

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 457 847**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/14** (2006.01)

**G21C 3/326** (2006.01)

**G21C 3/344** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2008 E 08169770 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 2071579**

54 Título: **Conjunto de haces de combustible con riesgo reducido de daños**

30 Prioridad:

**28.11.2007 US 946272**

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

**29.04.2014**

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.;  
FULLER, JOHN D.;  
TROSMAN, LUKAS;  
SMITH, DAVID GREY;  
CLARK, CARLTON WAYNE y  
JAMES, ROBERT BRYANT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 457 847 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 haces de combustible con riesgo reducido de daños

**Campo**

Las presentes enseñanzas versan acerca de conjuntos de haces de combustible para un reactor nuclear.

5 **Antecedentes**

Los reactores nucleares, tales como los reactores nucleares de agua en ebullición, incluyen, en general, un núcleo de reactor nuclear que consiste en muchos haces de combustible a través de los cuales, y en torno a los cuales, fluye un líquido moderador o refrigerante, por ejemplo, agua líquida. Las reacciones nucleares dentro de los haces de combustible generan calor utilizado para convertir el refrigerante en vapor según pasa el refrigerante a través del núcleo. Entonces, se utiliza el vapor para generar energía eléctrica. Normalmente, cada uno de los haces de combustible incluye una pluralidad de varillas selladas y rectas verticalmente de combustible alojadas en el interior de un canal tubular alargado. Dentro del canal, las varillas de combustible de cada haz de combustible están mantenidas en una configuración separada por medio de dos o más rejillas espaciadoras que comprenden una pluralidad de espaciadores interconectados que forman una pluralidad de filas y de columnas de celdas abiertas. Cada celda tiene una varilla respectiva de las varillas, por otra parte, largas y flexibles de combustible que se extiende a través de la misma y sirve para evitar que las varillas de combustible hagan contacto abrasivo entre sí bajo la dinámica del flujo de refrigerante en el interior del reactor nuclear. Además, los espaciadores mantienen la separación diseñada entre varillas de combustible para un rendimiento nuclear óptimo y fomentar una mezcla del moderador. En el documento US2007/0133734 se da a conocer un conjunto típico de varillas de combustible.

En general, las varillas de combustible son una estructura monolítica que tiene una longitud sustancialmente igual a la longitud total del haz respectivo. Además, cada una de las varillas de combustible incluye, normalmente, un taladro axial interno que se extiende aproximadamente toda la longitud de las varillas respectivas. Se deposita combustible nuclear, por ejemplo, uranio 235, en el interior del taladro interno para generar la reacción nuclear. En consecuencia, el nivel de enriquecimiento del combustible dentro de cada una de tales varillas de combustible es generalmente constante en toda la longitud de las varillas.

Se conocen conjuntos de varillas de combustible que comprenden varillas de combustible con diámetros idénticos o distintos por los documentos US 3 147 191 A y US 6 347 130 B1, respectivamente.

El documento US 3 218 237 A da a conocer un conjunto de varillas de combustible que comprende varillas de combustible segmentadas que están interconectadas por medio de una rejilla de tipo araña.

Además, la mayoría de espaciadores conocidos tiene diseños muy complejos que pueden obstruir el flujo de refrigerante a través del haz respectivo y a menudo atrapan residuos que fluyen a través del haz. Tales residuos atrapados pueden vibrar, dar sacudidas o agitarse contra las varillas de combustible debido al flujo de refrigerante y dañar las varillas de combustible, provocando una exposición potencial del combustible al agua en el reactor.

**Sumario**

Según la presente invención se proporciona un haz de combustible para un núcleo de un reactor nuclear, comprendiendo dicho haz de combustible: una pluralidad de varillas que incluyen al menos una de varillas de combustible y de varillas de producción de isótopos, incluyendo cada varilla una pluralidad de segmentos interconectados de varilla, teniendo al menos dos de los segmentos de varilla de al menos una varilla distintos diámetros externos; una pluralidad de rejillas separadoras de varillas retenidas firmemente entre segmentos de varilla interconectados adyacentes axialmente para formar una matriz de varillas separadas de forma sustancialmente uniforme; y un canal tubular alargado en el que están alojadas las varillas agrupadas; comprendiendo cada segmento de varilla un cuerpo central que tiene una cavidad interna, en la que cada segmento de varilla comprende, además, una primera porción extrema maciza y una segunda porción extrema parcialmente maciza, siendo acoplables las porciones extremas primera y segunda para interconectar los segmentos adyacentes axialmente de varilla, de forma que se retenga de forma fija una rejilla respectiva de las rejillas espaciadoras entre las mismas, comprendiendo la primera porción extrema un conector macho y comprendiendo la segunda porción extrema un receptáculo hembra e incluyendo la rejilla espaciadora una pluralidad de discos anulares interconectados, incluyendo cada disco anular una abertura dimensionada para recibir el conector macho, de forma que cada disco anular respectivo pueda ser retenido firmemente entre segmentos interconectados adyacentes axialmente de varilla, estando estructurado cada disco anular interconectado para tener un diámetro externo que sea sustancialmente idéntico al diámetro externo, o menor que el mismo, del segmento respectivo de varilla interconectado por debajo de cada disco anular respectivo, con respecto a la orientación en el interior del núcleo del reactor nuclear.

Serán evidentes áreas adicionales de aplicabilidad de las presentes enseñanzas a partir de la descripción proporcionada en el presente documento. Se debe comprender que la descripción y los ejemplos específicos son concebidos únicamente con fines ilustrativos y no se pretende que limiten el ámbito de las presentes enseñanzas.

**Dibujos**

5 Sigue una descripción detallada de realizaciones de la invención únicamente a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Los dibujos descritos en el presente documento son únicamente para fines ilustrativos y no se pretende que limiten el ámbito de las presentes enseñanzas de ninguna forma.

10 La Figura 1 es una vista en corte transversal en perspectiva de una porción de un núcleo de reactor nuclear que ilustra una pluralidad de conjuntos de haces de combustible que incluyen varillas de combustible, varillas diana de producción de isótopos, placas de anclaje, rejillas espaciadoras y canales, según diversas realizaciones de la presente divulgación;

15 la Figura 2 es una vista en corte transversal parcialmente despiezada de un conjunto ejemplar de haces de combustible incluido en la porción de un núcleo de reactor nuclear mostrado en la Figura 1, según diversas realizaciones de la presente divulgación;

la Figura 3 ilustra diversas varillas de combustible y/o diana de producción de isótopos de múltiples segmentos que pueden estar incluidas en el conjunto de haces de combustible mostrado en la Figura 2, según diversas realizaciones de la presente divulgación;

20 la Figura 4 es una ilustración ejemplar de un segmento de varilla de combustible y/o diana de producción de isótopos incluido en las varillas de combustible y/o diana de producción de isótopos de múltiples segmentos mostrados en la Figura 3, según diversas realizaciones de la presente divulgación;

la Figura 5 es una ilustración ejemplar de una varilla de combustible y/o de producción de isótopos de múltiples segmentos mostrada en la Figura 3, que incluye segmentos de varilla mostrados en la Figura 4 que tienen longitudes y diámetros axiales variables, según diversas realizaciones de la presente divulgación;

25 la Figura 6 es una vista isométrica de una porción del haz ejemplar de combustible mostrado en la Figura 2, que ilustra una rejilla espaciadora retenida de forma fija entre segmentos interconectados de varilla, según diversas realizaciones de la presente divulgación; y

la Figura 7 es una vista lateral de una porción de la rejilla espaciadora retenida de forma fija entre segmentos interconectados de varilla mostrados en la Figura 6, según diversas realizaciones de la presente divulgación.

30 **Descripción detallada**

La siguiente descripción de diversas realizaciones ejemplares es simplemente de naturaleza ejemplar y no se pretende de ninguna forma que limite la divulgación, su aplicación ni sus usos. Además, las ventajas proporcionadas por las diversas realizaciones, según se describen a continuación, son de naturaleza ejemplar y no todas las realizaciones proporcionan las mismas ventajas ni el mismo grado de ventaja.

35 Con referencia a la Figura 1, se proporciona una vista en corte en perspectiva de una porción ejemplar de un núcleo 10 de reactor nuclear de generación energética, por ejemplo, una porción de un núcleo de reactor nuclear de agua en ebullición. La porción ejemplar del núcleo 10 de reactor nuclear de generación energética incluye cuatro conjuntos 14a, 14B, 14C y 14D de haces de combustible a través de los cuales, y en torno a los cuales, fluye un moderador o refrigerante líquido cuando los haces 14A, 14B, 14C y 14D están instalados y el reactor está

40 funcionando. En aras de la brevedad, los conjuntos 14A, 14B, 14C y 14D de haces de combustible serán denominados en el presente documento simplemente haces 14A, 14B, 14C y 14D de combustible. Las reacciones nucleares dentro de cada haz 14A, 14B, 14C y 14D de combustible generan calor utilizado para convertir el refrigerante en vapor que es utilizado para generar energía eléctrica. Cada haz 14A, 14B, 14C y 14D de combustible tiene sustancialmente la misma estructura, forma y función. Por lo tanto, en aras de la sencillez y de la claridad, solo se describirá en el presente documento el haz 14A de combustible.

45

Con referencia también a la Figura 2, el haz 14A de combustible incluye, en general, una pluralidad de varillas 18 de combustible y, en diversas realizaciones, una pluralidad de varillas 20 de producción de isótopos. Además, el haz 14A de combustible incluye un canal externo 22 que rodea una placa superior 26 de anclaje y una placa inferior 30 de anclaje. La pluralidad de varillas 18 de combustible y de varillas 20 de producción de isótopos están dispuestas

50 en una matriz dentro del haz 14A de combustible por medio de una pluralidad de rejillas espaciadoras 34 de forma longitudinal, o axial, separadas entre sí en toda la longitud del haz 14A de combustible. Las varillas 18 de combustible, las varillas 20 de producción de isótopos, y normalmente una o más varillas 38 de agua son mantenidas de forma separada entre sí, es decir, una matriz en el haz 14A de combustible, por medio de las rejillas espaciadoras 34, de forma que se definan pasos para el flujo de refrigerante del reactor entre las varillas 18 de combustible y las varillas 20 de producción de isótopos. En general, el haz 14A de combustible puede incluir

55 cualquier número de rejillas espaciadoras 34 separadas en toda la longitud axial del haz 14A de combustible según sea necesario para mantener las varillas 18 de combustible, las varillas 20 de producción de isótopos y las varillas 38 de agua en la matriz deseada, por ejemplo, entre tres y diez rejillas espaciadoras 34.

- En general, las varillas 18 de combustible contienen combustible nuclear, por ejemplo, uranio, que produce un flujo de neutrones, mientras que las varillas diana 20 de producción de isótopos contienen dianas de irradiación que son irradiadas por el flujo de neutrones para producir un radioisótopo deseado. Las dianas de irradiación pueden ser fabricadas de cualquier isótopo deseado, tal como cadmio, cobalto, iridio, níquel, talio, etc. En diversas realizaciones, las varillas 18 y 20 de combustible y diana de producción de isótopos tienen sustancialmente la misma construcción, con la excepción de las varillas 18 de combustible que contienen combustible nuclear y las varillas diana 20 de producción de isótopos que contienen las dianas de irradiación. Por lo tanto, en aras de la sencillez, a continuación solo se describirán adicionalmente la construcción, la función, los componentes, los elementos, los conjuntos, las características, los atributos, etc., de las varillas 18 de combustible.
- Con referencia ahora a las Figuras 3 y 4, según la invención, las varillas 18 de combustible (y las varillas diana 20 de producción de isótopos) son varillas de múltiples segmentos que consisten en una pluralidad de segmentos interconectados 40 de varilla. Cada varilla 18 de combustible de múltiples segmentos incluye uno o más segmentos 40 de varilla que están interconectados de forma que cada varilla respectiva 18 de combustible de múltiples segmentos puede tener, en general, cualquier longitud axial deseada. Por ejemplo, puede haber interconectada una pluralidad de segmentos 40 de varilla para construir varillas segmentadas de combustible de longitud completa, tal como la varilla segmentada 18A de combustible mostrada en la Figura 3 y/o puede haber interconectado uno o más segmentos 40 de varilla para construir varillas segmentadas de combustible de longitud parcial, tales como las varillas segmentadas 18B y/o 18C de combustible mostradas en la Figura 3. Más en particular, cada varilla segmentada 18A de combustible de longitud completa está construida de una pluralidad de segmentos 40 de varilla que tienen una longitud axial conjunta aproximadamente igual a la distancia entre las placas superior e inferior 26 y 30 de anclaje (mostradas en la Figura 2). Cada varilla segmentada 18A de combustible de longitud completa puede incluir, además, un pasador terminal superior 42 y un pasador terminal inferior 46 conectados a los extremos superior e inferior respectivos de la varilla 18A de combustible de longitud completa conjunta. Los pasadores terminales superior e inferior 42 y 46 están estructurados para acoplarse con las placas superior e inferior respectivas 26 y 30 de anclaje para estabilizar los extremos de cada varilla segmentada respectiva 18A de combustible de longitud completa dentro del canal 22.
- Además, cada varilla segmentada 18B y 18C de combustible de longitud parcial está construida para que tenga cualquier longitud axial deseable inferior a la longitud axial entre las placas superior e inferior 26 y 30 de anclaje. Por ejemplo, cada varilla segmentada 18B y 18C de combustible de longitud parcialmente puede estar construida para que tenga una longitud axial aproximadamente igual a  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , etc. de la distancia entre las placas superior e inferior 26 y 30 de anclaje. Cada varilla segmentada 18B y 18C de combustible de longitud parcial puede incluir, además, un pasador terminal superior 42 y/o un pasador terminal inferior 46 conectados en el extremo superior y/o inferior respectivo de las varillas respectivas 18B y 18C de combustible de longitud parcial conjunta. Cada uno de los pasadores terminales superior e inferior 42 y 46 están estructurados para acoplarse con una respectiva de las placas superior e inferior 26 y 30 de anclaje y una de las rejillas espaciadoras 34 para estabilizar los extremos de cada varilla segmentada respectiva 18B y 18C de combustible de longitud parcial dentro del canal 22. De forma alternativa, cada varilla segmentada 18B y 18C de combustible de longitud parcial puede incluir un pasador terminal superior 42 o un pasador terminal inferior 46 conectado al extremo superior o inferior de las varillas respectivas 18B y 18C de combustible de longitud parcial conjunta, y un primer conector 50 (descrito con detalle a continuación) conectado al extremo superior o inferior opuesto de las varillas respectivas 18B y 18C de múltiples segmentos de longitud parcial. En consecuencia, el pasador terminal 42 o 46 superior o inferior está estructurado para acoplarse con una respectiva de las placas superior o inferior 26 y 30 de anclaje y el primer conector 50 está estructurado para acoplarse con una de las rejillas espaciadoras 34 para estabilizar los extremos de cada varilla segmentada respectiva 18B y 18C de combustible de longitud parcial dentro del canal 22.
- Con referencia ahora a las Figuras 4 y 5, cada segmento 40 de varilla puede tener cualquier longitud axial o longitudinal y/o diámetro externo D deseable dentro del ámbito de las reivindicaciones. Por lo tanto, cada varilla 18 de combustible de múltiples segmentos (y cada varilla 20 de producción de isótopos) puede ser montada para que tenga cualquier longitud conjunta, o acumulada, deseada al interconectar segmentos 40 de varilla de diversas longitudes. Además, cada varilla 18 de combustible de múltiples segmentos (y cada varilla 20 de producción de isótopos) está montada para que tenga dos o más diámetros externos en toda la longitud axial de la varilla segmentada conjunta respectiva 18 (o 20) al interconectar segmentos 40 de varilla de diversos diámetros. Por lo tanto, se debería comprender que la Figura 4 ilustra un segmento ejemplar 40 de varilla de combustible y/o de producción de isótopos y la descripción adjunta en el presente documento versa acerca de cada segmento 40 de varilla de cada varilla 18 y/o 20 de combustible y/o de producción de isótopos de múltiples segmentos, con independencia de la longitud de cada segmento respectivo 40 de varilla.
- Con referencia en particular a la Figura 4, cada segmento 40 de varilla incluye, en general, una porción 54 de cuerpo central, una primera porción 58 de extremo y una segunda porción opuesta 62 de extremo. En diversas implementaciones, al menos una de las porciones primera y segunda 58 y 62 de extremo son componentes separados de la porción 54 de cuerpo central (solo se muestra como tal la primera porción 58) para proporcionar un acceso a una cavidad interna 66 de la porción 54 de cuerpo central. La cavidad interna 66 está estructurada para retener combustible nuclear (o una pluralidad de dianas de irradiación en el caso de varillas 20 de producción de isótopos). Por lo tanto, se puede acceder a la cavidad 66 antes de que se conecten las porciones primera y/o

segunda 58 y/o 62 de extremo al o a los extremos respectivos del cuerpo central 40. En particular, una vez que se colocan el combustible nuclear o las dianas de isótopos deseadas, que tienen un enriquecimiento deseado, en el interior de la cavidad interna 66, se conectan las porciones primera y/o segunda 58 y/o 62 de extremo, es decir, soldadas, al extremo respectivo de la porción 54 de cuerpo central para sellar el combustible nuclear o las dianas de isótopos en el interior del segmento 40 de varilla.

Se debe comprender que, según se utiliza en el presente documento, el término “enriquecimiento”, según es aplicado al combustible nuclear y a las dianas de isótopos, está definido para significar inclusivamente tipos de combustible nuclear, valores de enriquecimiento de combustible nuclear, tipos de diana de isótopos y valores de enriquecimiento de la diana de isótopos.

En diversas realizaciones, la primera porción 58 de extremo tiene una longitud axial M e incluye un conector macho 70, por ejemplo, un resalte o poste roscado, que tiene una longitud axial X, que se extiende desde una base 72, que tiene una longitud axial Y. En diversas implementaciones la primera porción 58 de extremo, que incluye el conector macho 70 y la base 72, está fabricada de un material macizo. Por ejemplo, en diversas realizaciones, la primera porción 58 de extremo está fabricada de un material macizo de baja sección eficaz microscópica nuclear, tal como circonio, zircaloy-2, zircaloy-4, o cualquier otro material adecuado de baja sección eficaz microscópica nuclear. Además, en diversas realizaciones, la segunda porción 62 de extremo tiene una longitud axial N e incluye un receptáculo hembra 74, por ejemplo, un taladro interno roscado con una pared maciza 75, que tiene una longitud axial A y una base maciza 76 que tiene una longitud axial B. En diversas implementaciones la segunda porción 62 de extremo, que incluye la base maciza 76 y la pared maciza 75, está fabricada de un material de baja sección eficaz microscópica nuclear, tal como circonio, zircaloy-2, zircaloy-4, o cualquier otro material adecuado de baja sección eficaz microscópica nuclear.

El conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 están estructurados para que sean acoplables para interconectar los segmentos respectivos 40 de varilla. Según la invención, el conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 están interconectados a través de una abertura 78 de una rejilla espaciadora respectiva 34 (mostrada en la Figura 6), como se describe con detalle a continuación. Aunque se describe y se muestra el conector macho 70 en el presente documento formando parte de la primera porción 58 de extremo, y se describe y se muestra el receptáculo hembra 74 en el presente documento formando parte de la segunda porción 62 de extremo, se concibe que en diversas realizaciones, la primera porción 58 de extremo pueda incluir el receptáculo hembra 74 y la segunda porción 62 de extremo pueda incluir el conector macho 70. Además, el conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 de los segmentos más elevado y más inferior respectivos 40 de varilla de cualquier varilla montada 18 de combustible de múltiples segmentos pueden estar acoplados a los pasadores terminales superior e inferior respectivos 42 y 46. Además, aunque se ilustra que el conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 incluyen roscas que pueden ser acopladas, es decir, roscadas entre sí, para interconectar los segmentos respectivos 40 de varilla, se debería hacer notar que el conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 pueden comprender cualquier dispositivo o componente acoplable de conexión adecuado para interconectarse a través de una abertura respectiva 78 en la rejilla espaciadora, y permanecer dentro del ámbito de la presente divulgación. Por ejemplo, en diversas realizaciones el conector macho 70 y el receptáculo hembra 74 pueden comprender, respectivamente, una lengüeta y un receptor, un gancho y un bucle internos, etc.

Con referencia ahora a las Figuras 6 y 7, según la invención, las rejillas espaciadoras 34 del haz 14A de combustible están constituidas por una pluralidad de discos anulares interconectados 82. Cada disco anular 82 tiene un grosor T e incluye una abertura respectiva 78 en la rejilla espaciadora. En diversas realizaciones, se puede fabricar cada disco anular 82 de un material de baja sección eficaz microscópica nuclear, tal como circonio, zircaloy-2, zircaloy-4, o cualquier otro material adecuado de baja sección eficaz microscópica nuclear. Por ejemplo, en diversas implementaciones, las rejillas espaciadoras 34 pueden ser fabricadas de una única lámina de material de baja sección eficaz microscópica nuclear que esté troquelada a máquina para formar los discos anulares interconectados 82 y las aberturas 78.

A continuación, se interconectan los segmentos seleccionados 40 de varilla, de forma que la varilla respectiva 18 de combustible (o varilla 20 de producción de isótopos) de múltiples segmentos agregados tenga una longitud axial acumulada deseada y una secuencia deseada de diámetros D y enriquecimientos en toda la longitud axial acumulada. Es decir, para montar las varillas 18 de combustible (y las varillas 20 de producción de isótopos), se seleccionan segmentos particulares 40 de varilla en función de su longitud L, diámetro D y enriquecimiento del combustible (o de las dianas de isótopos) respectivos retenidos en las cavidades internas respectivas 66. Más específicamente, se puede construir, o fabricar, una pluralidad de segmentos 40 de varilla para proporcionar una gran variedad de segmentos de varilla que tengan longitudes L, diámetros D y/o enriquecimientos distintos diversos. A continuación, para montar una varilla 18 de combustible (o varilla 20 de producción de isótopos) se puede seleccionar una pluralidad de segmentos específicos 40 de varilla en función de su longitud L, diámetro D y enriquecimiento específicos. Por lo tanto, se pueden montar fácil y rápidamente varillas 18 de combustible (y varillas 20 de producción de isótopos) de múltiples segmentos agregados para que tengan diámetros D y enriquecimientos variables axialmente, es decir, diámetros D y enriquecimiento que varían en toda la longitud axial de la varilla respectiva 18 de combustible (o varilla 20 de producción de isótopos) agregada.

Además, en diversas realizaciones, para interconectar cada par axialmente adyacente de segmentos 40 de varilla, se inserta el conector macho 70 de un primer segmento 40 de varilla que tiene una longitud L, un diámetro D y un enriquecimiento deseado, por ejemplo, el segmento 40A de varilla de la Figura 7, a través de una abertura seleccionada de las aberturas 78 del disco anular. Entonces, se interconecta el receptáculo hembra 74 de un segundo segmento 40 de varilla que tiene una longitud L, un diámetro D y un enriquecimiento deseado, por ejemplo, el segmento 40B de varilla de la Figura 7, de forma fija con el conector macho 70 del primer segmento 40B de varilla. En consecuencia, el disco anular respectivo 82 queda retenido de forma fija entre los segmentos primero y segundo 40A y 40B de varilla. Entonces, se pueden interconectar los segmentos subsiguientes 40 de varilla que tienen una longitud L, un diámetro D y un enriquecimiento deseado respectivos con los segmentos primero y/o segundo 40A y/o 40B de varilla y/u otros segmentos subsiguientes 40 de varilla, reteniendo otros discos anulares 82 de la rejilla espaciadora entre los mismos, de una forma similar. Por lo tanto, cada varilla 18 de combustible (o varilla 20 de producción de isótopos) de múltiples segmentos puede ser montada para que tenga un diámetro D axialmente variable y un enriquecimiento axialmente variable de combustible nuclear (o de la diana de isótopos).

El enriquecimiento de cada segmento respectivo 40 de varilla puede estar relacionado con el diámetro D de cada segmento respectivo 40 de varilla y/o con la cantidad de combustible (o las dianas de isótopos) retenida en el interior de la cavidad interna respectiva 66 y/o de la calidad del combustible o de las respectivas dianas de isótopos. Es decir, los segmentos 40 de varilla de mayor diámetro pueden permitir que se retenga más combustible nuclear (o dianas de isótopos) en el interior de la cavidad respectiva 66. Sin embargo, las cavidades 66 de dos segmentos distintos 40 de varilla que tienen el mismo diámetro D pueden retener distintas cantidades de combustible nuclear (o dianas de isótopos) y/o distintas calidades, es decir, distintos enriquecimientos, para proporcionar segmentos 40 de varilla con el mismo diámetro D pero con distintos enriquecimientos. O, los segmentos 40 de varilla que tienen distintos diámetros D y, por lo tanto, cavidades internas 66 de distintos tamaños, pueden retener combustible nuclear (o dianas de isótopos) que tienen el mismo valor de enriquecimiento, pero el segmento 40 de varilla de menor diámetro, que retiene menos combustible nuclear (o dianas de isótopos) tendrá un enriquecimiento menor. O, un segmento 40 de varilla que tiene un primer diámetro D puede retener combustible nuclear (o dianas de isótopos) que tiene un primer valor de enriquecimiento, y un segundo segmento 40 de varilla que tiene un segundo diámetro D menor puede retener combustible nuclear (o dianas de isótopos) que tiene un segundo valor mayor de enriquecimiento. Por lo tanto, el primer segmento 40 de varilla tendría un mayor diámetro D, pero un menor enriquecimiento que el segundo segmento 40 de varilla.

Además, para mejorar la eficacia del núcleo 10 del reactor nuclear, puede ser ventajoso tener segmentos 40 de varilla de mayor enriquecimiento de mayor diámetro cerca de la porción inferior del haz 14A de combustible, es decir, la porción inferior del núcleo 10 del reactor nuclear, en la que la relación de hidrógeno a uranio (H/U) del refrigerante es máxima. Puede ser también ventajoso tener segmentos 40 de varilla de menor enriquecimiento de menor diámetro ascendiendo progresivamente por toda la longitud axial de cada varilla respectiva 18 (y/o 20) de múltiples segmentos para reducir la disminución en la relación de H/U que puede producirse en toda la longitud del haz 14A de combustible debido a la conversión del refrigerante en vapor.

Por lo tanto, además de proporcionar un medio para controlar el enriquecimiento de un segmento respectivo 40 de varilla, es decir, proporcionar un menor enriquecimiento, el diámetro D de cada segmento 40 de varilla puede proporcionar la capacidad para mantener una relación más constante de H/U en toda la longitud axial del haz 14A de combustible, es decir, en toda la longitud axial del núcleo 10 del reactor nuclear. Es decir, montar varillas 18 de combustible (y/o varillas 20 de producción de isótopos) para que tengan segmentos 40 de varilla de menor diámetro ascendiendo progresivamente permite un área cada vez mayor de refrigerante desde la parte inferior del núcleo del reactor nuclear hasta la parte superior. Aumentar progresivamente el área refrigerante en toda la longitud axial del núcleo 10 del reactor nuclear proporciona más hidrógeno en toda la longitud de cada haz respectivo 14 de combustible, reduciendo, de ese modo, los efectos que tendrá la transformación del refrigerante de agua a vapor sobre la relación de H/U.

Como se ilustra mejor en la Figura 7, según la invención, un diámetro d de cada disco anular respectivo 82 de cada rejilla espaciadora respectiva 34 es sustancialmente igual al diámetro D, o menor que el mismo, del inferior de los segmentos 40 de varilla que retienen la rejilla espaciadora respectiva 34 entre los mismos. Es decir, el diámetro d de cada disco anular 82 es sustancialmente igual al diámetro D, o menor que el mismo, de uno del par de segmentos 40 de varilla que retienen el disco anular respectivo 82 que se encuentra más cercano a la parte inferior del núcleo 10 del reactor nuclear. Por lo tanto, no existe ningún desfase "escalonado", es decir, aumentos en el diámetro, desde la superficie externa del segmento inferior 40 de varilla hasta la superficie externa periférica del disco anular respectivo 82. Esto reduce sustancialmente la impedancia del flujo refrigerante a lo largo de las superficies externas de los segmentos 40 de varilla y a través de las superficies externas periféricas de los discos anulares 82 y a través del haz 14A de combustible. Además, hacer que el diámetro d de cada disco anular 82 sea sustancialmente igual al diámetro D, o menor que el mismo, de los segmentos inferiores respectivos 40 de varilla reduce sustancialmente el potencial de que queden residuos atrapados por medio de las rejillas espaciadoras 34 en la unión de los discos anulares 82 y de los segmentos inferiores 40 de varilla. Como se ha descrito anteriormente, los residuos atrapados pueden vibrar, dar sacudidas o agitarse contra las varillas 18 de combustible (y/o las varillas 20 de producción de isótopos) debido al refrigerante que fluye a través del haz 14A de combustible. Tal vibración, sacudida o agitación de los residuos atrapados puede provocar una erosión o abrasión de las varillas 18 de combustible (y/o de las varillas

20 de producción de isótopos) y provocar, subsiguientemente, un daños críticos a las varillas 18 y/o 20, es decir, quebrar o romper una cavidad interna 66 de un segmento de varilla.

Además, para eliminar sustancialmente el riesgo de daños críticos de los segmentos respectivos 40 de varilla debido a erosión o abrasión debidas a residuos atrapados, cada segmento 40 de varilla incluye las porciones primera y segunda 58 y 62 de extremo. Más específicamente, como se ha descrito anteriormente, la primera porción 58 de extremo de cada segmento 40 de varilla puede ser fabricada de un material macizo, por ejemplo, un material macizo de baja sección eficaz microscópica nuclear. Además, como se ha descrito anteriormente, la base 76 de la segunda porción de extremo y la pared interna 75 del taladro están fabricadas de un material macizo, por ejemplo, un material macizo de baja sección eficaz microscópica nuclear. Aún más en particular, como se ilustra en la Figura 7, cuando los segmentos axialmente adyacentes 40 de varilla, por ejemplo, los segmentos 40A y 40B de varilla, están acoplados de forma fija entre sí reteniendo el disco anular espaciador respectivo 82 entre los mismos, el conector macho macizo 70 está acoplado en el interior del receptáculo hembra 74. De esta manera, una vez que se interconectan los segmentos axialmente adyacentes 40 de varilla, la segunda porción respectiva 62 de extremo incluye la base maciza 76, el receptáculo hembra 74 y una porción del conector macho macizo 70 acoplado en el interior del receptáculo hembra 74. Por lo tanto, una vez que se interconectan los segmentos axialmente adyacentes 40 de varilla, la segunda porción respectiva 62 de extremo es sustancialmente maciza.

Además, como se ilustra claramente en la Figura 7, y comprenderá fácilmente un experto en la técnica, una vez que se interconectan los segmentos axialmente adyacentes 40 de varilla, toda la longitud N de la segunda porción respectiva 62 de extremo está colocada adyacente a una cara primera, o superior, 86 del disco anular respectivo 82, mientras que solo está colocada la longitud Y de la base 72 de la primera porción respectiva de extremo adyacente a una cara segunda, o inferior, opuesta 90 del disco anular respectivo 82. En diversas implementaciones, los segmentos 40 de varilla y las rejillas espaciadoras 34 están interconectados, teniendo el conector macho 70 colocado hacia arriba, es decir, apuntando en la dirección de la parte superior del núcleo 10 del reactor nuclear. Por lo tanto, con respecto a la orientación en el interior del núcleo 10 del reactor nuclear, una vez que los segmentos axialmente adyacentes 40 están interconectados, la segunda porción sustancialmente maciza 62 de extremo del segmento superior respectivo 40 de varilla está colocada por encima del disco anular respectivo 82 y la base 72 de la primera porción maciza de extremo del segmento inferior respectivo 40 de varilla está colocada por debajo del disco anular respectivo 82. En consecuencia, con respecto a la orientación en el interior del núcleo 10 del reactor nuclear, cada interconexión respectiva de segmentos adyacentes 40 de varilla tendrá una primera sección de material macizo, es decir, la segunda porción sustancialmente maciza 62 de extremo, que tiene una longitud N por encima de cada disco anular respectivo 82 de la rejilla espaciadora y una segunda sección de material macizo, es decir, la base 72 de la primera porción de extremo, que tiene una longitud Y por debajo de cada disco anular respectivo 82 de la rejilla espaciadora. Las longitudes N e Y pueden ser cualquier longitud deseable que sea adecuada para evitar que los residuos atrapados provoquen un daño por erosión a la porción 54 de cuerpo central de cualquier segmento 40 de varilla. Un daño por erosión a la porción 54 de cuerpo central podría provocar una exposición a material reactivo nuclear, es decir, combustible nuclear o dianas de isótopos radiactivos, si se rompiese la cavidad interna 66 debido a tal erosión. Por ejemplo, en diversas realizaciones, las longitudes N e Y pueden ser desde aproximadamente 1,27 cm hasta 3,81, o mayores.

Por lo tanto, cualquier residuo que pueda quedar atrapado en la rejilla espaciadora respectiva 34 y que el refrigerante que fluye a través del haz 14A de combustible hace que erosione o desgaste uno o ambos de los segmentos axialmente adyacentes respectivos 40 de varilla, solo erosionará o desgastará la base maciza respectiva 72 de la primera porción y/o la segunda porción sustancialmente maciza respectiva 62 de extremo. Además, dado que el refrigerante fluye hacia arriba a través del núcleo 10 del reactor nuclear, es más probable que los residuos atrapados vibren, den sacudidas o se agiten debido al flujo de refrigerante, contra la segunda porción sustancialmente maciza 62 de extremo del segmento superior 40 de varilla. Por lo tanto, en diversas realizaciones, en las que la segunda porción sustancialmente maciza 62 de extremo de cada segmento respectivo 40 de varilla está colocada por encima del disco anular respectivo 82, la longitud N de la segunda porción 62 es mayor que la longitud Y de la base 72 de la primera porción respectiva. Por lo tanto, cada interconexión respectiva de segmentos adyacentes 40 de varilla tendrá una longitud axial mayor de material macizo por encima de cada disco anular respectivo 82 de la rejilla espaciadora que por debajo de cada disco anular respectivo 82 de la rejilla espaciadora. Por ejemplo, en diversas realizaciones, la longitud N puede ser desde aproximadamente 1,27 hasta 3,81 cm, o mayor, y la longitud Y puede ser aproximadamente igual a  $\frac{1}{8}$  a  $\frac{7}{8}$  de la longitud de N, por ejemplo, aproximadamente desde 0,63 cm hasta 3,17 cm.

## REIVINDICACIONES

1. Un haz (14A) de combustible para un núcleo (10) de reactor nuclear, comprendiendo dicho haz de combustible: una pluralidad de varillas que incluyen al menos una de varillas (18) de combustible y de varillas (20) de producción de isótopos, incluyendo cada varilla una pluralidad de segmentos interconectados (40) de varilla; una pluralidad de rejillas espaciadoras (34) de varillas retenidas firmemente entre segmentos interconectados axialmente adyacentes (40) de varilla para formar una matriz de varillas separadas de manera sustancialmente uniforme; y un canal tubular alargado en el que están alojadas las varillas agrupadas; comprendiendo cada segmento (40) de varilla un cuerpo central (54) que tiene una cavidad intervalo respectiva (66), en el que cada segmento (40) de varilla comprende, además, una primera porción maciza (58) de extremo y una segunda porción parcialmente maciza (62) de extremo, siendo acoplables las porciones primera y segunda de extremo para interconectar los segmentos axialmente adyacentes (40) de varilla, de forma que se retenga de forma fija una rejilla respectiva de las rejillas espaciadoras (34) entre los mismos, comprendiendo la primera porción (58) de extremo un conector macho (70) y comprendiendo la segunda porción (62) de extremo un receptáculo hembra (74) e incluyendo la rejilla espaciadora (34) una pluralidad de discos anulares interconectados (82), incluyendo cada disco anular (82) una abertura dimensionada para recibir el conector macho (70), de forma que cada disco anular respectivo (82) pueda ser retenido firmemente entre segmentos interconectados axialmente adyacentes (40) de varilla  
**caracterizado porque** al menos dos de los segmentos (40) de varilla de al menos una varilla tienen distintos diámetros externos y porque cada disco anular interconectado (82) está estructurado para tener un diámetro externo que sea sustancialmente igual al diámetro externo, o inferior al mismo, del segmento respectivo (40) de varilla interconectado por debajo de cada disco anular respectivo (82), con respecto a la orientación en el interior del núcleo (10) del reactor nuclear.
2. El haz de combustible de la Reivindicación 1, en el que cada segmento (40) de varilla incluye una cavidad interna (66) para retener uno de combustible nuclear y una pluralidad de dianas de producción de isótopos, de forma que cada segmento (40) de varilla tenga un valor respectivo de enriquecimiento y al menos dos de los segmentos (40) de varilla de al menos una varilla tengan distintos valores de enriquecimiento.
3. El haz de combustible de la Reivindicación 1 o 2, en el que cada segmento (40) de varilla tiene una longitud axial respectiva (2) y al menos dos de los segmentos (40) de varilla de al menos una varilla tienen distintas longitudes axiales.
4. El haz de combustible de la Reivindicación 1, 2 o 3, en el que las porciones primera y segunda (58, 62) de extremo están fabricadas de un material de baja sección eficaz nuclear.
5. El haz de combustible de cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera porción maciza de extremo y la segunda porción parcialmente maciza (58, 62) de extremo son acoplables, de forma que cada interconexión de segmentos axialmente adyacentes (40) de varilla comprende:
- una primera sección de material macizo (62) adyacente a un primer lado de la rejilla espaciadora respectiva (34), teniendo la primera sección de material macizo (62) una longitud axial suficiente para evitar la rotura de la cavidad interna (66) del cuerpo central respectivo (54) debido a daño por erosión debido a residuos atrapados y la interconexión de los segmentos axialmente adyacentes respectivos (40) de varilla; y  
una segunda sección de material macizo (72) adyacente a un segundo lado opuesto de la rejilla espaciadora respectiva (34), teniendo la segunda sección de material macizo (72) una longitud axial suficiente para evitar la rotura de la cavidad interna (66) del cuerpo central respectivo (54) debido a un daño por erosión debido a residuos atrapados y la interconexión de los segmentos axialmente adyacentes respectivos (40) de varilla.
6. El haz de combustible de la Reivindicación 5, en el que, con respecto a la orientación en el interior del núcleo (10) del reactor nuclear, la primera sección de material macizo (62) está ubicada por encima de la rejilla espaciadora respectiva (34) y tiene una longitud axial mayor que la longitud axial de la segunda sección de material macizo (72) ubicada por debajo de la rejilla espaciadora respectiva (34).



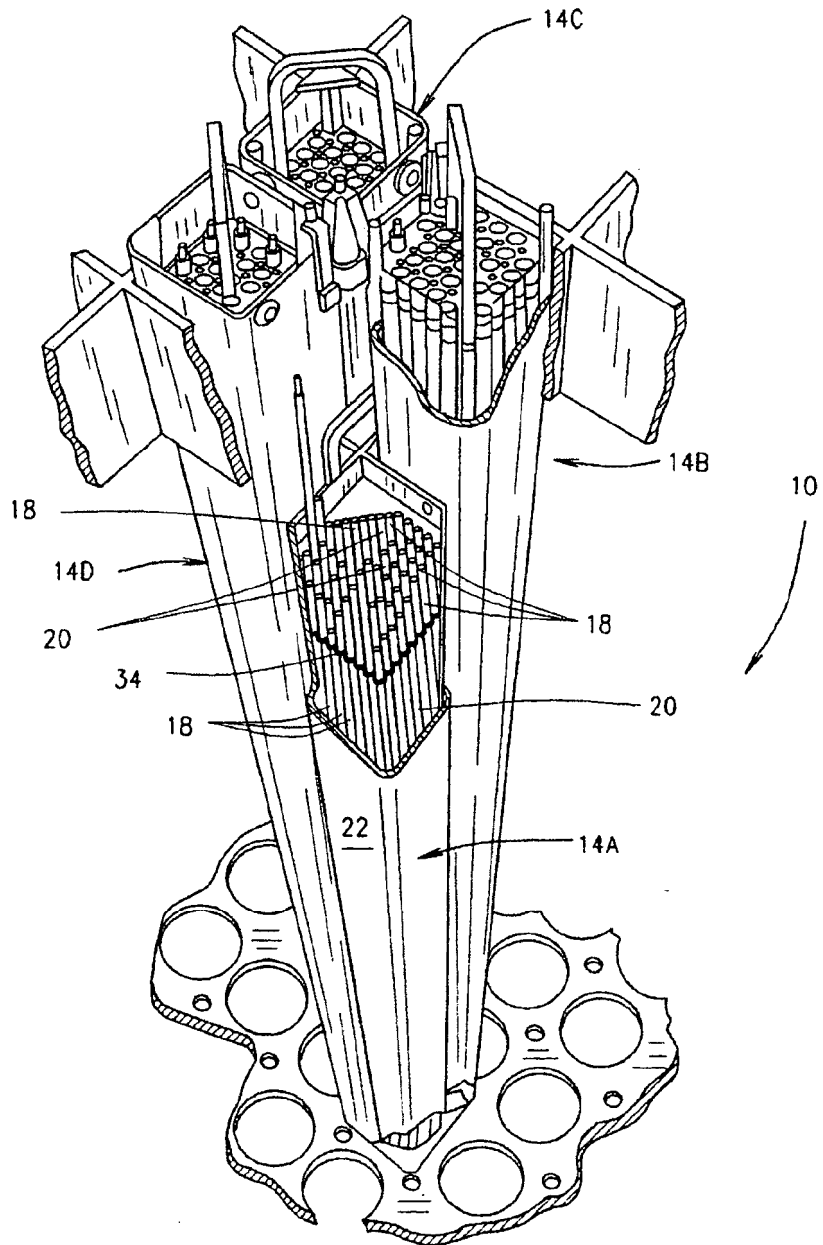


FIG. 1

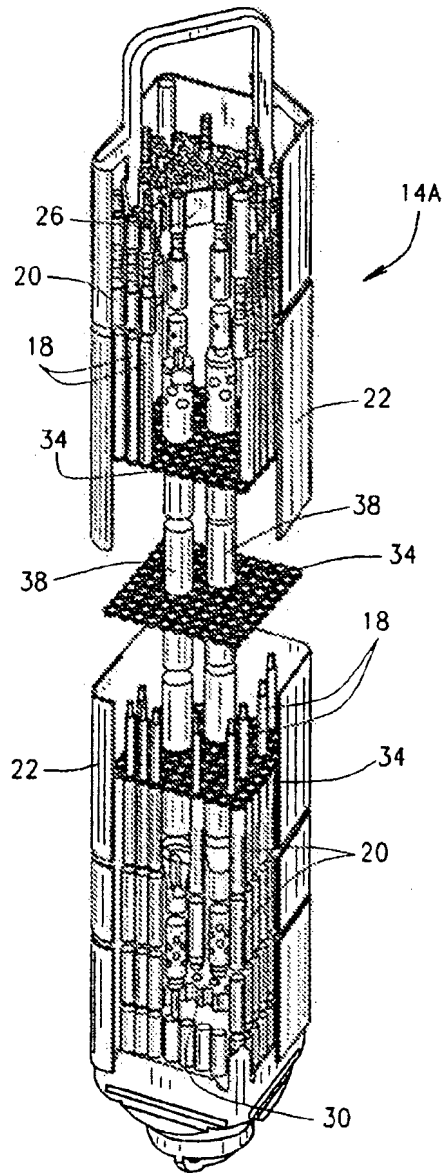


FIG. 2

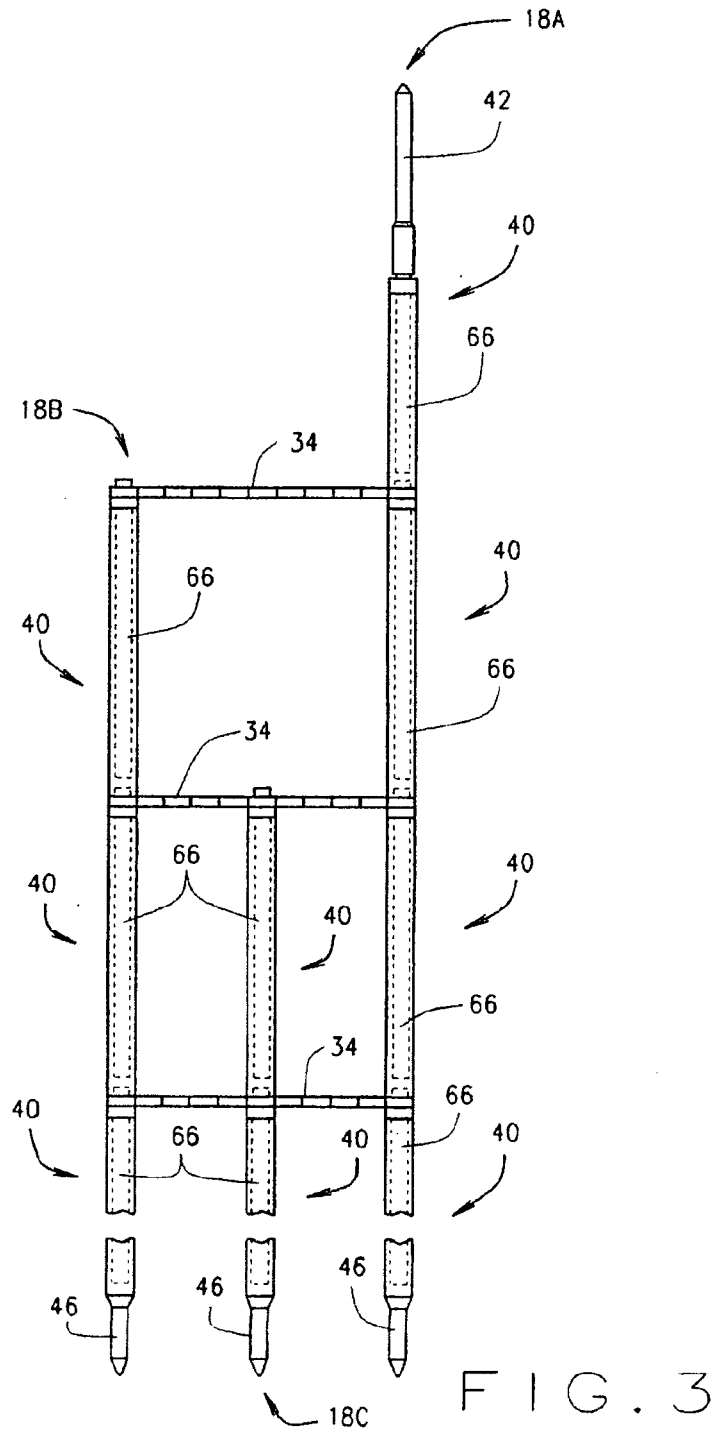
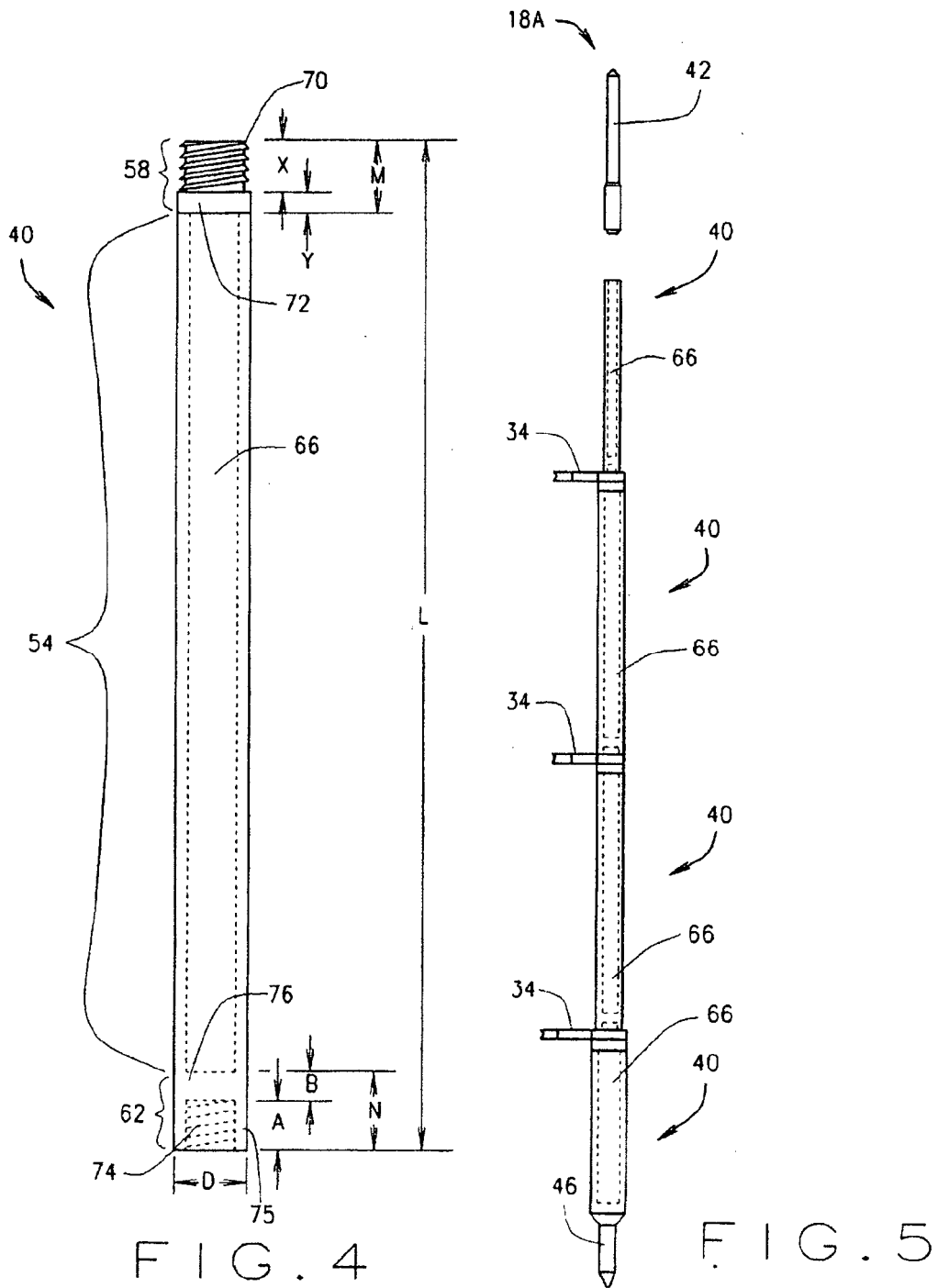


FIG. 3



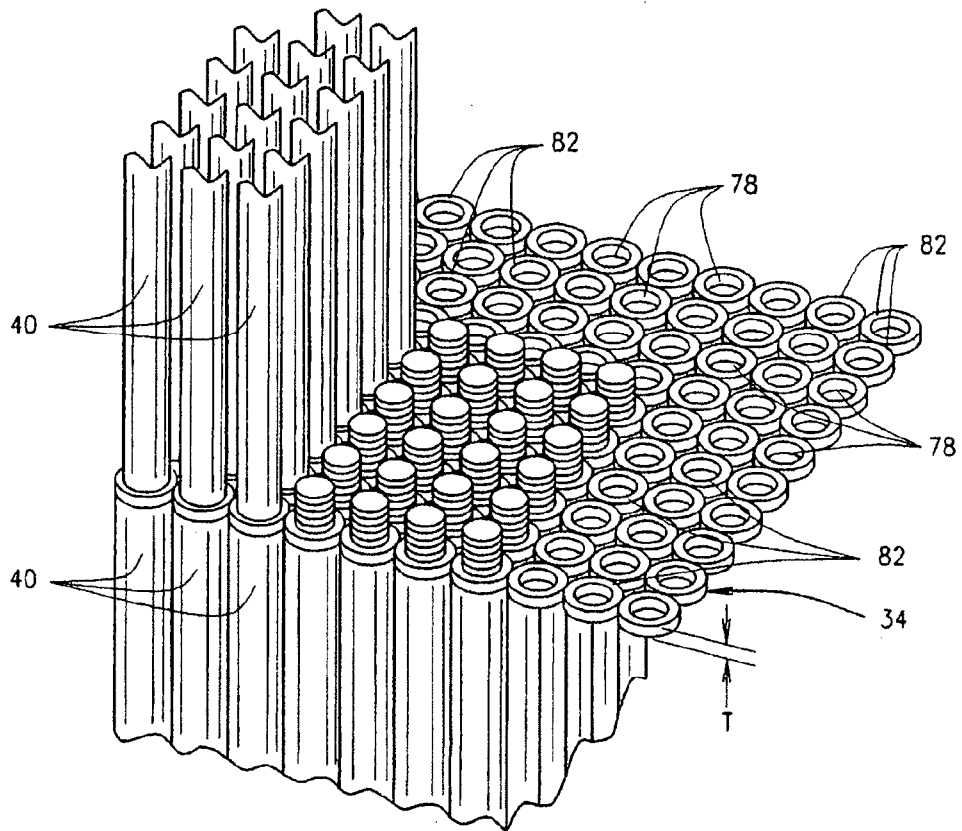


FIG. 6

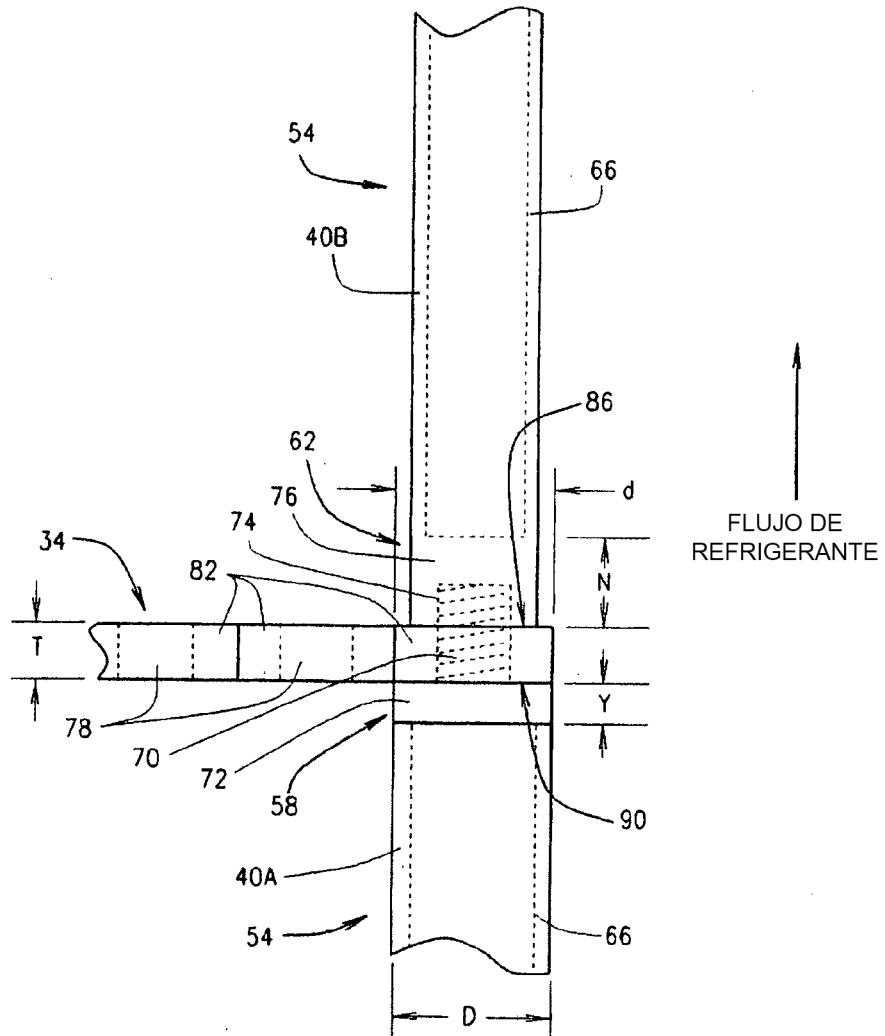


FIG. 7