular. Los componentes de ejemplo pueden ser intercambiables con componentes convencionalmente hallados en reactores nucleares y/o pueden ser nuevos o especialmente diseñados, en base a las propiedades materiales del veneno consumible de ejemplo usado y la configuración y necesidades del reactor particular. Por ejemplo, las placas de sujeción del haz combustible, extensiones, canales, contención de barras, tubos, barras de agua, etc., pueden todos fabricarse a partir de o contener venenos consumibles de la realización de ejemplo.

Debido a que los componentes de ejemplo pueden recogerse para productos hijos valiosos y/o utilizables, incluyendo el platino, los componentes de ejemplo pueden colocarse en áreas del reactor que pueden beneficiarse de la presencia del veneno consumible pero que no son usados convencionalmente, debido al coste de la colocación y desechado de los componentes de veneno consumible convencional. Como un ejemplo de dicho uso, los componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo se pueden usar como control de los picos locales para componentes de combustible fresco.

La FIG. 1 es una ilustración de un conjunto 100 de combustible de ejemplo que tiene varios componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo, cuyas características y efectos se explican a su vez sobre un reactor que use el haz 100. Como se muestra en la FIG. 1, el conjunto 100 de combustible de ejemplo puede incluir una pluralidad de barras 118 y 119 de combustible de longitud total y/o parcial dispuestas en un canal 120. Se pueden proporcionar separadores 115 transversales que separen y se coloquen entre las barras 118 y 119 de combustible. Las barras 110 de agua pueden proporcionar pasos axiales para el flujo de agua a través del haz 100 de ejemplo. La

placa 130 de sujeción superior y la placa 140 de sujeción inferior pueden proporcionar la conexión y componentes de manejo en ambos extremos del conjunto 100 de ejemplo.

5 Una placa 130 de sujeción superior y/o una placa 140 de sujeción inferior de la realización de ejemplo pueden estar en cualquier extremo del conjunto 100 combustible. Las placas 130/140 de sujeción de ejemplo pueden fabricarse con venenos consumibles de ejemplo. Por ejemplo, se puede usar iridio natural o iridio-193 enriquecido para fabricar la placa 130 de sujeción superior y la placa 140 de sujeción inferior de la realización de ejemplo. Debido a la localización, las placas 130/140 de sujeción de ejemplo pueden absorber neutrones y producir un efecto de veneno moderado en la parte superior e inferior del núcleo del reactor incluyendo uno o más conjuntos 100 de combustible de ejemplo.

10 La placa 130 de sujeción superior y la placa 140 de sujeción inferior de la realización de ejemplo pueden incluir varias cantidades de veneno consumible de ejemplo en un cierto número de configuraciones diferentes. Dependiendo de la cantidad de veneno consumible usado, las placas 130/140 de sujeción de ejemplo pueden convertir sustancialmente todos los productos hijos deseados y absorber menos neutrones cerca de la finalización del ciclo de operación, cuando el flujo de neutrones desde el reactor es inferior. De ese modo, particularmente al inicio del ciclo de una operación, las placas 130/140 de sujeción de ejemplo pueden reducir la cantidad del flujo de neutrones al que están sometidos los componentes del reactor en la parte superior e inferior del núcleo, tal como una cámara inferior, un equipo de secado de vapor, etc., mejorando su rendimiento e impidiendo la fragilidad provocada por la exposición prolongada al flujo de neutrones.

20 La FIG. 5 es un gráfico de un mol de iridio sometido al flujo de neutrones,  $3E13 \text{ n/cm}^2$ , típicamente encontrados en las placas 130/140 de sujeción a través del transcurso de varios años. Como se muestra en la FIG. 5, las realizaciones de ejemplo del iridio se convertirán sustancialmente en platino a lo largo de aproximadamente seis a ocho años, lo que corresponde a la vida del haz de combustible media en un núcleo de un reactor nuclear comercial. Las placas 130/140 de sujeción de la realización de ejemplo fabricadas de iridio pueden absorber adicionalmente el flujo de neutrones desde el núcleo y reducir el flujo, y los efectos negativos del mismo, a los componentes del núcleo exteriores.

25 De modo similar, cualquiera de entre el canal 120, separador 115, barras de agua 110 y vainas para las barras 118/119 de longitud completa y longitud parcial de la FIG. 1 pueden ser componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo fabricados con los venenos consumibles de la realización de ejemplo. En base a las características neutrónicas de un núcleo reactor particular, un experto en la materia puede determinar qué componentes de la realización de ejemplo son más efectivos para satisfacer los criterios de operación y/o blindaje con un veneno consumible y fabricar el haz 100 de ejemplo con una combinación apropiada de componentes de veneno consumible convencionales y de la realización de ejemplo. Los componentes de la realización de ejemplo individuales pueden configurarse físicamente y contener cantidades de veneno consumible de ejemplo suficiente para cumplir con estos criterios de operación.

30 Por ejemplo, un núcleo de reactor puede tener picos de flujo conocidos en posiciones del núcleo particulares durante la operación, y los haces 100 de combustible colocadas en esas áreas pueden tener componentes de ejemplo adicionales fabricados a partir de los venenos consumibles de ejemplo, tanto para reducir los picos como para convertir los componentes de ejemplo en los productos hijos deseados.

35 A continuación de la operación, el haz 100 de ejemplo puede retirarse del núcleo y recoger los productos hijos deseados generados a partir de los componentes del veneno consumible de la realización de ejemplo. Dicha recogida puede requerir un tiempo de decaimiento extendido y/o separación química para aislar y recoger el producto hijo deseado. Por ejemplo, si se usa iridio-193 puro para fabricar el canal 120 con un grosor y colocación dentro del núcleo suficiente para quemar todo el iridio-193 en platino-194, el conjunto 100 de ejemplo que tiene un canal 120 de la realización de ejemplo puede retirarse del núcleo, y el canal 120 de la realización de ejemplo puede retirarse del conjunto 100 y usarse en breve posteriormente como una fuente de platino-194.

40 La FIG. 2 es una ilustración de varios haces 100 de combustible y componentes del núcleo de ejemplo que se pueden fabricar o contener venenos consumibles de la realización de ejemplo. Como se muestra en la FIG. 2, uno o más haces 100 de combustible de ejemplo que contienen componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo pueden colocarse dentro de un núcleo de reactor en modo similar a la colocación de combustible convencional. Las barras de control o las hojas 160 de control cruciformes pueden colocarse en esquinas del haz alternas para absorber el flujo de neutrones y controlar la reactividad. El soporte 170 de combustible puede soportar y alinear los haces 100 dentro del núcleo.

45 Pueden colocarse una o más capas 150 axiales de la realización de ejemplo en los canales 120 exteriores de los haces 100 de combustible. Las capas 150 axiales pueden fabricarse de venenos consumibles de la realización de ejemplo, incluyendo el iridio natural y/o iridio-193 enriquecido. Las capas axiales pueden colocarse en intersecciones del haz o en otras localizaciones que se benefician de un efecto del veneno consumible en esa localización. Por ejemplo, las intersecciones que carecen de hojas 160 de control pueden quedar sometidas a picos de flujo más altos y dar como resultado un quemado irregular y márgenes de parada más bajos en el inicio de un ciclo de combustible. Las capas 150 axiales de la realización de ejemplo en estas posiciones pueden disminuir los picos y/o incrementar

los márgenes de parada, incrementando la eficiencia del combustible y la seguridad de la planta. Alternativamente, el ingeniero del núcleo puede modelizar el núcleo o predecir de otro modo posiciones que se beneficien de un efecto de veneno consumible en puntos particulares dentro de un ciclo de combustible y colocar las capas 150 axiales de la realización de ejemplo en posiciones que se beneficien de un efecto de veneno consumible de acuerdo con dichos modelos o predicciones.

Las capas 150 axiales de la realización de ejemplo pueden fabricarse adicionalmente de un grosor u otra dimensión que pueda proporcionar una cantidad deseada de efecto de veneno consumible. Debido a que las capas 150 axiales de la realización de ejemplo pueden fabricarse a partir de veneno consumible de ejemplo, iridio-193, que tiene un efecto ampliamente reducido sobre el flujo de neutrones con absorbencia incrementada del mismo, se puede usar una capa 150 axial más gruesa para posiciones que necesiten efectos de veneno consumible incrementado. Adicionalmente, debido a que las capas axiales pueden ser simples geoméricamente, el uso de iridio, que puede ser no dúctil y difícil de trabajar, puede ser más económicamente viable en las capas 150 axiales de la realización de ejemplo, en donde no se requiere un amplio mecanizado durante la fabricación.

Las capas 150 axiales de la realización de ejemplo pueden fijarse directamente a los haces 100 de combustible a través del canal 120 u otro componente combustible, o las capas 150 axiales pueden asegurarse a otros componentes del núcleo. A continuación de la exposición al reactor nuclear en operación y la reducción y/o agotamiento de su capacidad de absorción de flujo, las capas 150 axiales pueden retirarse del núcleo, potencialmente con la retirada de los haces 100 de combustible, y recogerse los productos hijos deseados generados a partir de los venenos consumibles de ejemplo en ellos, incluyendo el platino. La FIG. 6 es un gráfico de un mol de iridio sometido a flujo de neutrones,  $1,4E14$  n/cm<sup>2</sup>, típicamente encontrado en las capas 150 axiales a lo largo del transcurso de aproximadamente 800 días. Como se muestra en la FIG. 6, las capas 150 axiales de la realización de ejemplo que usan iridio-191 como un veneno consumible pasan sustancialmente a platino en aproximadamente 800 días de operación, lo que aproximadamente corresponde a un único ciclo, de dos años de combustible del reactor de agua ligera comercial.

De modo similar, cualquiera de los soportes 170 de combustible, hojas 160 de control, y/u otros componentes del núcleo no combustible pueden ser componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo fabricados a partir de venenos consumibles de la realización de ejemplo. En base a las características neutrónicas de un núcleo de reactor particular, un experto en la materia puede determinar qué componentes de la realización de ejemplo son más efectivos para cumplir los criterios de operación y/o blindaje con un veneno consumible y fabricar los componentes 150, 160, 170, etc. con una combinación apropiada de componentes de veneno consumible convencionales y de la realización de ejemplo y en dimensiones apropiadas. Los componentes de la realización de ejemplo individual pueden configurarse físicamente y contener cantidades de venenos consumibles de ejemplo suficientes para satisfacer estos criterios de operación.

La FIG. 3 es una ilustración de una sección transversal del núcleo 300 del reactor. Varios haces 100 de combustible de ejemplo y/u otros componentes del núcleo fabricados a partir de, o que contienen, venenos consumibles de la realización de ejemplo explicados anteriormente pueden incluirse en el núcleo 300 del reactor. Como se muestra en la FIG. 3, una o más capas 320 de perímetro de la realización de ejemplo que contienen componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo pueden colocarse entre los haces 100 de combustible y la pared/envolvente 310 del reactor. Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo pueden fabricarse a partir de iridio-193. Las capas 320 perimetrales pueden colocarse en localizaciones que se beneficien de un efecto de veneno consumible y/o en posiciones que blinden componentes del núcleo críticos frente al flujo de neutrones. Por ejemplo, la pared 310 del reactor puede convertirse en quebradiza a lo largo del tiempo y con exposición a altos niveles de flujo de neutrones dentro de un núcleo 300 del reactor en operación. Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo que blindan la pared 310 pueden disminuir la fragilidad inducida por neutrones, incrementando la vida y seguridad de la vasija del núcleo. Alternativamente, el ingeniero del núcleo puede modelizar el núcleo o predecir en otra forma las posiciones que se beneficien de un efecto de veneno consumible en puntos particulares dentro del ciclo de combustible y colocar las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo en posiciones que se beneficien de un efecto de veneno consumible de acuerdo con dichos modelos o predicciones.

Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo pueden fabricarse de un grosor u otra dimensión que puede proporcionar una cantidad deseada de efecto de veneno consumible. Debido a que las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo fabricadas de iridio-193, que tiene un efecto ampliamente reducido sobre el flujo de neutrones con absorbencia incrementada del mismo, puede usarse una capa 320 de perímetro más grueso para posiciones que necesiten efectos de veneno consumible incrementado, incluyendo efectos de blindaje. Adicionalmente, debido a que las capas 320 del perímetro pueden ser geoméricamente simples y el uso del iridio puede ser especialmente viable económicamente en las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo, en donde puede no requerirse un amplio mecanizado en la fabricación.

Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo puede fijarse directamente a la pared 310 y/o haces 100 de combustible, o las capas 320 del perímetro pueden asegurarse a otros componentes del núcleo. Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo pueden fabricarse en láminas similares a placas, tanto planas como fabricadas a partir de una pluralidad de barras que contienen venenos consumibles de ejemplo, por ejemplo. La FIG. 4 es una ilustración de una capa 320 de perímetro de la realización de ejemplo fabricada con barras 410 de veneno

consumible. En esta realización de ejemplo, las barras 410 de veneno consumible pueden fabricarse a partir de tubos huecos que contienen venenos consumibles de ejemplo, tal como iridio natural o enriquecido. La capa 320 de la realización de ejemplo puede incluir también barras 410 que son sólidas o una placa plana sólida. La capa 320 del perímetro puede incluir un asidero 420 asegurado a un extremo de la capa 320 para permitir la colocación de la hoja, el movimiento y/u otros manejos. Como se ha explicado con respecto a otras realizaciones de ejemplo que contienen venenos consumibles de ejemplo, las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo pueden exponerse a un reactor nuclear en operación y reducir lentamente y/o agotar su capacidad de absorción del flujo. Las capas 320 del perímetro de la realización de ejemplo pueden retirarse del núcleo y recoger los productos hijos deseados generados en ellos a partir de los venenos consumibles de ejemplo, incluyendo el platino.

#### 10 Procedimientos de ejemplo

Habiendo descrito los venenos consumibles de ejemplo y los componentes de ejemplo que contienen los mismos, se explicarán ahora los procedimientos de ejemplo de uso de los mismos. Se entiende que cualquiera de los componentes de ejemplo explicados anteriormente puede usarse con los procedimientos de ejemplo, pero los procedimientos de ejemplo no están limitados a los mismos.

15 La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra procedimientos de ejemplo. Los procedimientos de ejemplo de uso de los componentes que incluyen venenos consumibles de la realización de ejemplo incluyen la determinación de localizaciones que se beneficien de los efectos de veneno consumible, incluyendo la absorción del flujo y/o blindaje de la radiación, en la etapa S100. La determinación puede incluir una simulación de las cantidades de flujo del núcleo en base a otras características del núcleo tales como colocaciones y enriquecimientos del combustible.

20 Alternativamente, la determinación puede basarse en el conocimiento de alguien familiarizado con el núcleo o en base al rendimiento pasado del núcleo. Adicionalmente, en la etapa S100, se puede determinar una cantidad del veneno consumible de la realización de ejemplo a usar, en base a la capacidad de absorción del veneno usado, cantidad del flujo a ser absorbido, y cantidad a ser generada de producto hijo deseado. La etapa S100 puede implementarse en un dispositivo de procesamiento o calcularse por un ingeniero del núcleo.

25 En la etapa S110, pueden fabricarse los componentes de la realización de ejemplo que contienen una cantidad deseada de materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo determinada en la etapa S100. Los componentes de la realización de ejemplo pueden asemejarse cercanamente a componentes convencionales a los que pueden sustituir. Alternativamente, los componentes de la realización de ejemplo pueden tener dimensiones y/o geometrías alteradas para adaptarse a la cantidad de veneno consumible a usar tal como se ha determinado en la etapa S100. Los componentes de la realización de ejemplo pueden fabricarse totalmente a partir de materiales de veneno consumible de la realización de ejemplo o pueden incluir estos materiales, potencialmente en espacios de contención dentro de los componentes. La fabricación de realizaciones de ejemplo en la etapa S110 puede incluir procedimientos conocidos de forjado, conformado, y mecanizado en otra forma del material usado para fabricar componentes de la realización de ejemplo, incluyendo venenos consumibles de la realización de ejemplo.

35 En la etapa S120, los componentes de la realización de ejemplo fabricados en la etapa S110 se colocan dentro del núcleo en las localizaciones determinadas en la etapa S100. La colocación en la etapa S120 puede tener lugar durante una parada de combustible cuando el núcleo del reactor es accesible al final del ciclo de combustible. La colocación puede coincidir con la colocación del conjunto combustible, particularmente si los componentes de la realización de ejemplo se colocan dentro de o fijados a los conjuntos de combustible.

40 En la etapa S130, los componentes de la realización de ejemplo que contienen venenos consumibles de la realización de ejemplo pueden exponerse al flujo dentro del reactor nuclear en operación. La etapa S130 puede incluir proporcionar por parte de las realizaciones de ejemplo los efectos de veneno consumible deseados dentro del núcleo en operación y generar los productos hijos deseados como resultado de dicha exposición.

45 En la etapa S140, los componentes de veneno consumible de la realización de ejemplo pueden retirarse y/o recogerse los productos hijos deseados producidos por la exposición en la etapa S130. La retirada en la etapa S140 puede tener lugar durante una parada de combustible u otro momento en el que el núcleo del reactor es accesible, y puede tener lugar simultáneamente con la mezcla/retirada del combustible. La recogida deseada de productos hijos puede incluir permitir que los componentes de la realización de ejemplo decaigan a niveles de radiactividad seguros o la separación química de los productos deseados de otros productos indeseados y/o radiactivos.

50 Debido a que las realizaciones y procedimientos de ejemplo proporcionan efectos de veneno consumible y la generación de productos hijos deseados en posiciones y en cantidades y purezas no posibles en haces de combustible y componentes del núcleo convencionales, las realizaciones de ejemplo pueden permitir unas características neutrónicas del núcleo del reactor, un blindaje, y seguridad más favorables con costes de operación reducidos debido al valor de los productos hijos producidos.

55 Habiendo sido descritos las realizaciones y procedimientos de ejemplo, se apreciará por un experto en la materia que las realizaciones de ejemplo pueden variarse a través de una experimentación rutinaria y sin una actividad inventiva adicional. Por ejemplo, las realizaciones y procedimientos de ejemplo pueden explicarse con referencia a características y componentes convencionalmente hallados en reactores de agua ligera comerciales de Estados



Unidos para la generación de energía eléctrica; sin embargo, las realizaciones y procedimientos de ejemplo pueden ser utilizables con una variedad de diferentes tipos de reactores encontrados en todo el mundo. Las variaciones no han de ser consideradas como separaciones del alcance de las realizaciones ejemplares, y todas las dichas modificaciones que serían obvias para un experto en la materia se pretende que estén incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

5

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de operación de un reactor nuclear, comprendiendo el procedimiento:
- 5 fabricación (S110) de al menos un componente del reactor (100, 110, 115, 118, 119, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 320) de modo que al menos un componente incluya una cantidad de un veneno consumible y se configura para colocarse en una localización en el reactor nuclear;
- colocación (S120) de al menos un componente en la localización;
- exposición (S130) de al menos un componente en el reactor nuclear mientras está en operación;
- 10 retirada (S140) de al menos un componente del reactor nuclear; y
- recogida (S140) de los productos deseados desde el al menos un componente, siendo creados los productos deseados a partir de la etapa de exposición, en el que la recogida incluye al menos uno de entre permitir que los productos deseados se conviertan en estables después de la etapa de exposición y la extracción química de los productos deseados después de la etapa de retirada.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- 15 la determinación (S100) de la localización dentro del reactor nuclear para la colocación del componente de veneno consumible y la cantidad de veneno consumible a ser usada, determinación en base a al menos una de las características neutrónicas del reactor, características de blindaje radiactivo del reactor, y las características neutrónicas del veneno consumible.
3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa (S100) de determinación determina la cantidad de veneno consumible a ser usado de modo que sustancialmente todo el veneno consumible se convierta en los
- 20 productos deseados dentro del ciclo de operación del reactor nuclear.
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el reactor nuclear es un reactor nuclear comercial y en el que la etapa (S130) de exposición incluye el inicio de la generación eléctrica comercial en el reactor nuclear.
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el veneno consumible es al menos uno de entre iridio natural e iridio-193 puro y en el que los productos deseados incluyen platino.
- 25 6. Un componente de reactor consumible (100, 110, 115, 118, 119, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 320) para su uso en un reactor nuclear,
- en el que el componente de veneno consumible es al menos uno de entre una placa (130, 140) de sujeción, vaina de la barra de combustible, un tapón del extremo de la barra de combustible, tuberías, una barra (110) de agua, un separador (115), un canal (120), una barra (118, 119) de control, una hoja (160) de control, un soporte (170) de combustible, un conjunto (100) de combustible, un haz (100) de combustible, una capa (150) axial y una
- 30 capa (320) perimetral;
- en el que el componente tiene una masa y se fabrica para incluir un veneno consumible que sustancialmente se convierte a solo en platino después de ser expuesto al flujo de neutrones en la operación del reactor nuclear,
- 35 teniendo el veneno consumible una sección transversal a los neutrones al menos diez veces mayor que la del platino, y en el que el veneno consumible es iridio-193 puro.
7. El componente según la reivindicación 6, en el que el componente es al menos uno de entre una capa (150) axial fijada a un canal de un conjunto (100) de combustible y una capa (320) perimetral entre un núcleo (300) del reactor nuclear y una pared (310) de la vasija del reactor nuclear.
- 40 8. El componente (100, 110, 115, 118, 119, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 320) según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, en el que el componente se configura para colocarse en una localización dentro del reactor nuclear en base a al menos una de las características neutrónicas del reactor, características de blindaje radiactivo del reactor, y características neutrónicas del veneno consumible.
9. El componente (100, 110, 115, 118, 119, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 320) según la reivindicación 8, en el que la
- 45 masa de veneno consumible es tal que sustancialmente todo el veneno consumible se convierte en platino dentro de un ciclo de operación del reactor nuclear.

FIG. 1

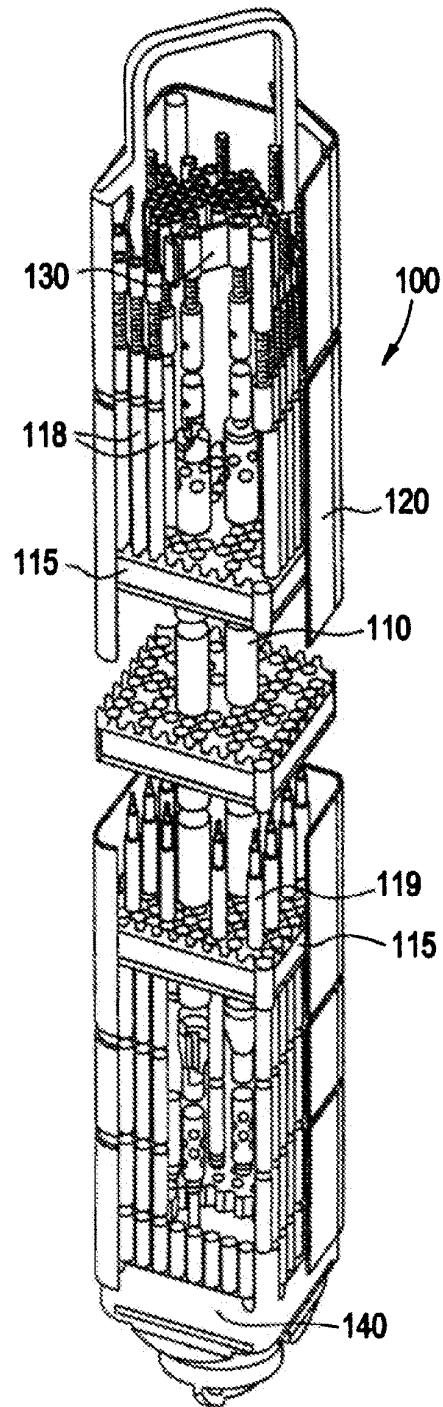


FIG. 2

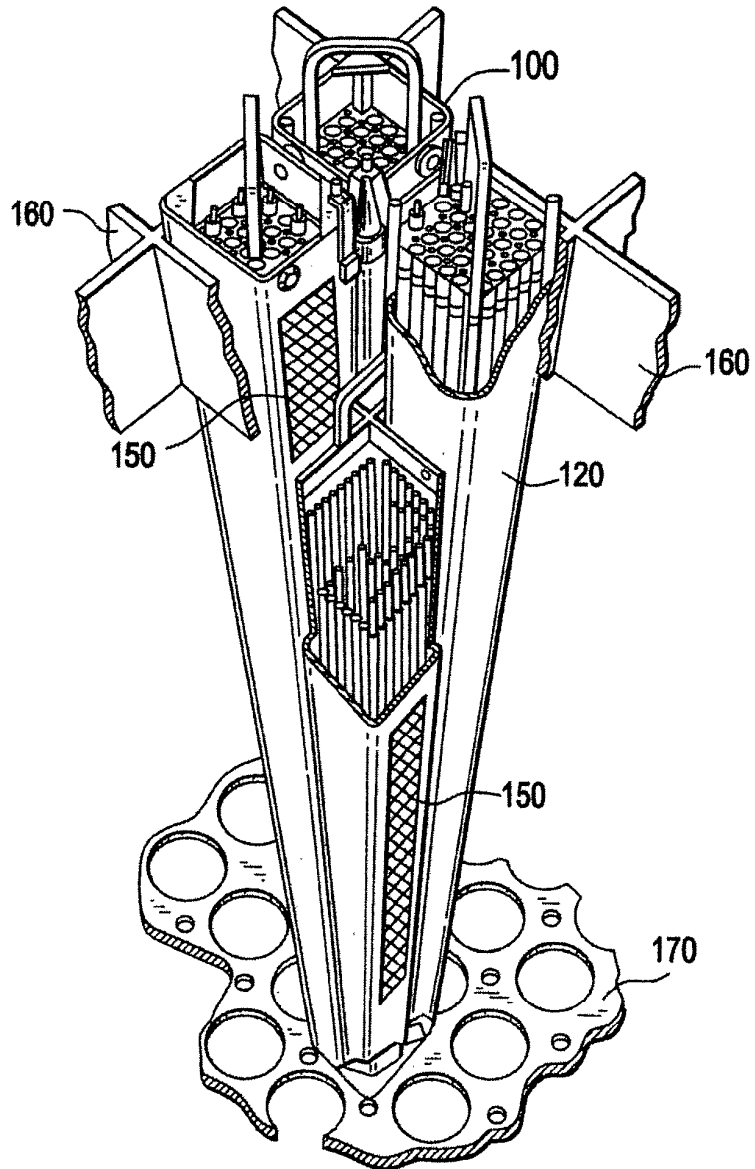


FIG. 3

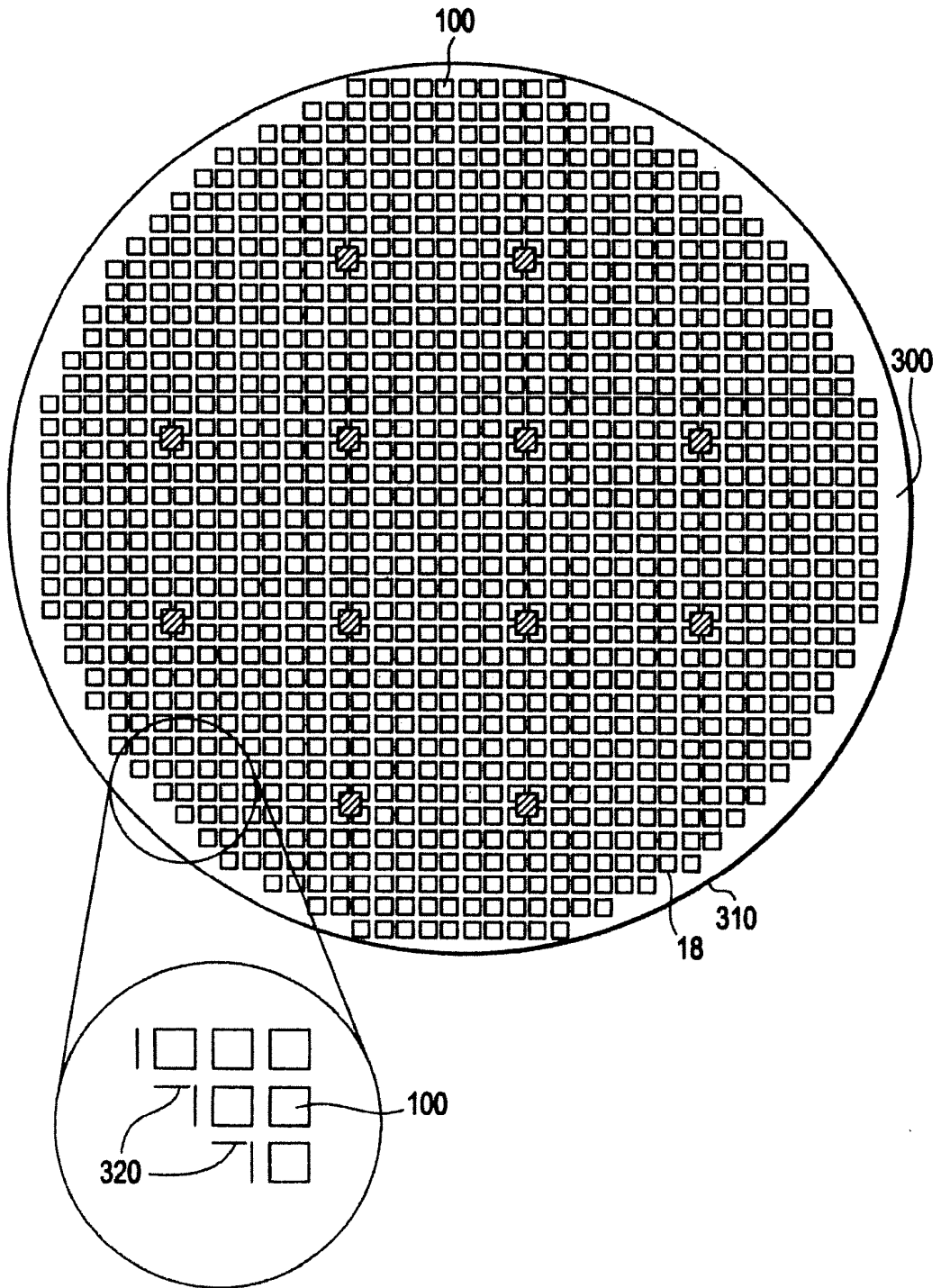


FIG. 4

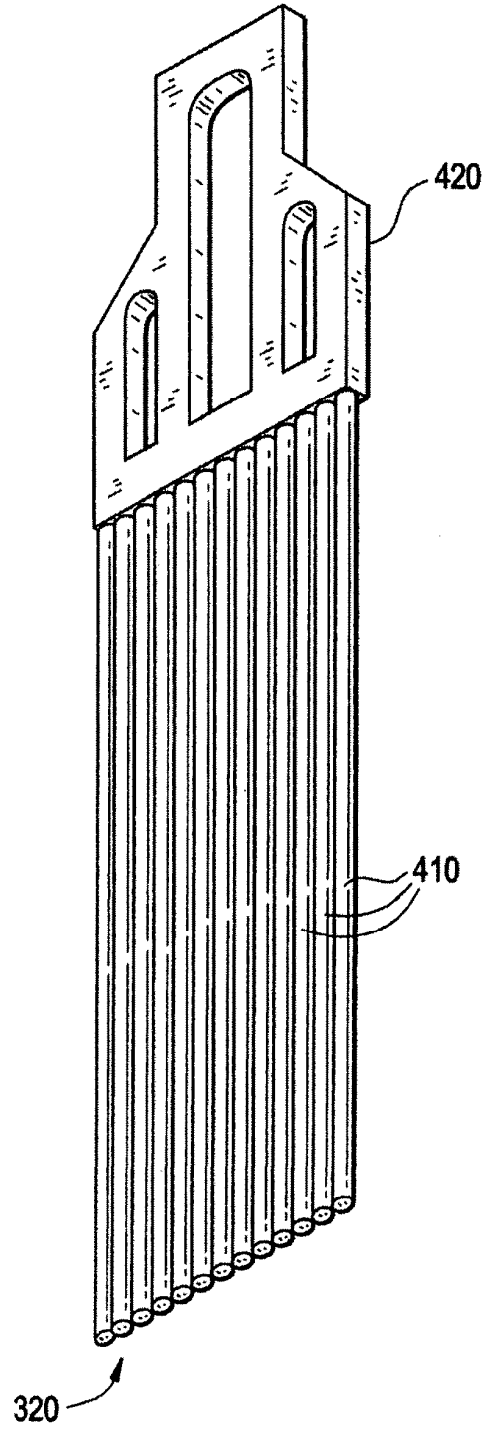


FIG. 5

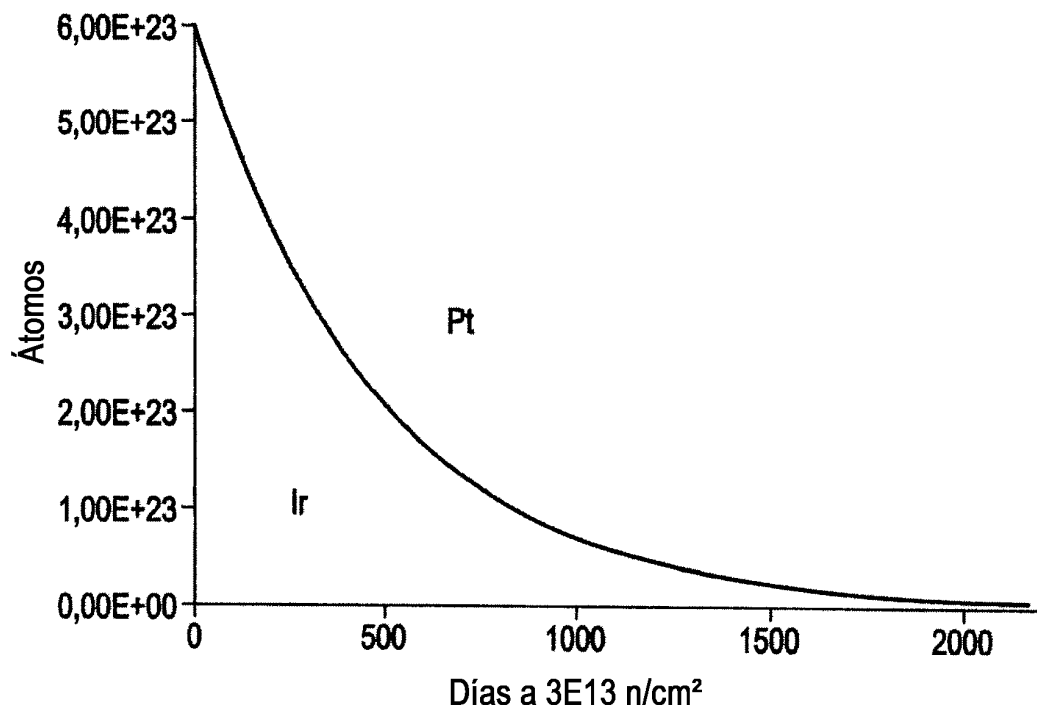
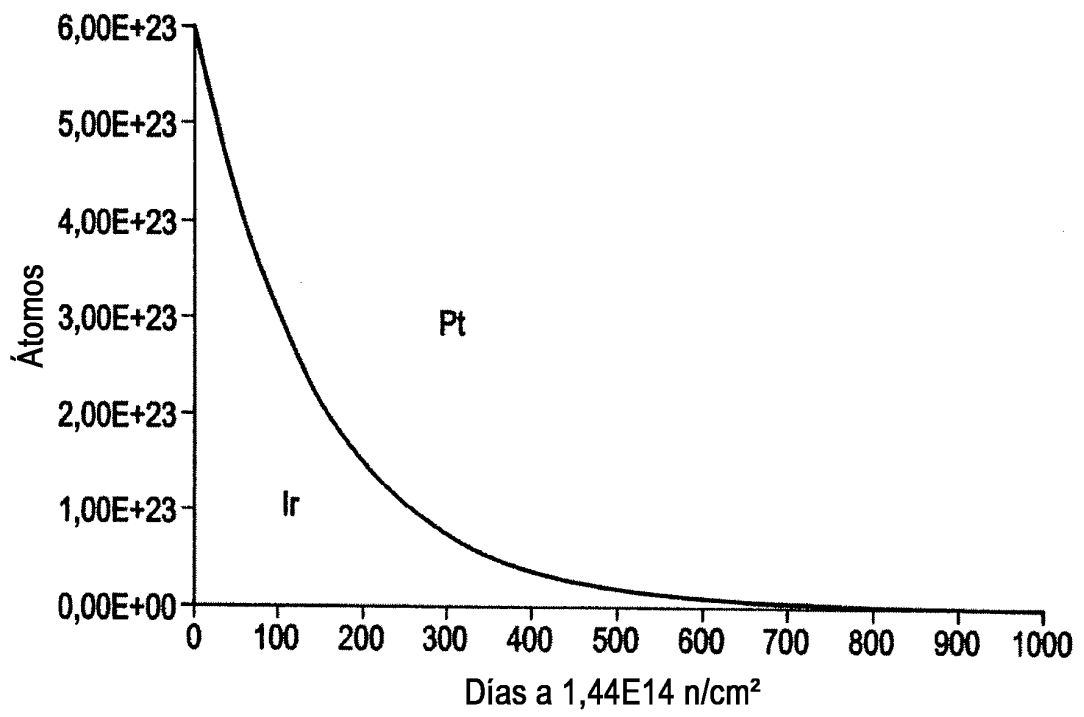


FIG. 6





**FIG. 7**

