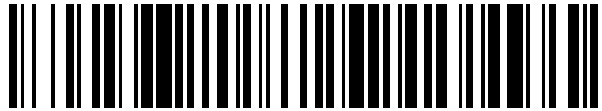


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 013**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/18**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2008 E 08169769 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2065896**

54 Título: **Conjunto de combustible nuclear con barra de combustible que utiliza un elemento separador interno**

30 Prioridad:

**28.11.2007 US 987159**

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

**06.04.2015**

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  
SMITH, DAVID GREY**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 533 013 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

Conjunto de combustible nuclear con barra de combustible que utiliza un elemento separador interno

### Antecedentes

#### Campo

- 5 Las realizaciones ejemplares se refieren, en general, a estructuras de combustible utilizadas en las centrales de energía nuclear y procedimientos para el uso de estructuras de combustible.

#### Descripción de la técnica relacionada

10 En general, las plantas de energía de energía nuclear incluyen un núcleo de reactor que tiene combustible dispuesto en su interior para producir energía por fisión nuclear. Los elementos de combustible pueden tener una variedad de configuraciones y / o características, en base a las condiciones de operación de la planta de energía nuclear específica. Por ejemplar, el tamaño, la colocación con respecto al núcleo, la colocación con relación a otro combustible, el enriquecimiento, el tipo de combustible elemental, y la forma del combustible afectan todos ellos a los parámetros de funcionamiento de la planta. Un diseño común en las plantas de energía nuclear de Estados Unidos es el disponer el combustible en una pluralidad de barras de combustible revestidas sujetas unas a las otras como conjuntos de combustibles situados dentro del núcleo del reactor.

15 Como se muestra en la figura 1, un haz de combustible convencional 10 de un reactor nuclear, tal como un BWR, puede incluir un canal exterior 12 que rodea a una placa de anclaje superior 14 y a una placa de anclaje inferior 16. Una pluralidad de barras de combustible de longitud completa 18 y / o barras de combustible de longitud parcial 19 pueden estar dispuestas en una matriz dentro del haz de combustible 10 y pasar a través de una pluralidad de separadores (también conocidos como rejillas separadoras) 20 separadas verticalmente unas de las otras y que mantienen a las barras 18, 19 en la matriz dada de las mismas.

20 Las barras de combustible 18 y 19 son en general continuas desde su base a su terminal, lo cual, en el caso de la barra de combustible de longitud completa 18, es desde la placa de anclaje inferior 16 a la placa de anclaje superior 14. De esta manera, los elementos de revestimiento y de combustible dentro de la barra también son en general continuos a lo largo de la longitud de las barras de combustible 18 o 19.

25 Como se muestra en la figura 2, los elementos de combustible 21 pueden estar conformados en forma de pastillas y se disponen dentro de las barras de combustible 18 o 19. Estas pastillas de combustible 21 pueden estar "apiladas" dentro de la barra de combustible continuamente para proporcionar combustible a lo largo de la longitud de la barra de combustible 18 o 19. El apilamiento de las pastillas de combustible 21 puede permitir la expansión u otra deformación de las pastillas de combustible 21 durante el ciclo de funcionamiento del núcleo del reactor. Además, una separación 22 entre las pastillas 21 y la pared interior 23 de la barra de combustible 18 o 19 aloja productos de fisión gaseosos producidos de las pastillas de combustible 21 durante el funcionamiento del reactor. La separación 22 puede ser un vacío o estar llena con un gas no reactivo a baja presión, tal como el helio. Otras separaciones adicionales (no mostradas) y / o resortes 24 en los extremos de la barra de combustible pueden estar presentes para permitir una acumulación de productos de fisión adicional y la deformación de las pastillas.

30 El documento WO97/49092 describe un conjunto de combustible con una sección transversal sustancialmente cuadrada para un reactor de agua ligera. El reactor de agua ligera comprende una pluralidad de barras de combustible que se extienden entre placas de anclaje superior e inferior, comprendiendo cada barra de combustible un tubo de revestimiento con unos extremos primero y segundo que rodean a una columna que tiene material fisionable. Al menos una barra de combustible está provista de una separación axial en el material fisionable, de tal manera que el material fisionable está dispuesto en ambos lados de la misma en la barra de combustible.

### Sumario

La presente invención reside en un conjunto de combustible como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

- 45 Las realizaciones ejemplares se harán más evidentes al describir en detalle realizaciones ejemplares de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en los que los elementos similares están representados por números de referencia similares, que se dan a modo de ilustración solamente y que por lo tanto no limitan las realizaciones ejemplares en la presente memoria descriptiva.

50 la figura 1 es una ilustración de un conjunto de combustible de la técnica relacionada que tiene barras continuas.

la figura 2 es una ilustración detallada de una barra de combustible de la técnica relacionada de la figura 1, que muestra los elementos combustibles y los espaciamentos asociados en la misma.

la figura 3A es una ilustración de segmentos de barra de combustible de una realización ejemplar del separador.

5 la figura 3B es una vista detallada del separador y de barras segmentadas de una realización ejemplar de la figura 3A.

la figura 4 es una vista recortada de un segmento de barra de combustible de una realización ejemplar.

la figura 5 es una vista recortada de otro segmento de barra de combustible de una realización ejemplar.

la figura 6 es una ilustración de un elemento de separación de combustible ejemplar.

10 las figuras 7A, 7B, 7C, y 7D ilustran varios elementos separadores de combustible ejemplares.

la figura 8 es un diagrama de flujo que muestra los pasos de un procedimiento ejemplar del uso de segmentos de barra de combustible.

### Descripción detallada

15 Realizaciones ilustrativas detalladas de realizaciones ejemplares se describen en la presente memoria descriptiva. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos descritos en la presente memoria descriptiva son meramente representativos con el propósito de describir realizaciones ejemplares. Las realizaciones ejemplares pueden realizarse, sin embargo, en muchas formas alternativas y no se deben interpretar como limitadas sólo a las realizaciones ejemplares establecidas en la presente memoria descriptiva.

20 Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. , pueden ser utilizados en la presente memoria descriptiva para describir diversos elementos, estos elementos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos sólo se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplar, un primer elemento podría ser denominado como segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento podría ser denominado como primer elemento, sin apartarse del alcance de las realizaciones ejemplares. Tal como se utiliza en la presente memoria descriptiva, el término "y / o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

25 Se entenderá que cuando un elemento es denominado como que está "conectado", "acoplado", "apareado", "unido" o "fijado" a otro elemento, puede estar directamente conectado o acoplado al otro elemento o pueden haber presentes elementos de intervención. En contraste, cuando un elemento es denominado como que está "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos de intervención presentes. Otros términos utilizados para describir la relación entre los elementos deben ser interpretados de manera similar (por ejemplar, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

30 La terminología utilizada en la presente memoria descriptiva es con el propósito de describir realizaciones particulares solamente y no se pretende que sean limitativa de realizaciones ejemplares. Como se utiliza en la presente memoria descriptiva, se pretende que las formas singulares "un", "una" y "el", "la" incluyan las formas plurales, a menos que el lenguaje indique explícitamente lo contrario. Se deberá entender, además, que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y / o "que incluye", cuando se usan en la presente memoria descriptiva, especifican la presencia de características, números, etapas, operaciones, elementos, y / o componentes establecidos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más de otras características, números, etapas, operaciones, elementos, componentes y / o grupos de los mismos.

35 También se debe hacer notar que en algunas implementaciones alternativas, las funciones / actos indicados pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras Por ejemplar, dos figuras que se muestran en sucesión pueden ser ejecutadas de hecho sustancialmente al mismo tiempo o a veces pueden ser ejecutadas en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad / actos involucrados.

40 Las figuras 3A y 3B ilustran una realización ejemplar de un segmento de barra de combustible. La figura 3A ilustra una pluralidad de segmentos de barra 110 entre una pieza de extremo superior 120 y una pieza de extremo inferior 130. La pieza de extremo superior 120 y la pieza de extremo inferior 130 pueden incluir roscas u otros mecanismos de acoplamiento para acoplarse con las placas de anclaje inferior y superior (véase la figura 1) del haz de combustible 10 (véase la figura 1), como es conocido. Los segmentos de barras adyacentes pueden estar interconectados unos con los otros por medio de otro segmento de barra o subconjunto de adaptación, mostrado en general como un subconjunto 300 dentro del círculo de línea de puntos de la figura 3A. En particular, y como se describe en mayor detalle a continuación, la figura 3B ilustra en detalle las conexiones de los segmentos de barra adyacentes 110a y 110b que se muestra en el círculo de línea de puntos.

Sólo un conjunto de barra de 100 formado de segmentos de barra de la realización ejemplar 110 se muestra en la figura 3A, debiendo entenderse que uno o más de los conjuntos de barras 100 y de los segmentos de barra 110 mostrados en la figura 3A se pueden insertar en un haz de combustible. Por ejemplar, los conjuntos de barras 100 pueden sustituir a una o más de las barras de combustible 18 y 19 en el haz de combustible 10 de la figura 1.

5 Los segmentos de barra 110 de una realización ejemplar pueden estar unidos entre las piezas de extremo superior e inferior 120 y / o 130 y unos con los otros con el fin de formar una longitud axial entera del conjunto de barras 100. El segmento de barra 110a de la realización ejemplar, el segmento de barra 110b de la realización ejemplar, y una de de las piezas extremas superior e inferior 120 y 130 están conectados directamente o por subconjuntos de adaptación 300 en los puntos de conexión a lo largo de la longitud axial del conjunto de barras 100. En la realización de las  
10 figuras 3A y 3B, estos puntos de conexión están dispuestos axialmente al menos donde el conjunto de barras entra en contacto con los separadores 20. Aunque sólo se muestran en la figura 3A tres separadores 20 y los subconjuntos de adaptación 300, el haz de combustible 10 podría incluir uno o más conjuntos de barras 100, teniendo cada uno de ellos al menos un segmento de barra 110a de la realización ejemplar y al menos un segmento de barra 110b de la realización ejemplar conectados uno al otro o por subconjuntos de adaptación 300 en cualquier número de  
15 ubicaciones de los separadores 20. Los segmentos de barra 110a, 110b de la realización ejemplar pueden ser segmentos de longitud fija para facilitar el proceso de fabricación. Alternativamente, los segmentos de barra de la realización ejemplar pueden tener diferentes longitudes con el fin de acomodar diseños de barras de longitud parcial y / o varias posiciones y tamaños de separadores.

20 Los segmentos de barra de la realización ejemplar pueden ser construidos de un material que es resistente a la corrosión y compatible con los otros componentes del reactor. Por ejemplar, se puede usar una aleación de circonio en la fabricación de los segmentos de barra de la realización ejemplar. En los segmentos de barra de combustible de la realización ejemplar que han sido descritos más arriba, se apreciará que cualquier referencia a un "segmento de barra" o "segmento de barra de combustible" invoca la descripción anterior, mientras que una "barra de combustible" o "barra" usada sola se refiere a las barras continuas descritas en la sección de antecedentes.

25 Como se muestra en detalle en la figura 3B, un separador 20 puede entrar en contacto con el conjunto de barras 100 en el subconjunto de adaptación 300 de manera que cubra sustancialmente el subconjunto de adaptación 300. Alternativamente, un segmento de barra 110 de la realización ejemplar que carece de elementos de combustible puede unirse a otros segmentos de barra 110 de la realización ejemplar en puntos de conexión 115 entre los segmentos de barra 110. De acuerdo con ello, las consecuencias del desgaste en estos puntos 115 debido a que un separador  
30 20 entra en contacto con un segmento de barra pueden ser eliminadas o reducidas. Aunque el desgaste se puede seguir produciendo, el desgaste por rozamiento se puede producir en el subconjunto de adaptación 300 o en segmento de barra sin combustible, en lugar de producirse en un segmento con combustible 110a o 110b. En consecuencia, esto puede eliminar o reducir el potencial de liberación de los contenidos desde el interior de un segmento de barra 110 de la realización ejemplar al refrigerante del reactor.

35 La figura 4 es una vista recortada de un segmento de barra 110 de la realización ejemplar que muestra las estructuras internas dentro del segmento de barra 110. Como se muestra en la figura 4, existe un alojamiento central 150 dentro del segmento de barra y está encerrado por un revestimiento exterior 151. Unas estructuras de acoplamiento primera y segunda 140a y 140b, están dispuestas en los extremos primero y segundo respectivos del segmento de barra 110 y obturan el alojamiento central 150. La estructuras de acoplamiento 140a y 140b pueden permitir que el  
40 segmento de barra 110 se acople de manera desmontable a otras estructuras, incluyendo otros segmentos de barra como se ha explicado más arriba.

45 El segmento de barra ejemplar 110 contiene uno o más elementos de combustible 160 dentro del alojamiento central 150. Cada elemento de combustible 160 puede contener uno o más combustibles nucleares, tales como uranio y / o plutonio, en un medio físico apropiado, tal como un óxido cerámico o similar. Los elementos de combustible 160 se pueden formar en "pastillas" como se muestra en la figura 4; sin embargo, otras formas físicas, tales como esferas, cuerpos hexaédricos, etc., pueden ser utilizados. Los elementos 160 pueden estar alineados axialmente dentro del alojamiento 150 de manera que formen una pila a lo largo del eje longitudinal del segmento de barra 110.

50 El segmento de barra ejemplar 110 también contiene uno o más elementos separadores internos 180 dentro del alojamiento central 150, colocados coaxialmente con cualesquiera elementos de combustible 160 dentro del alojamiento 150. Los elementos separadores internos 180 restringen rígidamente a los elementos de combustible 160 a posiciones axiales particulares y / o intervalos de separación dentro del segmento de barra 110 de la realización ejemplar.

55 Los elementos separadores internos 180 se colocan en una variedad de intervalos dentro de los segmentos de barra ejemplar 110. La colocación de los elementos separadores internos 180 afecta a las características neutrónicas y de generación de calor de los segmentos de barra ejemplares como se explicará más adelante, lo que permite una mayor generación de energía, manteniendo los límites de generación de calor.

Por ejemplar, como se muestra en la figura 4, los elementos separadores internos se colocan con mayor frecuencia hacia la primera estructura de acoplamiento de 140a que hacia la segunda estructura de acoplamiento 140b. De esta manera, los elementos separadores 180 modifican con efectividad la concentración de combustible, el flujo de neutrones asociado, y las características de calentamiento incrementando la concentración de combustible hacia la segunda estructura de acoplamiento 140b (es decir, hacia el segundo extremo del segmento de barra 100).

Como otro ejemplo, en un núcleo nuclear en operación, un refrigerante puede circular a lo largo de la barra ejemplar 110 en la figura 4 en la dirección indicada en la misma. Los separadores 20, como se muestra en la figura 3B, pueden ser colocados en o cerca de las estructuras de acoplamiento primera y segunda 140a y 140b, como se ha descrito más arriba. Los separadores 20 pueden mezclar el refrigerante que circula a través del separador, y, a medida que el refrigerante circula en la dirección indicada por la flecha en la figura 4, el líquido refrigerante puede llegar a estar menos mezclado en las posiciones a lo largo de una capa límite del segmento de barra 110. Un refrigerante puede tener las características de transferencia de calor por convección decrecientes a medida que circula en la dirección que se muestra en la figura 4, lejos del separador 20 cerca de la segunda estructura de acoplamiento 140b. Por lo tanto, el mayor riesgo de transferencia de calor insuficiente y la violación de una relación de potencia crítica puede ocurrir cerca de la primera estructura de acoplamiento 140a, en la que el refrigerante está menos mezclado y más caliente, antes de que el líquido refrigerante alcance el siguiente separador 20. Los elementos separadores internos 180 colocados a intervalos que se muestran en la figura 4 pueden reducir con efectividad la cantidad de combustible y el calor generado cerca de la primera estructura de acoplamiento 140a, reduciendo así la cantidad de transferencia de calor necesaria al refrigerante a medida que el refrigerante está menos mezclado y / o menos capaz de realizar la transferencia de calor por convección. Los intervalos que se muestran en la figura 4 de este modo pueden prevenir o reducir la insuficiente transferencia de calor entre el segmento de barra 110 y un refrigerante, y de ese modo mejorar la eficiencia de un reactor usando segmentos de barra 110 de la realización ejemplar.

De manera similar, como se muestra en la figura 4, un elemento de combustible 160a posicionado hacia el extremo del segmento de combustible de la realización ejemplar puede tener una concentración de combustible diferente, tal como una mayor o menor concentración de uranio, para mejorar aún más y complementar el efecto sobre el perfil axial de calor alcanzado por los elementos separadores internos 180 .

Los elementos separadores internos 180 pueden mejorar aún más las características mecánicas de un segmento de barra de la realización ejemplar 110. Como se ha explicado más arriba, los separadores 20 colocados cerca de las estructuras de acoplamiento primera y segunda 140a y 140b, pueden desgastar los segmentos 110. Como se muestra en la figura 5, la colocación de elementos separadores internos 180, sucesivamente, y adyacentes a las estructuras de acoplamiento primera y / o segunda 140a y / o 140b puede prevenir o reducir la liberación de elementos combustibles 160 contenidos en el segmento 110 si los segmentos de barra 110 que contiene el combustible nuclear son desgastados durante el funcionamiento por un separador superpuesto o deslizado 20. Es decir, los elementos separadores adicionales 180 pueden proporcionar una mayor longitud alrededor del separador 20 en el que se puede producir el desgaste con una fuga de elementos combustibles 160 o piezas de los mismos reducida o ninguna debido al desgaste, incluso si un separador 20 se desliza o por el contrario se superpone a un segmento de barra 110 que contiene combustible. De esta manera, los elementos separadores internos 180 puede afectar y / o mejorar las características mecánicas de un segmento de barra 110 de la realización ejemplar.

Los elementos separadores internos 180 pueden estar formados por una variedad de materiales y formas físicas con el fin de lograr las funciones que se han descrito más arriba. Los elementos separadores internos 180 son dimensionados en general para que se ajusten dentro del alojamiento 150 y están conformados en general para mantener intervalos de separación rígidamente entre los elementos combustibles 160. Por ejemplar, esferas, cilindros, discos, discos compactos, anillos, cubos, hexaedros, y / o toroides pueden ser todas ellas formas funcionales de los elementos separadores 180 que logran las funciones de separación que se han descrito más arriba. Los elementos separadores internos 180 son en general rígidos en una dirección axial longitudinal con el fin de mantener intervalos de separación constante entre los elementos de combustible 160. Los elementos separadores internos pueden "flotar" con los elementos de combustible 160, manteniendo el desplazamiento axial relativo entre los elementos combustibles, pero permitiendo que los elementos separadores internos y los elementos de combustible se muevan en relación con el alojamiento y el segmento de barra de combustible.

Como se muestra en la figura 4, las barras de combustible de la realización ejemplar pueden incluir un resorte o elemento resistivo 185 que proporciona una fuerza de compresión sobre los elementos de combustible 160 y / o elementos separadores 180. Un elemento resistivo de este tipo 185 puede incluir un resorte, un apéndice elástico, u objeto similar fabricado a partir de un material que mantiene su elasticidad y otras propiedades físicas en el entorno de un reactor nuclear en funcionamiento. La fuerza de compresión que ofrece un elemento resistivo 185 puede acomodar los cambios en los elementos combustibles 160 de forma y orientación dentro de la cavidad 150 en todo el ciclo del combustible operativo.

La figura 6 ilustra un elemento de separación interno ejemplar 280 que tiene una forma anular. Un elemento de separación interno 280 en una forma anular puede espaciar rígidamente los elementos combustibles en una dirección axial y permitir que los productos de gas de fisión llenen el centro del anillo. De esta manera, el elemento de separa-

ción interno ejemplar 280 que se muestra en la figura 6 puede proporcionar a un segmento de barra de combustible de la realización ejemplar el espacio adicional para acomodar productos de fisión gaseosos, líquidos y / o sólidos, y el segmento de barra de combustible de la realización ejemplar puede requerir menos espacio que otros para acomodar estos productos. Además, los orificios de acceso 281 pueden estar presentes para permitir la migración de los productos de fisión, en particular la migración de productos de fisión gaseosos y líquidos, en el espacio anular en el caso de que las pastillas de combustible bloqueen el acceso al espacio anular. De esta manera los productos de fisión pueden migrar a través de una separación en el alojamiento en el espacio anular.

La figura 7A ilustra un elemento de separación interno ejemplar 380 que tiene una forma cilíndrica sólida. Un elemento de separación interno 380 en una forma cilíndrica sólida puede espaciar los elementos combustibles en una dirección axial y puede compartimentar adicionalmente los segmentos de barra de la realización ejemplar al ser sólido. Como se ha explicado más arriba, el elemento de separación interno 380 puede alcanzar sustancialmente un diámetro interior 23 (que se muestra en la figura 2) de un alojamiento 150 con el fin de ayudar en la compartimentación. Un elemento de separación ejemplar 380 puede prevenir la migración de productos de fisión a lo largo de los segmentos de barra de la realización ejemplar y puede reducir el movimiento de los productos de fisión en el caso de desgaste debido a la disminución de la migración de productos de fisión más allá del elemento de separación interno sólido 380.

Las figuras 7B - 7D ilustran diferentes configuraciones superficiales de los elementos separadores internos de la realización ejemplar. Como se muestra en la figura 7B, el elemento separador interno de la realización ejemplar 381 puede tener una cavidad mecanizada 384 en al menos una de sus caras para dar cabida a la acumulación de los productos de fisión en la misma, sin permitir que los productos de fisión pasen a través del elemento de separación interno de la realización ejemplar 381. La figura 7C ilustra un elemento de separación interno de la realización ejemplar 382 que tiene una pluralidad de orificios parcialmente perforados 385 que no pasan a lo largo de toda la longitud axial del elemento de separación interno de la realización ejemplar 382. Los orificios 385 pueden acomodar la acumulación de productos de fisión sin permitir que los productos de fisión pasen a través del elemento ejemplar 382. La figura 7D ilustra otro elemento de separación interno de la realización ejemplar 383, que tiene una superficie rebajada / cóncava. La superficie rebajada / cóncava puede permitir la acumulación de productos de fisión en el rebaje sin permitir que los productos pasen a través del elemento de separación ejemplar 383.

Los elementos separadores internos 180 se pueden fabricar de una variedad de materiales basados en cómo los mismos van a afectar a los segmentos de combustible de la realización ejemplar. Por ejemplo, en el caso en el que los elementos separadores estén diseñados para disminuir la concentración efectiva de combustible, los separadores pueden ser fabricados de un material que tiene una absorción de neutrones térmicos y / o de sección transversal de dispersión menor que la del combustible nuclear convencional, por ejemplo, menos de 5 barn . Estos elementos separadores ejemplar internos 180 se pueden fabricar a partir de circonio o de otro material rígido que tiene una sección transversal de neutrones total baja, tal como el inconel. Alternativamente, los elementos separadores pueden servir para absorber el flujo de neutrones, en cuyo caso los elementos separadores internos pueden estar formados de un material que tiene una sección transversal de absorción de neutrones térmicos más alta, incluyendo, por ejemplo, el boro.

Los elementos separadores internos 180 puede estar hechos además de un material que alcance sustancialmente la pared interior 23 del alojamiento 150. El material puede ser expandible o resistivo con el fin de proporcionar una separación y confinamiento axial rígido, con el fin de compartimentar el alojamiento 150 y prevenir o reducir la migración de productos de fisión. Un material de este tipo se puede utilizar en elementos separadores que incrementan longitud de desgaste sin liberación de elemento de combustible a partir de segmentos de barra de la realización ejemplar. Los elementos separadores internos 180 también se pueden fabricar a partir de materiales aislantes del calor o conductores con el fin de afectar adicionalmente las propiedades de generación de calor de los segmentos de barra de la realización ejemplar.

La figura 8 ilustra un procedimiento ejemplar del uso de elementos separadores en los segmentos de barras de combustible. Como se muestra en el paso S100, un ingeniero, una rutina informática, y / u otro usuario determina las propiedades neutrónicas, mecánicas y termodinámicas deseadas de un segmento de barra particular, sobre la base de la posición de ese segmento en el núcleo. Por ejemplo, el ingeniero puede desear que el segmento produzca un flujo axial de pico inferior mayor para mejorar el vacío y la generación de plutonio hacia la parte superior del núcleo. En S200, el ingeniero, la rutina ordenador, u otro usuario calcula una concentración de combustible deseada y la colocación dentro del segmento de barra de acuerdo con procedimientos conocidos en las técnicas de energía nuclear, teniendo en consideración las propiedades y condiciones de la central nuclear en funcionamiento. En el paso S300, los elementos separadores y los elementos de combustible se colocan dentro de un segmento de barra de combustible para lograr una separación y una colocación relativa que cumplan con la concentración y la colocación de combustible calculadas. Una vez completado el procedimiento ejemplar, el segmento de barra de combustible se puede colocar en un núcleo de combustible nuclear operativo en la posición dada y producir las propiedades de entrada deseada en el procedimiento ejemplar.

5 Se han descrito de esta manera las realizaciones y procedimientos ejemplares, y podrá ser apreciado por un experto en la técnica que las realizaciones ejemplares y procedimientos ejemplares se pueden variar por medio de la experimentación rutinaria y sin actividad inventiva adicional. Por ejemplar, aunque la descripción se ha referido a elementos separadores internos utilizables con un segmento de barra, los elementos separadores internos pueden ser utilizados en cualquier barra, tales como las barras individuales continuas 18 y 19 de la figura 1 y alcanzar las mismas funciones en barras continuas como se ha descrito en los segmentos de barra de combustible. Las variaciones no deberán ser consideradas como separaciones del alcance de las realizaciones ejemplares, y se pretende que todas estas modificaciones, como sería obvio para un experto en la técnica, estén incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones que siguen.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un conjunto de combustible que comprende:

una pluralidad de conjuntos de barras de combustible (100), comprendiendo cada conjunto de barras de combustible (100) una pluralidad de segmentos de barra de combustible (110) conectados directamente unos a los otros, o por subconjuntos de adaptación (300), en los puntos de conexión a lo largo de la longitud axial del conjunto de barras de combustible (100), en el que los puntos de conexión están dispuestos axialmente en los lugares en los que el conjunto de barras de combustible (20) entra en contacto con los separadores, en el que al menos un segmento de barra de combustible (110) incluye

un alojamiento (150) que define el segmento de barra de combustible (110) a lo largo de un eje longitudinal del conjunto de barra de combustible (100);

uno o más elementos de combustible nuclear (160) dentro del alojamiento (150); y

una pluralidad de elementos separadores internos (180) posicionados coaxialmente dentro del alojamiento (150) con el uno o más elementos de combustible (160),

**que se caracteriza porque**

los elementos separadores internos (180) tienen una frecuencia incrementada y un intervalo menor en una primera posición longitudinal del alojamiento (150) que en una segunda posición longitudinal del alojamiento (150), estando situada la segunda posición longitudinal aguas arriba de la primera posición longitudinal en un flujo de líquido refrigerante en un núcleo nuclear operativo que contiene el conjunto de barras de combustible (100).

2. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en la reivindicación 1, en el que los elementos separadores internos (180) ocupan posiciones dentro del alojamiento (150) de tal manera que el segmento de barra (110) posee una propiedad térmica, mecánica o neutrónica deseada durante el funcionamiento del núcleo nuclear que contiene el conjunto de barras de combustible (100).

3. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos separadores internos (180) son anulares, de manera que el elemento de separación interno (180) puede acomodar la acumulación de productos de fisión dentro del espacio anular.

4. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los elementos separadores internos (180) son sólidos y cilíndricos.

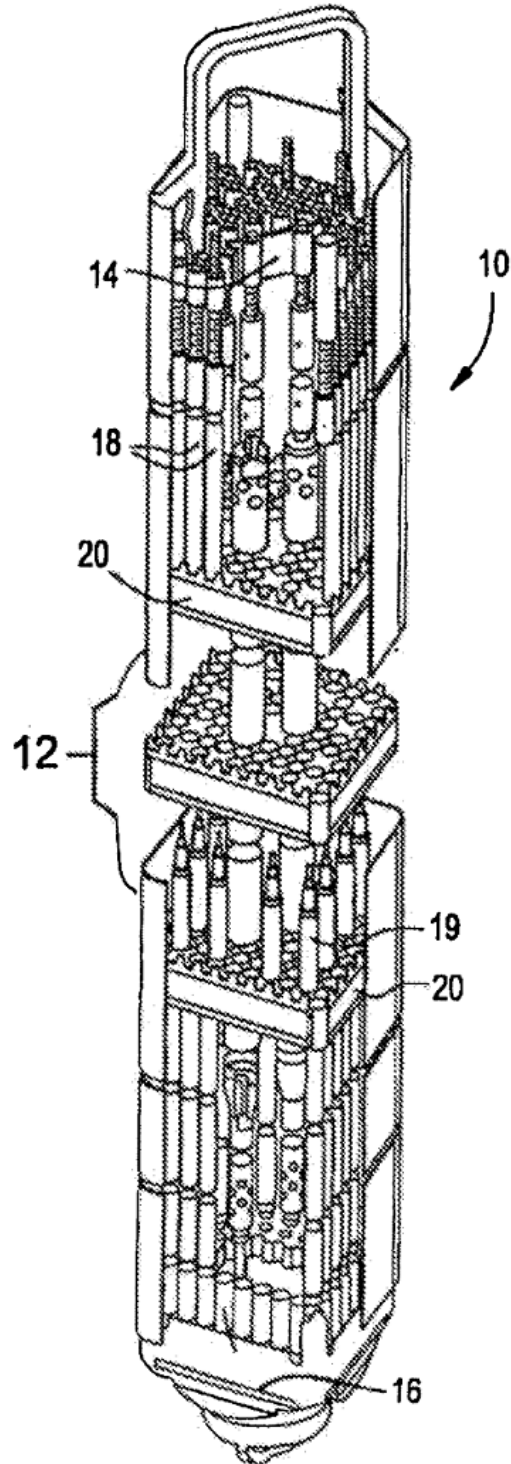
5. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos una porción de la pluralidad de elementos separadores internos (180) están situados consecutivamente en, y adyacentes a la posición en la que el separador (20) entra en contacto con el conjunto de barras de combustible (100).

6. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además, un elemento resistivo (185) posicionado en un extremo del alojamiento (150) y axialmente con los elementos de combustible nuclear (160) y los elementos separadores internos (180) con el fin de proporcionar una fuerza de compresión sobre los elementos de combustible nuclear (160) y los elementos separadores internos (180).

7. Un conjunto de combustible como se ha reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los elementos de combustible nuclear (160) no tienen el mismo enriquecimiento.



**FIG. 1**  
**TÉCNICA CONVENCIONAL**



**FIG. 2**  
**TÉCNICA CONVENCIONAL**

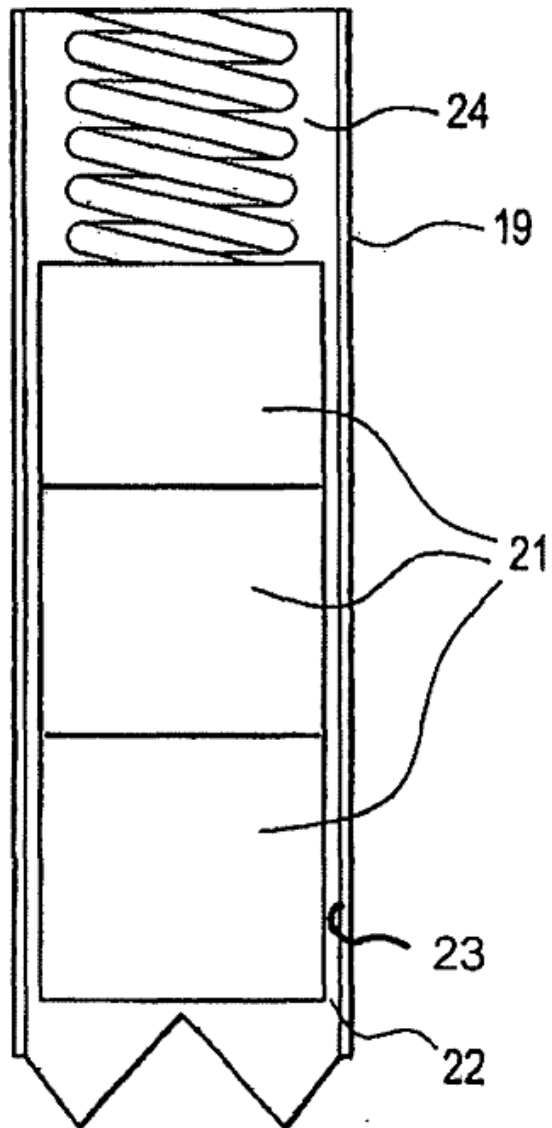


FIG. 3A

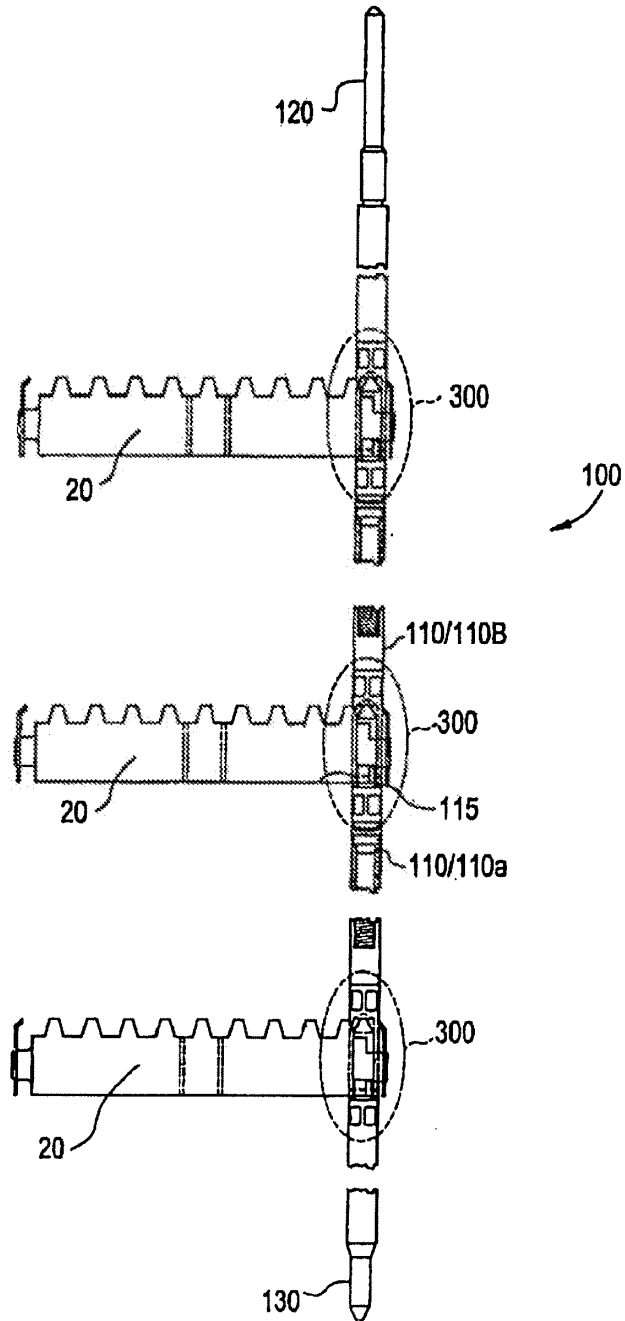


FIG. 3B

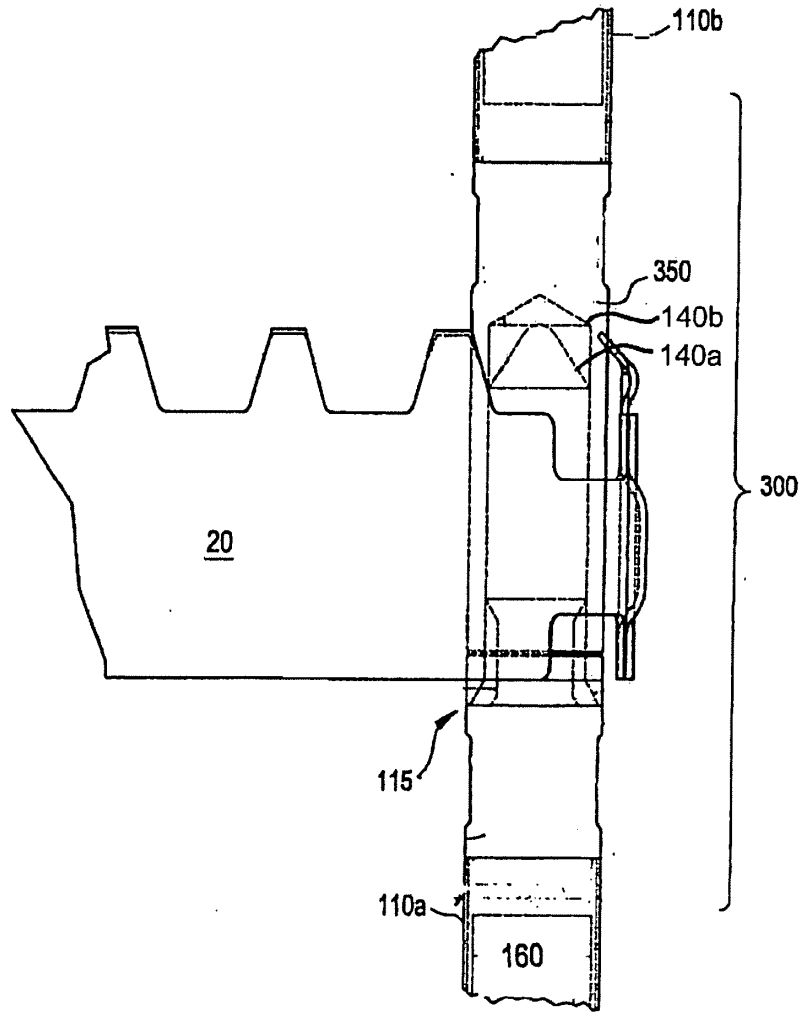


FIG. 4

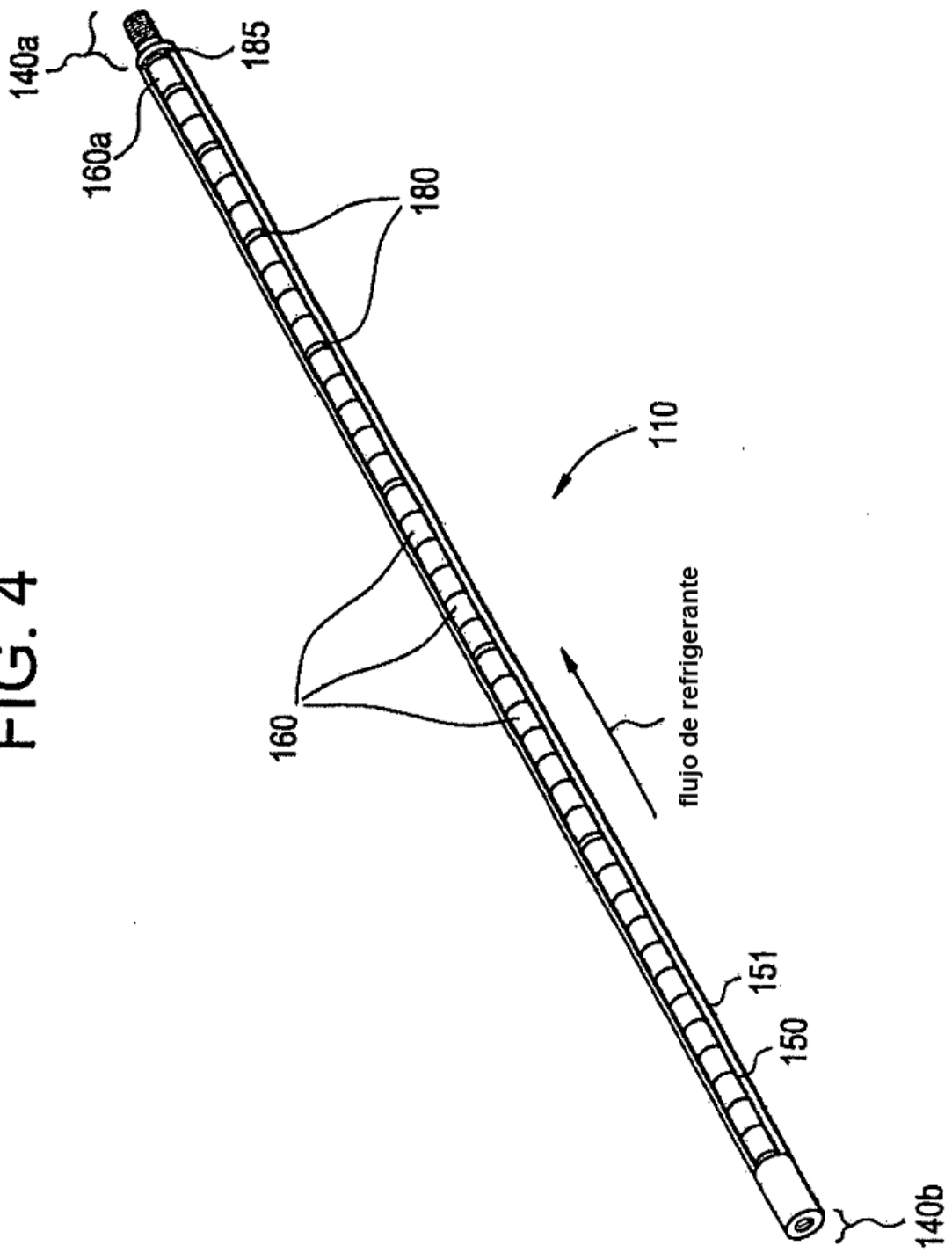


FIG. 5

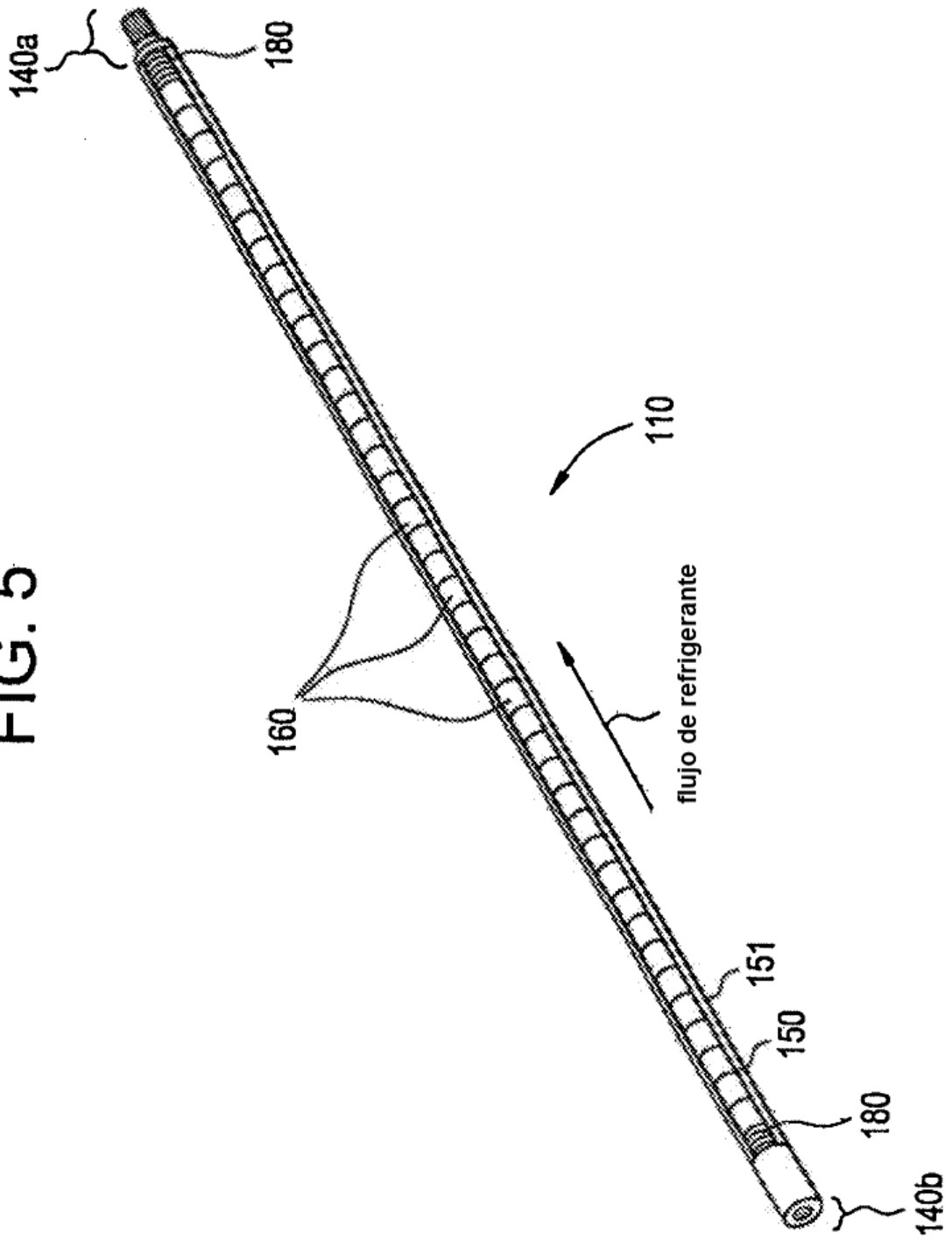
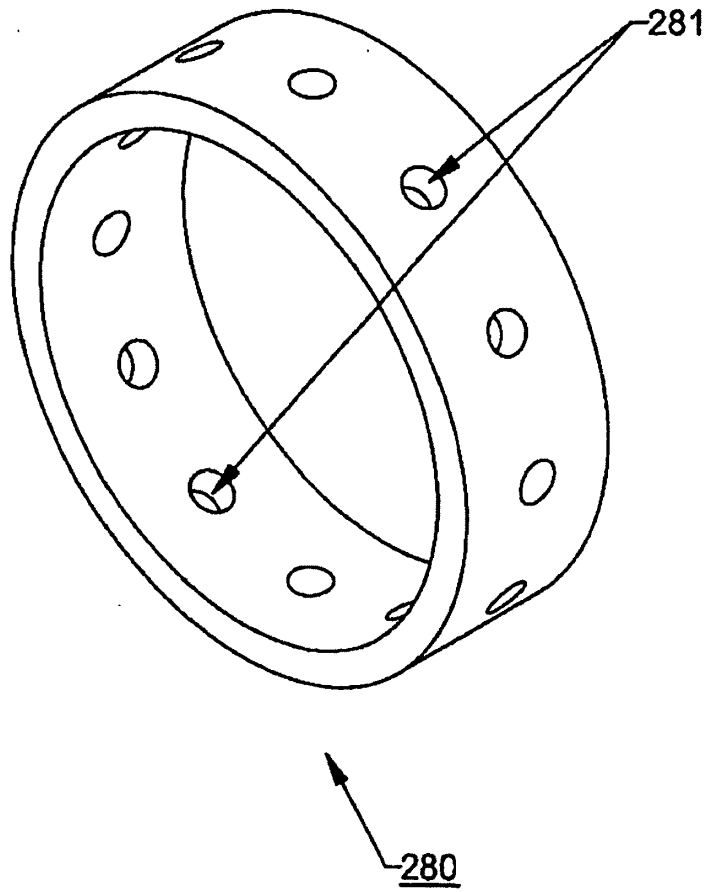
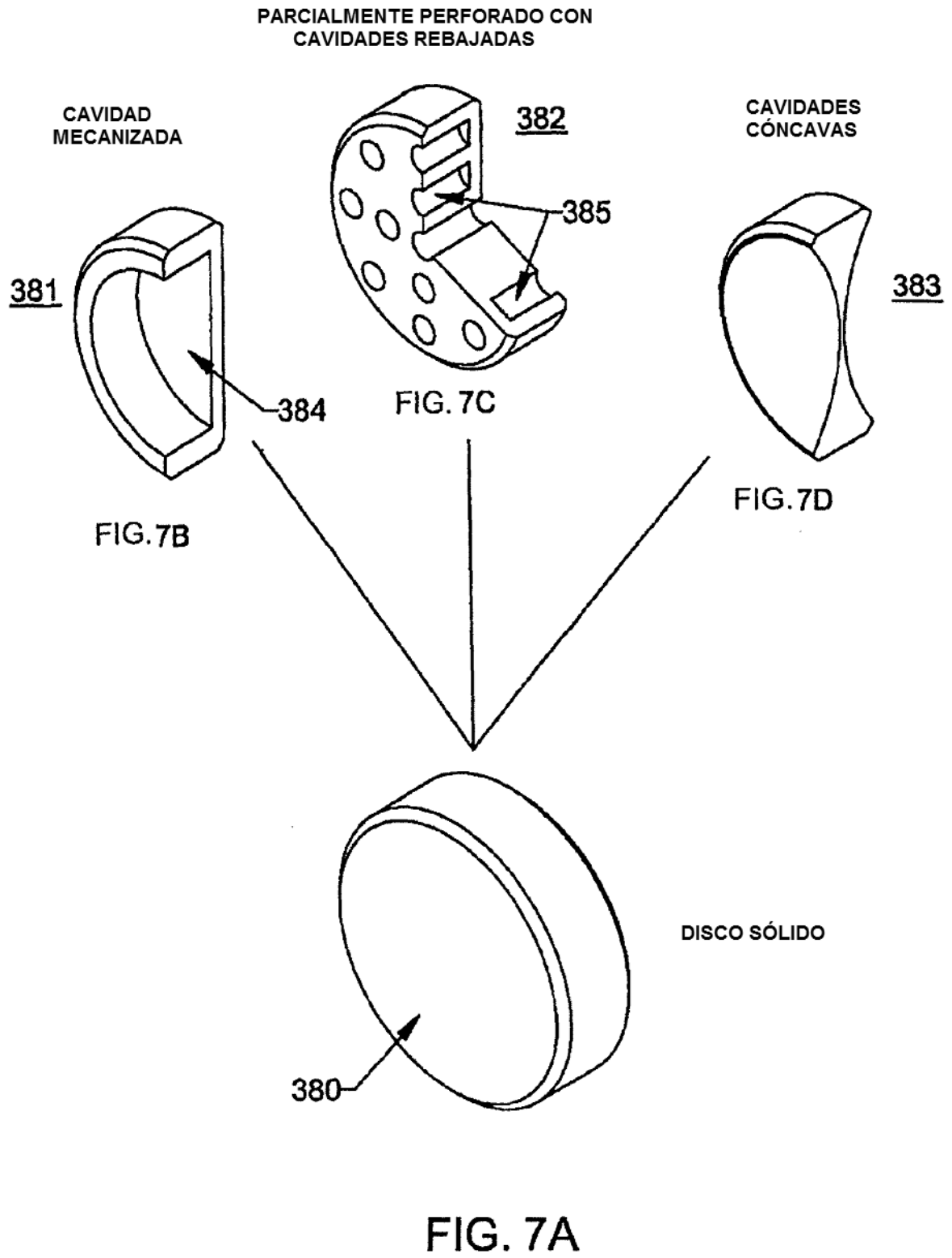


FIG. 6







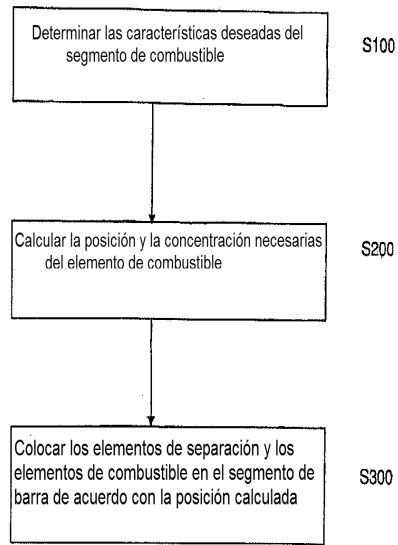


FIG. 8