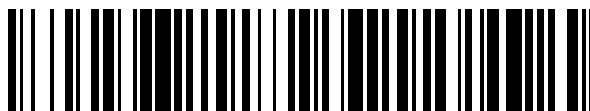


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 435 546**

51 Int. Cl.:

**G21C 1/30** (2006.01)

**G21C 3/326** (2006.01)

**G21C 3/16** (2006.01)

**G21C 3/02** (2006.01)

**G21C 3/10** (2006.01)

**G21G 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2008 E 08171452 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2073214**

54 Título: **Barras de combustible que tienen piezas de extremo con objetivo de irradiación**

30 Prioridad:

**18.12.2007 US 828**

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

**20.12.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 435 546 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

Barras de combustible que tienen piezas de extremo con objetivo de irradiación

### Antecedentes

#### Campo

- 5 Los ejemplos de realizaciones se refieren, en general, a estructuras y materiales de combustible utilizados en las centrales nucleares.

### Descripción de la técnica relacionada

10 En general, las plantas de energía nuclear incluyen un núcleo de reactor que tiene combustible dispuesto en el mismo para producir energía por fisión nuclear. Un diseño común en las plantas de energía nuclear de Estados Unidos es organizar 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. Estas barras de combustible típicamente incluyen varios elementos de unión de las barras de combustible a los componentes de montaje en varios lugares axiales de todo el conjunto.

15 El documento GB 1204351 describe un haz de combustible para su uso en un reactor nuclear, que comprende primero y segundo grupos de barras de combustible dispuestas en una matriz geométrica predeterminada que tiene cuatro lados. El primer grupo de barras comprende cuatro pares de barras, estando un par colocado a lo largo de cada lado de dicha matriz. Primera y segunda placas de unión están colocadas en los extremos opuestos de los haces de combustible, estando el primer grupo de barras conectado a la primera placa de unión y teniendo extremos que se extienden a través y más allá de la superficie exterior de la segunda placa de unión. Se proporcionan medios de bloqueo en los extremos que se extienden más allá de la segunda placa de unión para bloquear la primera y segunda placas de unión juntas con el fin de conservar ambas barras en posición.

20 El documento GB 2144899 describe un elemento de combustible nuclear que incorpora, en un extremo, un saliente de guía adaptado para localizar un número de recipientes que contienen un isótopo padre a ser irradiado por neutrones. Cuando el elemento combustible se carga en el núcleo de un reactor nuclear, los recipientes están así situados fuera de la región del núcleo que contiene el combustible, y se irradian con neutrones en la región del reflector. Por consiguiente, los recipientes tienen poco efecto sobre la reactividad del reactor.

25 El documento US 4493813 describe un dispositivo de protección de neutrones superior para un conjunto de reactor nuclear. Este dispositivo comprende al menos un recipiente parcialmente lleno con un producto absorbente de neutrones y mantenido dentro de una pared situada en la parte superior del conjunto de por lo menos una placa de separación.

### Sumario

La presente invención reside en una pieza de extremo de una barra de combustible, una barra de combustible y un haz de combustible como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

35 Ejemplos de realizaciones apuntan a una barra de combustible que tiene piezas de extremo en cada extremo que contiene objetivos especiales. Ejemplos de realización de piezas de extremo contienen materiales que se pueden convertir en los isótopos deseados cuando se exponen a flujo de neutrones en la posición de la pieza de extremo. Las piezas de extremo del ejemplo de realización pueden ser fabricadas a partir del (de los) material(es) objetivo seleccionado(s) o pueden ser huecas y contener el (los) material(es) objetivo. Piezas de extremo de un ejemplo de realización pueden aparearse con una variedad de ejemplo de realización de barras de combustible de longitud completa y/o de longitud parcial y pueden funcionar como tapones de extremo inferior y/o superior, emparejando las barras de combustible a las placas de unión superior y/o inferior.

40 Al contrario, barras de combustible de un ejemplo de realización pueden contener componentes estándar, incluyendo combustible nuclear y ser utilizables en un reactor nuclear en operación. Barras de combustible de un ejemplo de realización que tienen piezas de extremo del ejemplo de realización pueden, por lo tanto, generar una variedad de isótopos deseados en sus piezas de extremo objetivo de irradiación, mientras que al mismo tiempo funcionan como una barra de combustible convencional para proporcionar energía al núcleo operativo.

### Breve descripción de los dibujos

50 Ejemplos de realizaciones se harán más evidentes mediante la descripción, en detalle, de los dibujos adjuntos, en los que los elementos similares están representados por los mismos números de referencia, que se dan a modo de ilustración solamente y por lo tanto no limitan los ejemplos de realizaciones en el presente documento.

La figura 1 es una ilustración de un conjunto de combustible que tiene ejemplos de realización de piezas de extremo fijados a las barras de combustible.

Las figuras 2A, 2B, y 2C son ilustraciones de ejemplos de realización de barras de combustible que incluyen ejemplos de realización de piezas de extremo.

La figura 3 es una ilustración detallada de un ejemplo de realización de la pieza de extremo.

La figura 4 es una ilustración detallada de otro ejemplo de realización de la pieza de extremo.

5 La figura 5 es una ilustración detallada de otro ejemplo de realización de la pieza de extremo.

### **Descripción detallada**

En el presente documento se divulgan realizaciones detalladas ilustrativas de los ejemplos de realización. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en el presente documento son meramente representativos para fines de descripción de ejemplos de realización. Los ejemplos de realización pueden, sin embargo, realizarse en muchas formas alternativas y no se deben interpretar como limitados sólo a los ejemplos de realización establecidos en este documento.

Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. pueden usarse en este documento para describir diversos elementos, estos elementos no deberían ser limitados por estos términos. Estos términos sólo se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento se podría denominar un primer elemento, sin apartarse del ámbito de aplicación de ejemplos de realización. Como se usa en este documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

Se entenderá que cuando un elemento se denomina como estando "conectado", "acoplado", "encajado", "adjuntado", o "fijado" a otro elemento, puede estar conectado directamente o acoplado al otro elemento o pueden estar presentes elementos que intervienen. En contraste, cuando un elemento se denomina como "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre los elementos deben ser interpretadas de manera similar (por ejemplo, "entre" versus "directamente entre", "adyacente" versus "justo adyacente", etc.)

La terminología usada en este documento es con el propósito solamente de describir realizaciones particulares y no se pretende que sea limitativa de ejemplos de realización. En la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el/la" pretenden incluir las formas plurales, así, a menos que el lenguaje indique explícitamente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usa en este documento, especifica la presencia de características, enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes, y/o grupos de los mismos.

También hay que señalar que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos indicados pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras.

Por ejemplo, dos figuras que se muestran en sucesión pueden, de hecho, ser ejecutadas sustancialmente al mismo tiempo o pueden a veces ser ejecutadas en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos involucrados.

35 Como se muestra en la figura 1, un conjunto de combustible 10 de un reactor nuclear, tal como un BWR, puede incluir un canal exterior 12 que rodea a una placa de unión superior 14 y una placa de unión inferior 16. Una pluralidad de barras de combustible de longitud completa 18 y/o barras de combustible de longitud parcial 19 puede ser dispuesta en una matriz dentro del conjunto de combustible 10 y pase a través de una pluralidad de espaciadores 20. Una pieza de extremo superior 120 y/o una pieza de extremo inferior 130 del ejemplo de realización pueden unir las barras de combustible 18 y 19 a las placas de unión superior e inferior 14 y 16, sólo uniéndose la pieza de extremo inferior 130 en el caso de barras de longitud parcial 19. Las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden acoplarse con, y en el caso de las barras de unión, pasar a través de, la placas de unión superior e inferior 14 y 16, respectivamente, y pueden asegurar las barras de combustible 18 o 19 axialmente en el conjunto de combustible 10.

45 Las figuras 2A, 2B, y 2C ilustran una barra de combustible de longitud completa 18, de barra de combustible de longitud parcial 19, y una barra segmentada 100 de un ejemplo de realización, respectivamente, teniendo cada barra de combustible dos piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización en cada extremo de las barras de combustible 18, 19, y 100 del ejemplo de realización. Aparte de piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización, las barras de combustible 18 y 19 pueden contener elementos convencionales que se encuentran en una variedad de barras de combustible, incluyendo los elementos de combustible 22 y el revestimiento. Por ejemplo, la barra de combustible 18 del ejemplo de realización que se muestra en la figura 2A puede ser una barra de combustible de longitud completa que se encuentra convencionalmente en un conjunto de combustible BWR, con la excepción las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización. Una barra de combustible 19 de un ejemplo de realización que se muestra en la figura 2B puede ser una barra de combustible de longitud parcial que se encuentra convencionalmente en un conjunto de combustible BWR, con la excepción de las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización. La barra de combustible de longitud completa 18 que se muestra sombreada en la

figura 2B para ilustrar la longitud parcial de la barra de combustible de longitud parcial 19. En la barra de combustible de longitud parcial 19, la pieza de extremo 130 del ejemplo de realización puede unirse con una placa de unión inferior (no mostrada) y la pieza de extremo 120 del ejemplo de realización no puede unirse con cualquier cosa, dado que la barra de combustible de longitud parcial 19 puede terminar a la mitad del haz. La pieza de extremo 130 del ejemplo de realización puede ser roscado o tener otros elementos de acoplamiento adicionales para asegurar la barra de combustible de longitud parcial 19 con la placa de unión inferior, debido a que la barra de combustible de longitud parcial 19 no puede unirse al conjunto de pieza de extremo superior 120 del ejemplo de realización. La barra de combustible 100 del ejemplo de realización se muestra en la figura 2C puede ser segmentada, con varios segmentos de barra en unión amovibles en puntos de conexión 103, como se describe en la solicitud relacionada 11/002.677 y la solicitud US20070987160, presentadas el 28 de noviembre de 2007, titulada "Diseños de haces de combustible segmentados que usan placas separadoras fijas". Alternativamente, las barras de combustible utilizadas en los PWR o reactores de tipo CANDU pueden ser utilizadas en conjunción con las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización.

Las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden ser fabricadas a partir de o contienen isótopos, tales como isótopos de cadmio, cobalto, iridio, níquel, talio, y tulio, que pueden ser convertidos en los isótopos deseados cuando se exponen a condiciones de operación en un núcleo de reactor nuclear. Isótopos de ejemplo tienen secciones transversales nucleares sustanciales y cambian más fácilmente en presencia de un flujo de neutrones, en contraposición a los materiales convencionales utilizados para fabricar tapones de extremo superior e inferior, que pueden ser seleccionados por su no-interactividad con el flujo de neutrones. Por ejemplo, piezas de los extremos se pueden fabricar de iridio-191 y/o de cobalto-59 o dichos isótopos se pueden colocar en piezas de extremo 120 y 130 de ejemplo. El flujo de neutrones en el núcleo en las posiciones de las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización puede convertir el iridio-191 en iridio-192, que puede decaer en platino-192 estable, un material relativamente escaso y costoso útil en una variedad de tecnologías emergentes. Del mismo modo, el cobalto-59 puede convertirse en cobalto-60, útil y muy solicitado para el tratamiento del cáncer, en las mismas condiciones.

Varios otros isótopos son capaces de ser producidos en las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización. Además, debido a que las piezas de extremo 120 y/o 130 del ejemplo de realización pueden ser colocadas en las posiciones dentro del núcleo con los niveles únicos de flujo de neutrones, por ejemplo, en los extremos del núcleo con perfiles de flujo más bajos y más constantes, isótopos con vidas medias más cortas o secciones transversales más altas pueden estar expuestos a niveles de flujo más adecuados a la producción de materiales deseables a partir de estos isótopos.

Tapones de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización se muestran en las figuras 2A, 2B, y 2C en forma de tapones de extremo superior e inferior, respectivamente, que pueden conectarse con placas de unión superior e inferior. En este ejemplo, las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden reemplazar tapones de extremo superior e inferior convencionales en una variedad de diseños conocidos de barras de combustible. Las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden tener una forma generalmente en una forma cónica para aparearse con las placas de unión superior y/o inferior y aseguran las barras de combustible 18, 19 y 100 del ejemplo de realización a las placas de unión inferior y/o superior.

Alternativamente, las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden estar conformadas como tapones no cónicos que no se conectan con placas de unión. Por ejemplo, si la barra de combustible 100 del ejemplo de realización es una barra de longitud parcial, una pieza de extremo superior 120 del ejemplo de realización se puede extender desde el extremo de la barra de combustible de longitud parcial sin necesidad de conectarse a nada.

Las piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo de realización pueden unirse con barras de combustible 100 del ejemplo de realización en una variedad de maneras. Por ejemplo, piezas de extremo 120 y 130 del ejemplo pueden estar soldadas directamente a las barras de combustible del ejemplo de realización o ser acopladas de forma amovible a las barras de combustible del ejemplo de realización por un agujero de tornillo y rosca, una espiga y el receptor, u otro elemento de unión eficaz. Las piezas de extremos 120 y 130 del ejemplo pueden acoplarse y/o ser soldadas a ras con las barras de combustible del ejemplo de realización de manera que presenten un diámetro exterior continuo a lo largo de las barras de combustible del ejemplo de realización y reduce o previene la captura de residuos entre las piezas de extremo del ejemplo de realización y las barras de combustible del ejemplo.

Como se muestra en la figura 3, una pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede ser generalmente sólida y rígida. La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede incluir un elemento de conexión 210. El elemento de conexión 210 se muestra como una parte roscada en la figura 3 que se acopla con un agujero roscado en una barra de combustible del ejemplo de realización para fijar de forma amovible la pieza de extremo 200 y la barra de combustible. La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede incluir un ahusamiento 220 configurado para encajar en una placa de unión como se discutió anteriormente. El cono 200 puede ser además conformado para recibir un resorte de expansión (no mostrado) que se coloca entre la pieza de extremo 200 del ejemplo y la placa de unión y permite pequeña expansión y contracción axial de las barras de combustible del ejemplo de realización en relación con las placas de unión.

La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede estar formado de un material objetivo que es sólido y rígido, de tal manera que la pieza de extremo 200 es el objetivo y todavía funciona como una pieza de extremo para la conexión potencial de placas de unión superior o inferior. Por ejemplo, la pieza del extremo 200 puede estar formada enteramente de Iridio-191.

5 De acuerdo con la invención, la pieza de extremo 200 se puede chapar o revestir con material de revestimiento no reactivo, rígido 230, tal como níquel. La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede fabricarse de un material menos rígido y/o menos fácil de manejar, tales como cobalto-59, por ejemplo, cuando el material de revestimiento 230 está presente. De esta manera, el material de revestimiento 230 puede actuar como una contención rígida para la pieza del extremo 200 del ejemplo de realización.

10 La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede incluir además una serie de indentaciones 250 que forman, por ejemplo, una sección transversal de forma hexagonal en una base con el fin de facilitar la manipulación, la conexión, y el desmantelamiento de piezas de extremo del ejemplo. La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede incluir además una indicación 215 que identifica a la pieza de extremo 200 y cualquier objetivo o isótopo producto presente en el mismo. La indicación 215 se puede imprimir directamente en la pieza de extremo  
15 200 del ejemplo o se puede fijar otra forma a la pieza de extremo 200.

La pieza de extremo 200 del ejemplo de realización se puede variar de varias maneras. Por ejemplo, ejemplo, la pieza de extremo 200 no puede ser afilada o formada para caber en una placa de unión superior o inferior. Del mismo modo, la pieza de extremo 200 del ejemplo de realización puede ser utilizada en cualquiera de una posición superior o inferior en una barra de combustible del ejemplo de realización que incluye la pieza de extremo 200 del  
20 ejemplo. Además, el elemento de conexión 210 puede tomar una variedad de formas, tales como receptor de tipo de bayoneta, junta de cuña, o clavija a presión, con el fin de conectar de forma amovible la pieza de extremo 200 del ejemplo de realización a una variedad de potenciales barras de combustible del ejemplo de realización. El elemento de conexión 210 puede estar, alternativamente, ausente, y la pieza de extremo del ejemplo de realización puede ser soldada directamente a las barras de combustible del ejemplo de realización.

25 Otra pieza de extremo 300 del ejemplo de realización se muestra en detalle en la figura 4. La pieza de extremo 300 del ejemplo de realización puede incluir varios elementos redundantes con la pieza de extremo 200 del ejemplo de realización en la figura 3, cuya descripción se omite. La pieza de extremo 300 del ejemplo de realización puede incluir un extremo roscado, no ahusado 320 que es más largo que el extremo cónico 220 de la pieza de extremo 200 del ejemplo de realización. El extremo más largo 320 puede incluir roscas u otros medios de sujeción y ser  
30 adecuado para unir rigidamente una pieza de extremo 300 del ejemplo de realización a una placa de unión superior (elemento 14 en la figura 1). Debido a la mayor longitud, la pieza de extremo 300 del ejemplo de realización puede pasar a través de una placa de unión superior y permitir una barra de combustible del ejemplo de realización a la que se une para actuar como una barra de unión. Esto es, el extremo roscado más largo 320 puede permitir que las barras de combustible del ejemplo de realización que lo incluyen actúen como lo hacen las barras de acoplamiento  
35 en conjuntos de combustible convencionales, lo que permite el acceso y la manipulación de conjuntos de combustible de ejemplo que contienen las barras de unión.

Otra pieza de extremo 400 del ejemplo de realización se muestra en detalle en la figura 5. Como se muestra en la figura 5, la pieza de extremo 400 del ejemplo puede incluir un alojamiento 440 que es hueco y puede recibir y contener uno o más objetivos de irradiación. La pieza de extremo 400 del ejemplo de realización puede fabricarse de un material rígido, no reactivo que mantiene sustancialmente sus propiedades nucleares cuando se expone a condiciones de operación dentro de un reactor nuclear, incluyendo, por ejemplo, una aleación de circonio y/o  
40 aluminio.

La carcasa 440 puede estar conformada con el fin de recibir los objetivos de irradiación y conservar la fuerza y la capacidad de contención de pieza de extremo 400 del ejemplo. Objetivos de irradiación sólidos, líquidos, o gaseosos se pueden colocar directamente en la carcasa 440 durante la fabricación de la pieza de extremo 400 del ejemplo. Alternativamente, un contenedor adicional 460 puede mantener objetivos de irradiación deseados y ser colocado dentro de la carcasa 440. El contenedor 460 puede ser un recipiente descrito en la solicitud 11/002.677. Múltiples recipientes 460 se pueden colocar dentro de la carcasa 440 con el fin de utilizar diferentes tipos de objetivos de irradiación individualmente contenidos sin mezclar los diferentes objetivos. Cada recipiente 460 puede incluir una  
50 indicación del contenedor 461 que identifica el contenido de los recipientes individuales 460. Alternativamente, la carcasa 440 puede incluir una o más láminas o tapas 470 rigidamente fijadas a la pieza de extremo 400 del ejemplo que compartimentan la carcasa 440. De esta manera, múltiples objetivos de irradiación dentro de la carcasa 440 pueden estar separados por las láminas o tapas 470.

La pieza de extremo 400 del ejemplo de realización puede incluir indentaciones (o hexágonos) 450 como en otras realizaciones. Los hexágonos 450 pueden ayudar aún más durante el desmantelamiento de la pieza de extremo 400 de ejemplo con el fin de recolectar objetivos de irradiación contenidos dentro de la carcasa 440, proporcionando una torsión de rotura inferior en puntos específicos para acceder a la carcasa 440. Una indicación 415 puede estar unida o grabada en un exterior de las piezas de extremo 400 del ejemplo de realización e indicar qué objetivo(s) están contenidos en una carcasa 440.

- Como se muestra en la figura 5, la pieza de extremo del ejemplo de realización puede incluir un extremo roscado 420 que puede atornillarse directamente en placas de unión inferiores. Dichos extremos roscados 420 y las piezas de extremo del ejemplo realización que tienen extremos roscados son utilizables en combinación con barras de unión utilizadas para levantar y mover los haces de combustible para realizar su conexión rígida con las mismas.
- 5 Aunque la pieza de extremo 400 del ejemplo de realización se muestra con una pieza de extremo 410 de estilo receptor de encaje a presión y el extremo roscado 420 diferente de otras formas de ejemplo de realización, se entiende que cualquier elemento de acoplamiento y/o la configuración final que se discutió anteriormente se puede usar en combinación con la pieza de extremo 300 del ejemplo.
- 10 Aunque las piezas de extremo 200, 300, y 400 del ejemplo de realización han sido discutidas por separado, se entenderá que las características de un ejemplo de realización se pueden usar en combinación con otros ejemplos de realizaciones. Por ejemplo, un revestimiento que se muestra en un ejemplo de realización puede ser utilizado en otro ejemplo de realización que carece de un revestimiento, pero que tiene una carcasa. Del mismo modo, los materiales de fabricación y los objetivos de irradiación se pueden utilizar en combinaciones alternativas a través de ejemplos de realización. Del mismo modo, carcasas y revestimientos se pueden usar en las piezas de extremo del
- 15 ejemplo de realización que se utilizan como piezas de extremo inferior y/o superior. Además, las piezas de extremo del ejemplo de realización que tienen rosca pueden ser sustituidas con otros elementos del ejemplo de realización que tiene piezas de extremo afiladas.
- 20 Debido a que las piezas de extremo y las barras de combustible del ejemplo de realización, proporcionan la colocación del objetivo de irradiación en las posiciones que no son posibles en las barras de combustible convencionales, los ejemplos de realización pueden permitir la irradiación única y la generación de un objetivo de irradiación. Por ejemplo, la colocación de los objetivos de irradiación en las áreas de flujo más bajas y/o constantes en los extremos del núcleo de un reactor puede permitir la conversión exitosa y la cosecha de los isótopos con vidas medias más cortas o cuya cadena de desintegración incluye elementos con secciones transversales mayores que pueden ser destruidos en los lugares de flujo más alto.
- 25 Por lo tanto, con los ejemplos de realizaciones que se describen, se apreciará por un experto en la materia que los ejemplos de realización se pueden variar a través de la experimentación de rutina. El alcance de la invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Una pieza de extremo de una barra de combustible (200, 300, 400) que comprende:
- 5 al menos un objetivo de irradiación no fisionable que tiene propiedades nucleares que cambian sustancialmente cuando se expone a un flujo de neutrones en un reactor nuclear en operación;
- un elemento de conexión (210) configurado para unir la pieza de extremo (200, 300, 400) a un extremo axial de una barra de combustible nuclear (100); y **caracterizada por**
- 10 un material (230) de chapado de la al menos una pieza de extremo (200, 300, 400), estando el material (230) configurado para proporcionar una contención radiactiva a la al menos una pieza de extremo (200, 300, 400).
2. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el elemento de conexión (210) está configurado para unir de forma amovible la al menos una pieza de extremo (200, 300, 400) al extremo axial de la barra de combustible (100).
3. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en la que la al menos una pieza de extremo (400) incluye además una carcasa (440) contenida enteramente dentro de la al menos una pieza de extremo (400), estando la carcasa (440) configurada para recibir y contener el al menos un objetivo de irradiación no fisionable.
- 15 4. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la carcasa (440) incluye al menos una estructura de contención (460) dentro de la carcasa (440) configurada para proporcionar una doble contención a uno del al menos un objetivo irradiación no fisionable.
- 20 5. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la al menos una estructura de contención (460) dentro de la carcasa (400) incluye una indicación (461) en el contenedor que indica al menos el contenido de la al menos una estructura de contención (460).
- 25 6. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la carcasa (440) incluye al menos una lámina (470) rígidamente fijada a la pieza de extremo (400) y que forma compartimentos en la carcasa (440).
7. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la al menos una pieza de extremo (400) incluye además al menos una indentación exterior (415) que marca y que facilita la rotura de la pieza de extremo (400) durante el desmontaje.
- 30 8. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la al menos una pieza de extremo (400) incluye además un extremo roscado (420) configurado para atornillarse en una de una placa de unión superior (14) y una placa de unión inferior (16 ) con el fin de unir rígidamente una barra de combustible nuclear (100) y una de la placa de unión superior (16) e inferior (14) a través de la al menos una pieza de extremo (400).
- 35 9. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 8, en la que la al menos una pieza de extremo (400) se extiende a través de la placa de unión superior (14) para permitir que la barra de combustible nuclear (100) actúe como una barra de unión.
- 40 10. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la al menos una pieza de extremo (200) incluye además una indicación exterior (215) que indica al menos el al menos un objetivo de irradiación no fisionable de la al menos una pieza de extremo (200).
11. Pieza de extremo de una barra de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el objetivo de irradiación es uno de iridio-191 y cobalto-59.
12. Una barra de combustible (100) que comprende:
- al menos un elemento de combustible (22);
- 45 un revestimiento que contiene el al menos un elemento de combustible (22); y
- al menos una pieza de extremo (200, 300, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
13. Un haz de combustible que comprende:
- una placa de unión superior (14);
- una placa de unión inferior (16);

una pluralidad de barras de combustible nuclear (100) dispuesta axialmente entre la placa de unión superior y la placa de unión inferior (14) y (16); y

5 una pluralidad de piezas de extremo (200, 300, 400) de la barra de combustible nuclear, cada una de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, y en la que cada pieza de extremo de la barra de combustible nuclear (200, 300, 400) une una barra de combustible nuclear de la pluralidad de barras de combustible nuclear a una de la placa de unión superior (14) y la placa de unión inferior (16).



FIG. 1

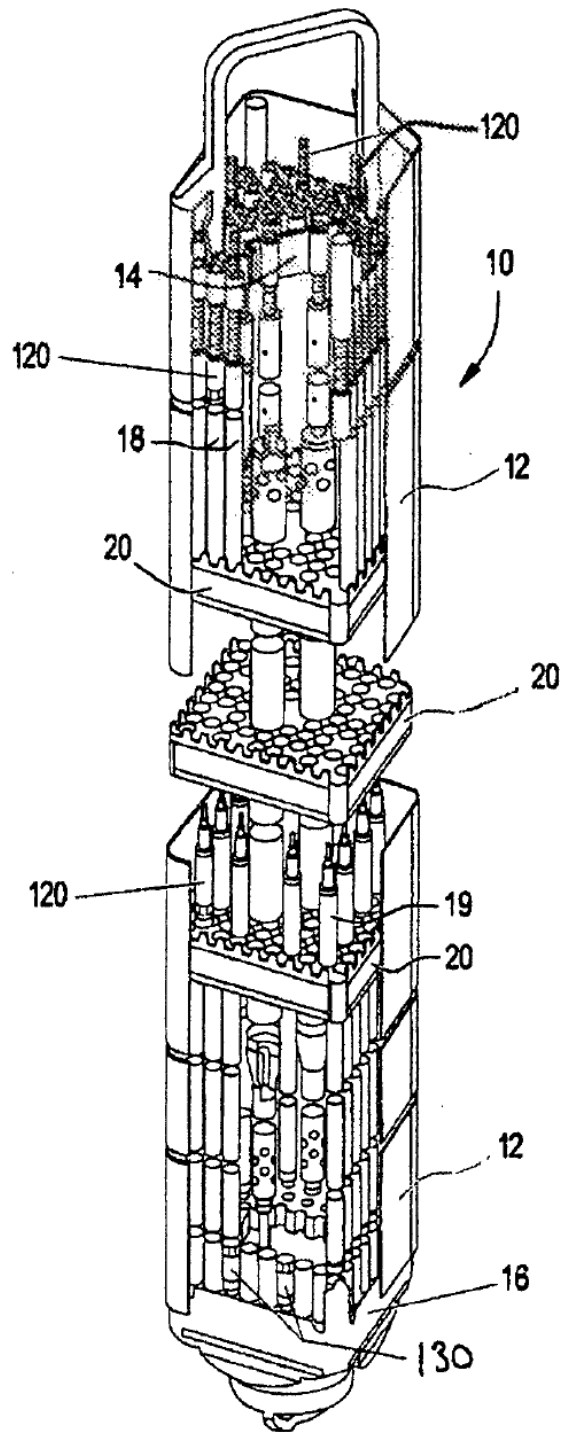


FIG. 2A

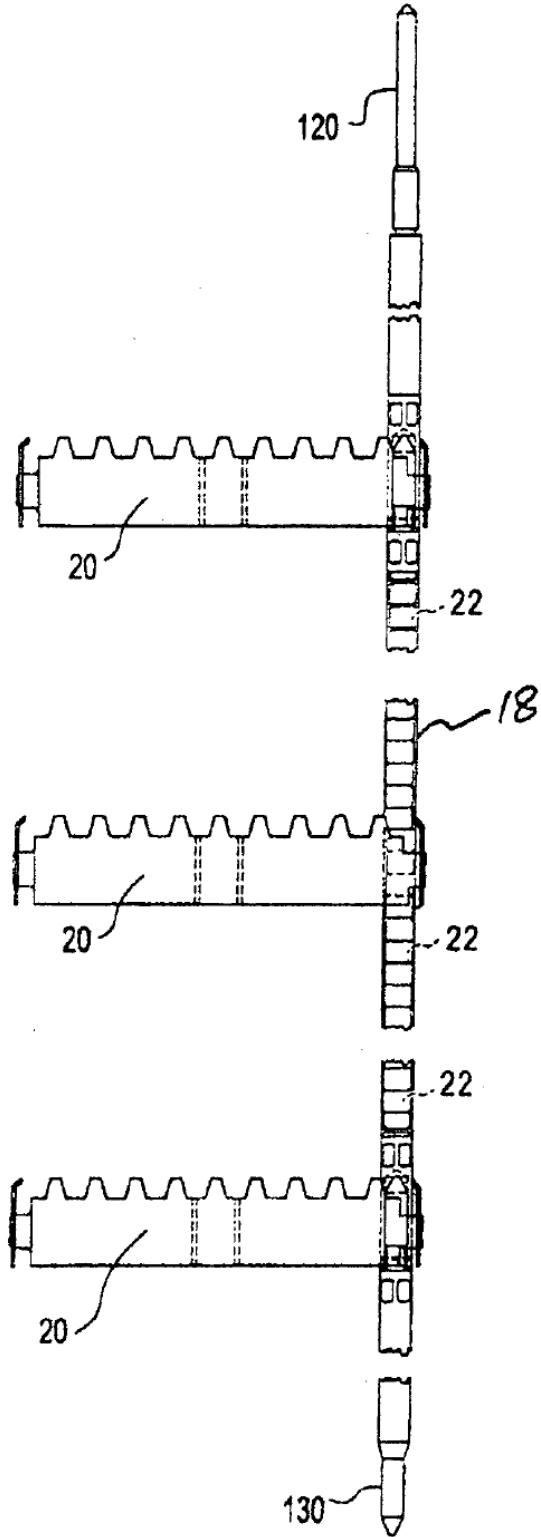


FIG. 2B

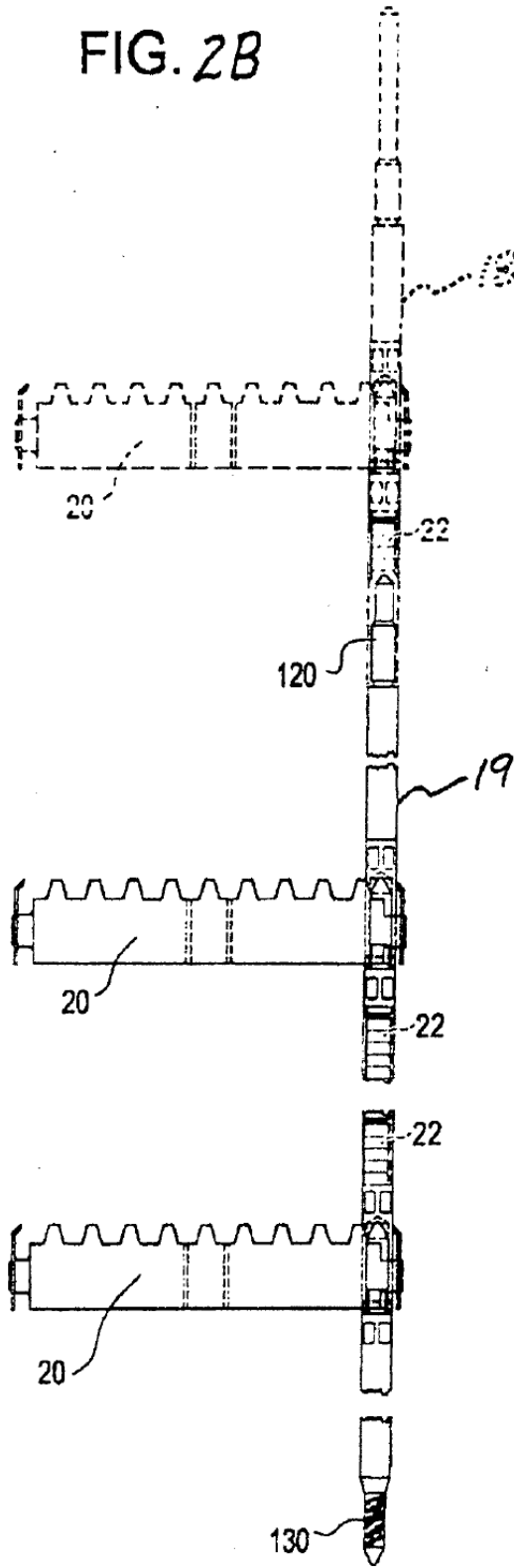
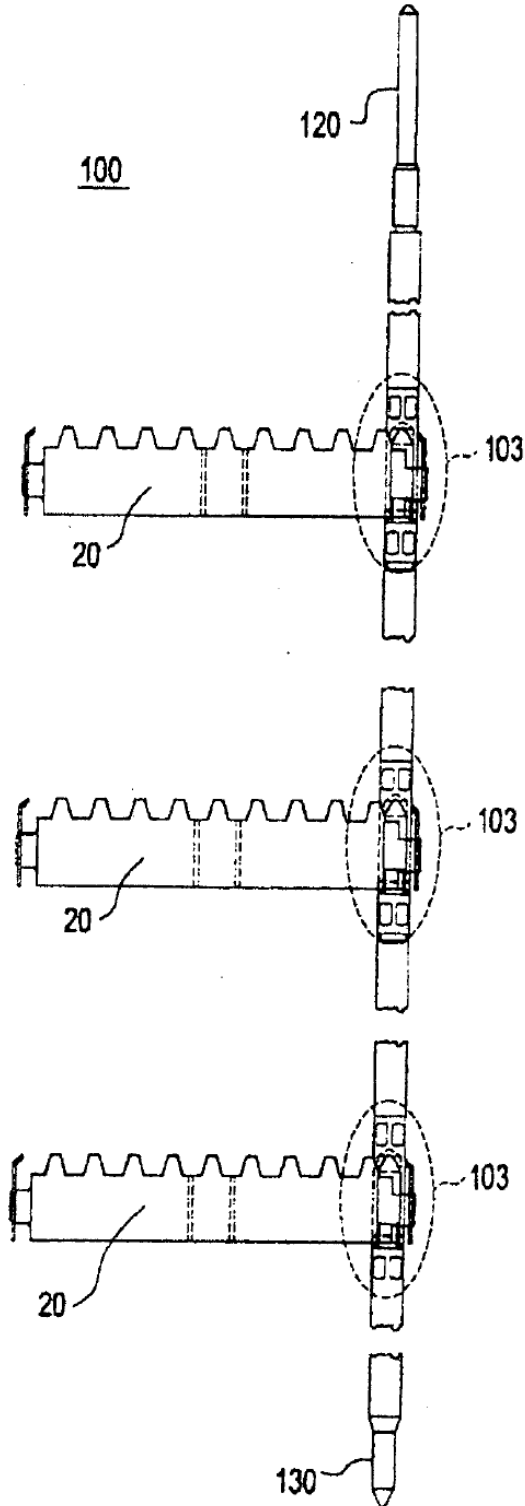


FIG. 2C



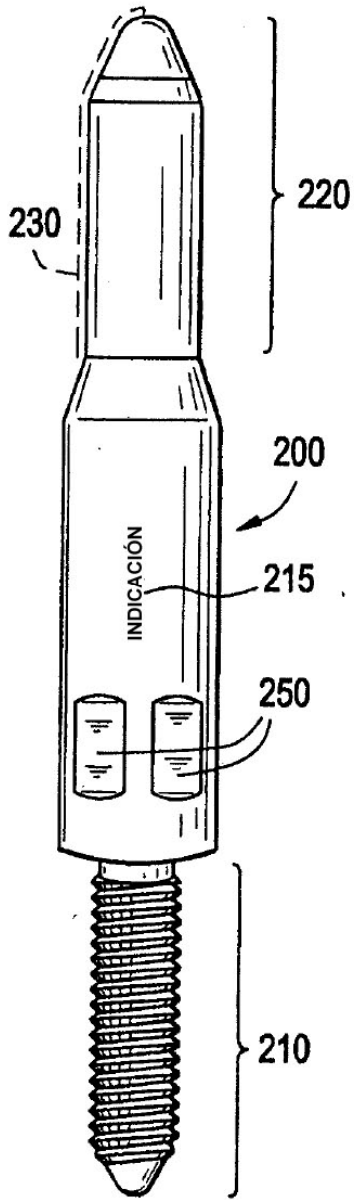


FIG. 3

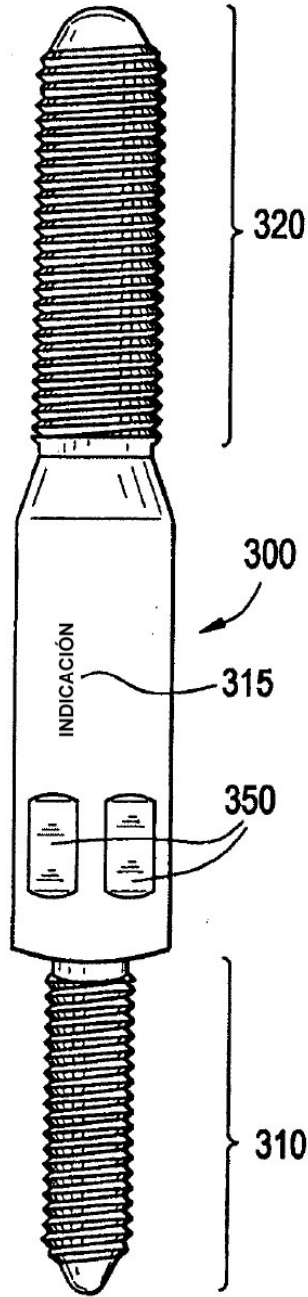


FIG. 4

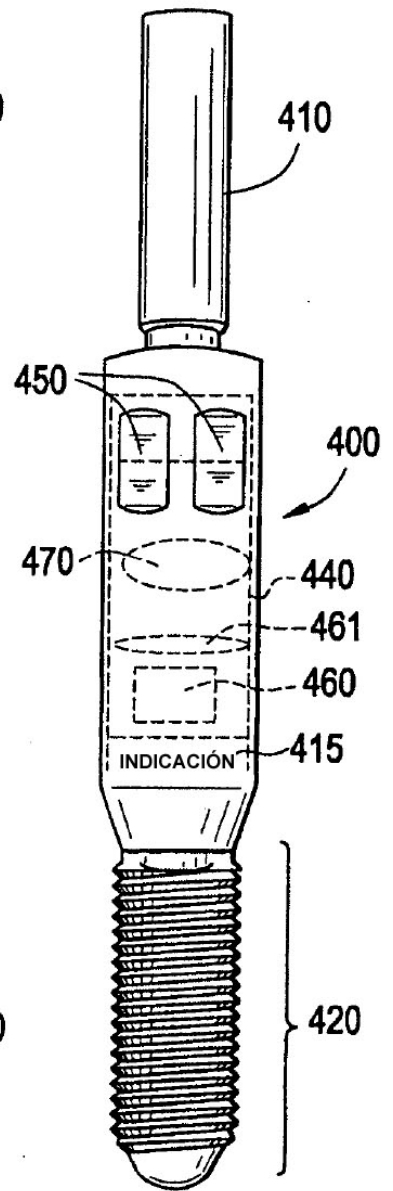


FIG. 5