

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 280**

51 Int. Cl.:

G21C 3/16 (2006.01)

G21C 3/326 (2006.01)

G21G 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2011 E 11180346 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.05.2014 EP 2428966**

54 Título: **Conjunto de barras de combustible para reactores nucleares**

30 Prioridad:

10.09.2010 US 879612

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

21.07.2014

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**HIGGINS, RUSSELL PATRICK;
MILLS, VERNON W.;
SMITH, DAVID GREY;
LUCIANO, GERALD ANTHONY;
VAN SLYKE, ROGER HOWARD;
RUSSELL, II WILLIAM EARL y
BLOOMQUIST, BRADLEY D.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 478 280 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Conjunto de barras de combustible para reactores nucleares

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere, en general, a reactores nucleares y, más particularmente, a un conjunto de barras para un reactor nuclear.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 La configuración actual para la generación de isótopos dentro de haces normales de combustible de producción de, por ejemplo, un reactor de agua en ebullición implica la colocación de una barra de múltiples segmentos en al menos uno de las ubicaciones de barras de combustible. Al menos un segmento de la barra de múltiples segmentos incluye isótopos diana. Otros segmentos también pueden incluir isótopos diana, pero a cambio pueden incluir combustible nuclear. Existen puntos de conexión entre los segmentos axialmente adyacentes, y no se pueden colocar isótopos o combustible nuclear en los puntos de conexión. Como resultado, las barras de combustible adyacentes a estas barras de múltiples segmentos experimentan un aumento de la potencia relativa en las elevaciones de los puntos de conexión. Actualmente esto se aborda limitando el enriquecimiento en las barras de combustible adyacentes. La limitación de enriquecimiento puede dar lugar a reducciones de rendimiento nuclear para esas barras de combustible.

- 15 El documento US 2009/0122946 A1 divulga un conjunto de barra de un haz de combustible de un reactor nuclear. El documento US 2010/0030008 A1 divulga barras de restos segmentadas para la manipulación de restos nucleares y los procedimientos de uso y fabricación de tales barras de restos segmentadas.

Sumario de la invención

Realizaciones ejemplares de la presente invención se refieren a un conjunto de barras de un haz de combustible de un reactor nuclear.

- 25 En consecuencia, se proporciona una barra de múltiples segmentos para un haz de combustible de un reactor nuclear, estando la barra en conformidad con la reivindicación 1 en el presente documento.

- 30 El material de absorción de neutrones no es combustible nuclear, y puede ser el mismo material que o incluir el mismo material que la diana de irradiación. Mediante la inclusión de un material de absorción de neutrones en la estructura de acoplamiento, un aumento de potencia relativa en las elevaciones de los puntos de conexión entre segmentos de la barra puede ser reducido y/o eliminado. Como resultado, el enriquecimiento en las barras de combustible adyacentes no necesita ajustarse, y las reducciones de rendimiento nuclear pueden ser mitigadas y/o eliminadas.

Otra realización proporciona un haz de combustible para su uso en un reactor nuclear. El haz de combustible incluye una pluralidad de barras, y al menos una de las barras es una barra de múltiples segmentos como se describió anteriormente.

- 35 También se describe un procedimiento de fabricación de una barra de múltiples segmentos. El procedimiento incluye la colocación de al menos una diana de irradiación dentro de al menos uno de una pluralidad de segmentos de barra, y el acoplamiento de la pluralidad de segmentos de barra entre sí en una dirección axial por medio de las estructuras de acoplamiento para formar la barra de múltiples segmentos. Al menos una porción de al menos una estructura de acoplamiento incluye un material de absorción de neutrones.

- 40 También se describe un procedimiento de fabricación de un haz de combustible. El procedimiento incluye la formación de una pluralidad de barras, en donde al menos una de las barras es una barra de múltiples segmentos. Esta etapa de formación incluye la colocación de al menos una diana de irradiación dentro de al menos uno de una pluralidad de segmentos de barra, y el acoplamiento de la pluralidad de segmentos de barra entre sí en una dirección axial a través de las estructuras de acoplamiento para formar la barra de múltiples segmentos. Al menos una porción de al menos una estructura de acoplamiento incluye un material de absorción de neutrones. El procedimiento incluye además la formación de un haz de combustible que incluye al menos un separador y la pluralidad de barras mediante la colocación de la pluralidad de barras en el al menos un separador de tal manera que cada separador contacta directamente sólo con las estructuras de acoplamiento a lo largo de la longitud axial de la barra de múltiples segmentos.

Breve descripción de los dibujos

50 La presente invención se hará más evidente mediante la descripción, en detalle, de realizaciones ejemplares de la misma con referencia al dibujo adjunto, en el que los elementos similares están representados por números de referencia similares, que se dan a modo de ilustración solamente y por lo tanto no limitan las realizaciones

ejemplares de la presente invención.

La figura 1A ilustra un haz de combustible ejemplar de un reactor nuclear.

La figura 1B ilustra un área de contacto del separador con la barra dentro del haz de combustible, que muestra donde los restos podrían alojarse o ser arrastrados dentro del haz de combustible de la figura 1A.

5 La figura 1C ilustra un separador que está restringido entre las lengüetas a una barra de agua con lengüetas y las áreas de contacto dentro de un separador, donde los restos se podrían alojar o ser arrastrados dentro del haz de combustible de la figura 1A.

La figura 2A ilustra un conjunto de barras de un haz de combustible de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

10 La figura 2B ilustra una vista en despiece ordenado de una porción de la figura 2A para ilustrar el conjunto de barras con mayor detalle.

Las figuras 3A y 3B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustra el subconjunto adaptador macho para el conjunto de barras de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

15 Las figuras 4A y 4B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustra el subconjunto de adaptador hembra de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención.

Las figuras 5A y 5B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustra una pieza de extremo inferior a modo de ejemplo del conjunto de barra de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

20 Las figuras 6A-6E son vistas que ilustran un conjunto de recipiente a modo de ejemplo con contenidos adaptados para la inserción en un segmento dado de la barra del conjunto de barras, de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

La figura 7 ilustra un conjunto de barras de un haz de combustible de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención.

Las figuras 8A-B son vistas que ilustran un subconjunto adaptador para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención.

25 Las figuras 9A-B son vistas que ilustran un mini-subconjunto para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención.

Las figuras 10A-B son vistas que ilustran un adaptador de enchufe de extremo superior para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la presente invención.

30 Las figuras 11A-B son vistas que ilustran un adaptador de enchufe de extremo inferior para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la presente invención.

Las figuras 12A-C son vistas que ilustran un subconjunto adaptador para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención.

La figura 13 es una vista en detalle de una barra segmentada de un ejemplo de realización.

Las figuras 14A-C y 15A-C ilustran estructuras adicionales de acoplamiento de un ejemplo de realización.

35 **Descripción detallada de las realizaciones ejemplares**

La figura 1A ilustra un haz de combustible ejemplar de un reactor nuclear tal como un BWR. Un haz de combustible 10 puede incluir un canal exterior 12 que rodea a una placa de anclaje superior 14 y una placa de anclaje inferior 16. Una pluralidad de barras de combustible de longitud total 18 y/o barras de combustible de longitud parcial 19 puede estar dispuesta en una matriz dentro del haz de combustible 10 y pasar a través de una pluralidad de separadores (también conocidos como rejillas separadoras) 20 verticalmente espaciados uno de otro para mantener las barras 18, 19 en la matriz dada de los mismos.

40 Las barras de combustible 18 y 19 con al menos un par de barras de agua 22 y 24 se pueden mantener en relación espaciada entre sí en el haz de combustible 10 por una pluralidad de separadores 20 proporcionados en diferentes posiciones axiales en el haz de combustible 10 con el fin de definir pasajes para el flujo de refrigerante del reactor entre las barras de combustible 18, 19 en el haz de combustible 10. Pueden ser típicamente entre cinco y ocho separadores 20 espaciados a lo largo de toda la longitud axial del haz de combustible 10 para mantener las barras de combustible 18, 19 en la disposición deseada de la misma. El separador 20 se puede realizar como cualquier tipo de separador, por ejemplo, separadores de tipo casquillo o separadores del tipo descrito e ilustrado en la patente No. 5.209.899.

En la figura 1A, la matriz puede ser una disposición de 10 x 10, aunque el haz de combustible ilustrativo 10 puede tener una disposición diferente de la matriz de barras 18, 19 tal como una disposición de 9 x 9. El haz 10 puede incluir todas las barras de combustible de longitud total 18 y/o una combinación de barras de combustible de longitud total 18 y de longitud parcial 19, como es sabido. Cada una de las barras de combustible de longitud total 18 y las barras de combustible de longitud parcial 19 está revestida, como se conoce en la técnica. Las barras de agua 22 y 24 (se muestran dos, puede haber más o menos barras de agua en el haz 10) pueden dispersarse entre las barras de combustible 18, 19 en el haz 10, entre la placa de anclaje inferior 16 y la placa de anclaje superior 14. Las barras de agua 22, 24 sirven para transferir fluido desde las regiones inferiores del haz de combustible nuclear 10 a las regiones superiores, donde el agua se dispersa a través de aberturas situadas en la parte superior de las barras de agua, como se muestra.

La figura 1B ilustra un separador de la ubicación de barra en el haz de combustible 10 de la figura 1A. En particular, la figura 1B ilustra áreas de captura de restos ejemplar 50a-50d entre una barra de combustible dada 18 y el separador 20 para mostrar dónde los restos podrían ser atrapados o arrastrados para exacerbar el problema de desgaste por rozamiento.

La figura 1C ilustra un separador a la ubicación de la barra de agua en el haz de combustible 10 de la figura 1A y a modo de ejemplo las áreas de captura de restos 50a-50e entre una barra de agua 22, 24 dada y el separador 20 para mostrar donde los restos podrían llegar a alojarse o ser arrastrados para causar potencialmente rozamiento con una barra adyacente 18, 19. Las barras de agua 22 y 24 están unidas por un separador 20. El separador 20 está unido por un par de pestañas o lengüetas radialmente dirigidas 34 y 36 que se encuentran en lados opuestos del separador 20, para mantener el separador en la elevación deseada. Durante las operaciones de potencia del reactor, los restos pueden ser transportados por el refrigerante del reactor y puede ser alojados en y alrededor de la circunferencia de las barras de agua 22, 24 y el separador 20 dentro de haz 10. La interacción repetida entre los restos arrastrados en el separador 20 y las barras de agua 22, 24 puede resultar en el desgaste por rozamiento antes mencionado y el daño potencial a las barras adyacentes 18, 19 y/o las barras de agua 22, 24.

La figura 2A ilustra un conjunto de barra 100 para un haz de combustible 10 de acuerdo con una realización ejemplar de la invención. En un esfuerzo para proporcionar una barra sin roces diseñada con el fin de eliminar sustancialmente el desgaste por el roce, como se describe en una técnica convencional, se describe un conjunto de barra 100 (también denominado a veces como una barra de múltiples segmentos o barra de piezas múltiples) que incluye una pluralidad de partes o segmentos de barra revestida 110. Como se muestra en la figura 2A, un conjunto de barras 100 puede incluir una pluralidad de segmentos de barra 110 (dos segmentos de barra adyacentes se muestran como 110a y 110b) 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 para unirse con las placas de anclaje inferior y superior del haz de combustible 10 (no mostrado), como es sabido. Segmentos adyacentes de la barra 110a, 110b pueden estar interconectados entre sí a través de una estructura de acoplamiento 300, que se muestra en general dentro de la línea circular de puntos de la figura 2A. Las estructuras de acoplamiento también pueden ser referidas como subconjuntos de adaptador. Sólo un conjunto de barra 100 se muestra en la figura 2A, en el entendimiento de que uno o más de los conjuntos de barras 100 que se muestran en la figura 2A pueden ser insertados en un haz de combustible, tales como del haz de combustible 10 que se muestra en la figura 1A.

Los segmentos de barra 110 pueden estar fijados entre las piezas de los extremos superior e inferior 120, 130 y entre sí para formar toda la longitud axial del conjunto de barras 100. En un ejemplo, un segmento de barra 110a, 110b de un segmento de barra y una de cada una de las piezas de extremo superior e inferior 120, 130 pueden estar conectadas por estructuras de acoplamiento 300 en las conexiones de puntos a lo largo de la longitud axial del conjunto de barras 100 en las que el conjunto de barra contacta con los separadores 20. Aunque sólo se muestran tres separadores 20 y las estructuras de acoplamiento 300 en la figura 2A por razones de brevedad, se debe entender que el haz de combustible 10 podría incluir uno o más conjuntos de barras 100, teniendo cada uno al menos un segmento de barra 110a y al menos un segmento de barra 110b conectados por estructuras de acoplamiento 300 en cualquier número de ubicaciones del separador 20. Los segmentos de barra 110a, 110b pueden ser segmentos de longitud fija o variable.

En esta realización ejemplar, los segmentos de barra y de las estructuras de acoplamiento asociadas se construyen de un material que es resistente a la corrosión y compatible con los otros componentes del reactor. Un material ejemplar puede ser una aleación de circonio, por ejemplo.

De manera deseable, una parte de cada separador 20 contacta con el conjunto de barras 100 en cada una de las estructuras de acoplamiento 300 para así cubrir sustancialmente las estructuras de acoplamiento 300 y/o puntos de conexión 115 entre los segmentos de barra 110, o cubrir sustancialmente una estructura de acoplamiento 300 o el punto de conexión 115 que conecta un determinado segmento de barra 110 y una de las piezas de los extremos superior e inferior 120 y 130. De acuerdo con ello, pueden ser eliminadas las consecuencias del rozamiento del conjunto de barra 100 en estos puntos 115 y/o las estructuras de acoplamiento 300 dentro de un separador 20 dado. Si bien todavía se puede producir desgaste por rozamiento, el desgaste por el rozamiento en el conjunto de barras 100 se produce en la estructura de acoplamiento 300, en lugar de en un segmento 110a, b. En consecuencia, esto puede eliminar la potencial liberación de los contenidos de dentro de un segmento de barra 110 dado al refrigerante del reactor.

Como se muestra en la figura 13, se ilustra la barra de combustible de varios segmentos 100 de la figura 2A. La barra de combustible de varios segmentos 100 se divide en varios segmentos 110a, 110b, 110c, 110d, 110e, 110f y 110g que se conectan entre sí a través de una estructura de acoplamiento 300 correspondiente en los puntos de conexión 115 (como se muestra anteriormente) para formar una barra de combustible de segmentos múltiples contiguos 100' (como es evidente por las líneas de conexión de puntos 111 en la figura 13). La figura 13 ilustra también ampliaciones de vistas en sección transversal I-VII del recipiente diana 600 en cada uno de los segmentos 110a, 110c, 110e, 110f y 110g de la barra de varios segmentos 100.

Las vistas I y II muestran una pluralidad de estructuras de contención 600 dentro de la barra 100 que están alojando varias dianas diferentes, que se muestra como una diana en forma de líquido, sólido y de gas 620 en un solo segmento de barra 110A. Además, las ampliaciones I y II ilustran marcas 650 que se pueden colocar en las estructuras de contención 600 dentro de un determinado segmento de barra 110a, 110c, 110e, etc. Como se muestra, las marcas 650 pueden indicar si la diana está o no en forma sólida, líquida o de gas, y también puede proporcionar el nombre del isótopo diana y/o el nombre del isótopo a ser producido debido a la irradiación, por ejemplo (no se muestra en la figura 13 para mayor claridad).

Los segmentos de barra 110b y 110d se muestran para contener combustible nuclear 660, como se muestra en las ampliaciones III y IV, por ejemplo. Por supuesto, en una alternativa, la barra de segmentos múltiples 100 puede estar compuesta de una pluralidad de segmentos de barra 110 en la que ningún segmento 110 incluye combustible nuclear, tal como se describe anteriormente. La ampliación V del segmento de barra 110e ilustra un conjunto de recipiente 600 que incluye una diana que está en forma gaseosa. La ampliación VI del segmento de barra 110f ilustra un conjunto de recipiente 600 dentro del segmento de barra 110f que incluye una diana 620 en forma líquida. La ampliación VII del segmento de barra 110g ilustra un conjunto de recipiente 600 que incluye una diana sólida 620, que se muestra como una sola columna de Co-59 BBs, que puede ser irradiada para producir el isótopo deseado, en este caso, Co-60. Cada uno de los conjuntos de recipientes 600 por lo tanto puede ser en envasado previamente con el material de isótopo diana 620 en forma sólida, líquida o de gas, para la inserción en un segmento de barra 110 correspondiente de la barra de segmentos múltiples 100, por ejemplo.

Además, puesto que cada uno de los conjuntos de recipientes 600 están sellados por tapones extremos 630 en un extremo 612 y por roscas exteriores 601 y una junta tórica 602 en el primer extremo 611 (como se muestra previamente en las figuras 6A, 6D y 6E), la extracción de un segmento particular 110 en su punto de conexión 115 (es decir, en la desconexión de la estructura de acoplamiento 300 en el punto de conexión 115 entre dos segmentos 110) no causará una ruptura que exponga la diana de irradiación 620 al refrigerante del reactor. Por lo tanto, el conjunto de recipiente 600' junto con el revestimiento exterior del segmento de barra 110 proporciona una contención de doble pared para la diana de irradiación 620.

La figura 2A ilustra una estructura de acoplamiento o subconjunto adaptador 300 a modo de ejemplo entre los segmentos de barra adyacentes 110a y 110b en detalle transparente (es decir, líneas de trazos ilustran componentes dentro de los segmentos de barra 110 y/o el subconjuntos adaptador 300) con el fin de mostrar los puntos de soldadura 155 entre un segmento de barra adyacente 110b y una parte del subconjunto adaptador 300. La figura 2A ilustra también (en líneas de trazos) de un conjunto de recipiente 600 opcional proporcionado dentro de uno o más de los segmentos de barra 110 para las aplicaciones descritas en detalle a continuación. Los segmentos de barra pueden o no pueden incluir un conjunto de recipiente 600 en el mismo. Además, en la figura 2A, se ilustra una porción recortada o línea de ruptura rebajada 360. Como se describe con más detalle a continuación, la línea de ruptura rebajada 360 proporciona una ubicación alternativa para romper un subconjunto adaptador 300/segmento de barra 110 en particular para eliminar un segmento de barra particular 110 del conjunto de barra 100, que puede ser deseable para reducir longitud en el transporte, etc., por ejemplo.

La figura 2B ilustra una vista en despiece ordenado de una porción de la figura 2A para ilustrar el conjunto de barras con mayor detalle. Algunas partes de la figura 2B también se muestran en línea de trazos (líneas de puntos) para indicar componentes dentro de un interior de un segmento de barra 110a, 110b o subconjunto 300. El subconjunto de adaptador 300 puede incluir un enchufe adaptador macho 330 que se une a un segmento de barra 110a a través de una soldadura en la junta de soldadura 155. Del mismo modo, el subconjunto de adaptador 300 puede incluir un enchufe adaptador hembra 350 que puede estar unido en un extremo a un segmento de barra 110b a través de una soldadura en la junta de soldadura 155. Tanto el enchufe adaptador macho como el hembra 330, 350 puede incluir una pluralidad de depresiones en forma de tuerca 357 alrededor de una circunferencia exterior del mismo. En general, las depresiones 357 pueden facilitar la extracción/el desmontaje de un segmento de barra 110 dado, pieza de extremo superior 120 o pieza de extremo inferior 130 por una herramienta adecuada durante un corte de mantenimiento, por ejemplo.

En la figura 2B, las depresiones 357 pueden incluir superficies en ángulo empotradas en los extremos opuestos de las mismas, tales como el ángulo de los bordes 380, para evitar daños en el separador 20 durante la inserción o el montaje del conjunto de barras 100 en el haz de combustible 10 del reactor. Además, como se muestra en forma de línea de puntos, cada uno de los enchufes adaptadores macho y hembra 330 y 350 puede incluir elementos de alineación de soldadura 355 para facilitar la inserción del enchufe adaptador correspondiente 330, 350 en un extremo de un segmento de barra 110 dado para soldar el enchufe 330/350 al segmento 110 en la junta de soldadura 155.

Las figuras 3A y 3B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustran parte de un subconjunto de adaptador para el conjunto de barras de acuerdo con una realización ejemplar de la invención. Como se muestra en las figuras 3A y 3B, el enchufe adaptador macho 330 puede estar unido (tal como mediante una soldadura) al segmento de barra 110 en un primer extremo 332. Un segundo extremo 334 del enchufe adaptador macho 330 puede insertarse en una cámara correspondiente o en la cavidad del enchufe adaptador hembra 350. El enchufe adaptador macho 330 puede incluir el elemento de alineación de soldadura 335 antes mencionado, como parte de una sección cilíndrica 333, que incluye las depresiones 357 alrededor de la circunferencia de la misma con los bordes en ángulo 380. Un elemento intermedio 339 conecta la sección cilíndrica 333 a una sección alargada 338. La sección alargada 338 puede estar roscada, como se muestra en la figura 3A. La sección alargada 338 se estrecha en un extremo generalmente en forma de cono 336 en el segundo extremo del enchufe adaptador macho 334. El extremo en forma de cono 336 representa una ayuda de alineación automática para la conexión del enchufe adaptador hembra 350 y el enchufe adaptador macho 330 como un único subconjunto adaptador 300.

El enchufe adaptador macho 330 puede estar hecho de un material que es resistente a la corrosión y compatible con los otros componentes del reactor, tales como una aleación de circonio, tal como se conoce en la técnica.

Las figuras 4A y 4B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustran otra parte del subconjunto de adaptador de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención. Como se muestra en las figuras 4A y 4B, el enchufe adaptador hembra 350 tiene un primer extremo 352 para el acoplamiento con un determinado segmento de barra 110 (no mostrado) y un segundo extremo 354 para recibir el extremo en forma de cono 336 y el elemento alargado 338 del enchufe adaptador macho 330 en el mismo. El enchufe adaptador hembra 350 puede incluir un elemento de alineación de soldadura 355 y una sección generalmente cilíndrica 353, que tiene una pluralidad de depresiones en forma de tuerca 357 alrededor de la circunferencia con bordes en ángulo 380 en el primer extremo 352 para facilitar la extracción del enchufe adaptador hembra 350 y/o la extracción de un segmento de barra adyacente.

El adaptador hembra 350 incluye una cavidad interior 358. Una superficie de la cavidad 358 puede incluir una pluralidad de roscas de acoplamiento 356 para recibir roscas correspondientes (ver la figura 3A) en la sección alargada 338 del enchufe adaptador macho 330. La cavidad 358 puede tener una parte en ángulo cóncavo 359 en un extremo de la misma que es configurable como una ayuda de alineación automática para recibir el extremo en forma de cono 336 para conectar el enchufe adaptador macho 330 dentro del enchufe adaptador hembra 350.

Como se muestra en la figura 4B, la sección cilíndrica 353 del enchufe adaptador hembra 350 puede incluir una línea de ruptura rebajada 360 en el segundo extremo 354. La línea de ruptura rebajada 360 también puede ser referida como una sección recortada, por ejemplo. El recorte se puede diseñar en cada uno de los subconjuntos del adaptador 300 de modo que un segmento de barra 110 dado puede ser roto de manera segura al quebrar y/o cortar una sección suelta sin desatornillar las juntas de conexión 115 de la figura 2B. Esto se ilustrará en más detalle a continuación.

En otro aspecto, como las roscas de la sección alargada 338 se acopla a las roscas de acoplamiento correspondientes 356 dentro de la cavidad 358 del enchufe adaptador hembra 350, la línea de ruptura rebajada 360 se alinea con el elemento intermedio 339 del enchufe adaptador macho 330. Dado que el diámetro del elemento intermedio 339 es menor que un diámetro de la sección cilíndrica 333, esto representa una 'área debilitada' que facilita el corte, quiebre o rotura del subconjunto adaptador 300 de la figura 2B en esa ubicación. La línea de ruptura rebajada 360 puede proporcionar así una identificación visual de dónde cortar un subconjunto adaptador 330 de la figura 3B, en el caso del reemplazo del segmento 110 de la figura 2B, del reemplazo del subconjunto adaptador 300 de la figura 2B, etc.

Las figuras 5A y 5B son perfiles en perspectiva y en vista lateral que ilustran una pieza de extremo inferior a modo de ejemplo del conjunto de barra de acuerdo con una realización ejemplar de la invención. Como se muestra en las figuras 5A o 5B, una o ambas de las piezas de los extremos superior e inferior 120 y 130 de la figura 2A puede estar formado como un conjunto de pieza de extremo sólido 500. El conjunto de pieza de extremo sólido puede estar hecho de un material metálico sólido, por ejemplo. El conjunto de pieza de extremo 500 puede incluir una porción de enchufe de extremo 505 en un extremo del mismo y puede tener un subconjunto adaptador de pieza de extremo integral 530 en el otro extremo del mismo para el acoplamiento roscado con un segmento adaptador hembra 350 correspondiente de la figura 4B dentro de un segmento de barra adyacente 110 de la figura 2B.

El conjunto de pieza de extremo 500 puede fabricarse de Zircaloy sólido y no necesariamente tener cualquier combustible nuclear (uranio enriquecido) o venenos (gadolinio) cargados en su interior, ya que de flujo axial cerca de la parte superior e inferior de un haz de combustible tal como haz de combustible 10 de la figura 1A es generalmente sustancialmente menor que entre las piezas de los extremos superior e inferior 120 y 130 de la figura 2A, por ejemplo. Las figuras 5A y 5B de este modo pueden ilustrar un enchufe de extremo reutilizable (reutilizable, ya sea como una pieza de extremo superior o pieza de extremo inferior) que se puede quitar con relativa facilidad a partir de un segmento adyacente 110 de la figura 2B del conjunto de barra 100 de la figura 2A durante un corte de mantenimiento programado.

Las figuras 6A-6E son vistas que ilustran un conjunto de recipiente a modo de ejemplo con contenidos adaptados

para la inserción en un segmento de barra 110 dado del conjunto de barra 100 de la figura 2A, de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

5 En una realización ejemplar de la presente invención, los diversos de los segmentos de barra 110 pueden incluir un conjunto de recipiente 600 en el mismo, como se muestra previamente en la figura 2B. En un ejemplo, el conjunto de recipiente 600 puede albergar o contener contenidos seleccionados. Un ejemplo de este tipo de contenido puede ser una o más dianas de irradiación que producen uno o más isótopos deseados cuando un haz del combustible que contiene el conjunto de barras 100 se irradia en el núcleo del reactor. Uno o más segmentos de barra 110 del conjunto de barra 100 pueden incluir cada uno la misma diana, diferentes dianas o múltiples dianas de irradiación, por ejemplo.

10 Haciendo referencia a las figuras 2A y 2B, en un aspecto ejemplar de la invención, al menos uno de los segmentos de barra 110 de conjunto de barras 100 incluye un conjunto de recipiente 600 en el mismo, y ninguno de los otros segmentos de barra 110 de conjunto de barras 100 (ni tampoco de las piezas de los extremos 120, 130) contiene ningún combustible/venenos nucleares. En otro aspecto, uno o más de los segmentos de barra 110 del conjunto de barras 100 puede incluir enriquecimientos deseados de uranio y/o concentraciones de gadolinia. Las ubicaciones y las concentraciones pueden estar basadas en las características deseadas del haz 10 para un ciclo de energía previsto, por ejemplo. Un segmento de barra 110 que incluye una diana de irradiación puede también no incluir el combustible nuclear, aunque los segmentos de barra adyacentes 110 pueden incluir combustibles nucleares en los mismos.

20 Haciendo referencia ahora a las figuras 6A-6E, el conjunto de recipiente 600 mostrado inicialmente en líneas de trazos en las figuras 2A y 2B pueden incluir un recipiente 610 que alberga una diana de irradiación 620 en el mismo. El recipiente 610 puede estar cerrado en un extremo 611, abierto en el otro extremo 612 y puede incluir un sello 613 para cerrar el recipiente por una tapa de extremo adecuada 630, como se muestra en la figura 6D, aunque las tapas de extremo 630 pueden estar provistas en ambos extremos. Aunque el recipiente 610 se muestra teniendo una forma generalmente cilíndrica, el recipiente 610 puede estar orientado en cualquier forma geométrica, siempre y cuando el diámetro mayor de la forma sea menor que el diámetro interior del segmento de barra 110. El recipiente 610 puede estar hecho de un material adecuado, tal como aleaciones de circonio, por ejemplo.

25 El recipiente 610 puede albergar una o más diana de irradiación 620. La diana de irradiación 620 que se muestra en la figura 6B se ilustra en una forma generalmente cilíndrica. Sin embargo, la diana de irradiación 620 se puede realizar como un sólido, líquido y/o gas, y puede adoptar cualquier geometría, siempre que el diámetro de la geometría sea lo suficientemente pequeño como para caber en el interior del recipiente 610 (menor que un diámetro interior del recipiente 610) dentro de un segmento de barra 110 dado. El recipiente 610, acoplado con su segmento de barra revestida 110, por lo tanto, proporciona una contención de doble pared para la diana de irradiación 620 cuando está en su lugar dentro del segmento de barra 110.

30 La figura 6E ilustra un frente transparente o vista lateral del conjunto de recipiente 600, para mostrar el recipiente 610 que aloja la diana de irradiación 620 en el mismo y sellado por el enchufe de extremo 630 en la ubicación 613. Opcionalmente, un interior del recipiente 610 puede incluir un muelle 640 para proporcionar una fuerza contraria contra la diana de irradiación 620 cuando se sella mediante el enchufe de extremo 630. El enchufe de extremo 630 puede estar fijado al recipiente 610 por medios adecuados de fijación, es decir, soldadura, unión roscada, conexión de fricción, etc.

35 En otro aspecto, el recipiente 600 que aloja la diana de irradiación 620 en el mismo, tiene un primer extremo 611 que tiene un orificio piloto 603 para retirar la diana de irradiación 620 después de la irradiación. El primer extremo 611 puede incluir roscas exteriores 601 y una junta tórica 602 que se utiliza para sellar el envase 600 cuando se inserta en una pieza de equipo. El orificio piloto 603 tiene roscas interiores para ayudar en la extracción del recipiente 600 del segmento de barra 110.

40 La diana de irradiación 620 puede ser una diana seleccionada del grupo de isótopos que comprenden uno o más de cadmio, cobalto, iridio, níquel, talio, tulio isótopo, por ejemplo, o cualquier otro isótopo que tiene un número atómico mayor que 3 y menor que 90. En concreto, la diana de irradiación 620 no es combustible nuclear. De manera deseable, un segmento 110 dado y/o conjunto de recipiente 600 pueden incluir índices o indicadores sobre el mismo para indicar qué diana de irradiación 620 se carga en ese segmento de barra 110/recipiente 600, por ejemplo, y/o qué isótopo se producirá a partir de esa diana.

45 La figura 7 ilustra un conjunto de barras de un haz de combustible de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención. La figura 7 ilustra un conjunto de barras 100' de acuerdo con otra realización ejemplar de la presente invención. En la figura 7, sólo se muestran unos pocos segmentos de barra 110 del conjunto de barra 100' con fines de brevedad, en el entendimiento de que el conjunto de barras 100' puede incluir segmentos de barra adicionales 110 y los separadores 20. En un ejemplo, el haz de combustible 10 puede incluir ocho separadores 20 con varios tamaños de segmentos (diferente longitud) de barra 110 unidos a las piezas de los extremos superior e inferior 120 y 130 con un muelle de expansión 125 adjunto encima de la pieza de extremo superior 120, como se conoce en la técnica.

A diferencia de la figura 2A, en la figura 7 "mini-subconjuntos" de adaptadores 300a de diferentes tamaños pueden ser proporcionados en varios lugares de manera que los puntos de conexión entre dos segmentos de barra adyacentes 110 no se producen en la ubicación del separador (es decir, en el separador 20). La figura 7 también ilustra una sección rebajada 160 (salto de línea segmentada 360 en la figura 2B), así como un conjunto de recipiente 5 600' con más detalle. Como puede ser deseable tener ubicaciones adicionales para eliminar más fácilmente segmentos de barra 110, que incluyen un conjunto de recipiente 600' en el mismo (para la extracción del conjunto de recipiente 600' y el envío a un cliente deseado), el conjunto de barras 100' puede incluir subconjuntos de adaptador 300 de diferente longitud, tales como mini-subconjuntos 300a y subconjuntos ampliados para usar entre los segmentos adyacentes de la barra 110 de diferentes longitudes, por ejemplo. Uno o más de los conjuntos de barras 10 100' mostrado en la figura 7 se pueden insertar en un haz de combustible tal como el haz de combustible 10 que se muestra en la figura 1A. Además, un conjunto de barras 100 o 100' podrían tener ambos subconjuntos de adaptador 300 en las ubicaciones del separador 20, así como uno o más mini-subconjuntos 300a entre los separadores 20 para la conexión de segmentos de barra adyacentes 110, y/o para la conexión de un segmento de barra 110 a una de una pieza de extremo superior o inferior 120, 130 (como se muestra en la figura 2A) o uno de un conjunto de 15 pieza de extremo superior 1000 y un conjunto de pieza de extremo inferior 1100, como se muestra en la figura 7.

Como se muestra también en la figura 7, un segmento de barra 110 dado puede incluir múltiples conjuntos de recipiente 600' en el mismo. En la figura 7, el conjunto de recipiente 600' puede incluir una pluralidad de dianas de irradiación en forma de "BB", que es otra forma alternativa para la diana de irradiación de acuerdo con la presente invención.

20 En consecuencia, como se muestra en la figura 7, el conjunto de barras 100' puede incluir mini-subconjuntos de adaptador 300a de varios tamaños que se pueden utilizar, además del subconjunto adaptador de tamaño fijo 300 que se describe en la figura 2A. Esto puede producir un único conjunto de barras de articulaciones múltiples 100' que tiene más de un uso. Este utiliza diferentes niveles de flujo de neutrones en el reactor para variaciones en el grado de producción de isótopos en la diana.

25 Como un ejemplo, el conjunto de barras 100' puede contener una pluralidad de dianas de irradiación en varias ubicaciones dentro de los segmentos de barra de diferentes tamaños 110, y todavía mantiene la misma longitud de una barra de combustible de longitud completa estándar 18 o de la barra de longitud parcial 19 dentro de un haz de combustible 10 de la figura 1A, y/o proporcionar un conjunto de barra 100' que tiene la misma longitud que una barra de longitud parcial dentro del haz de combustible 10 de la figura 1A, por ejemplo. Diferentes segmentos de barra 110 30 del conjunto de barra 100' pueden ser extraídos y/o volver a conectarse a diferentes puntos de conexión a lo largo de la longitud axial del conjunto de barra 100'. Un determinado segmento de barra 110 y/o el mini-subconjunto de adaptador 300a puede ser extraído mediante el destornillando, corte y/o quebrado o ruptura de una sección específica suelta en su punto de conexión o en la sección recortada 160, por ejemplo.

35 Además, como se muestra en la figura 7, las dianas de irradiación 620 pueden ser colocadas en conjuntos de recipientes envasados previamente 600' que pueden facilitar el envío directamente desde el sitio del reactor al cliente receptor. Dichos recipientes envasados previamente 600' pueden contener diferentes materias objeto de irradiación, si los isótopos diana están en forma sólida, líquida o de gas y se colocan dentro de un segmento de barra 110.

40 Las figuras 8A-8B son vistas que ilustran un subconjunto adaptador para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención; y las figuras 9A-9B ilustran el minisubconjunto 300a con mayor detalle. La figura 8A muestra un enchufe adaptador macho 330' y una dirección de inserción en el adaptador hembra 350'. La figura 8B ilustra el acoplamiento conectivo entre los enchufes adaptadores macho y hembra 330', 350' como parte de un subconjunto de adaptador 300' ejemplar.

45 Las figuras 8A y 8B ilustran un subconjunto adaptador 300' de mayor longitud que el que se muestra en las figuras 3A-3B y las figuras 4A-4B, o en las figuras 9A-9B. Por ejemplo, cuanto más larga sea la sección 338A del segmento adaptador macho 330' más largo se puede proporcionar un subconjunto adaptador 300' que permite la conexión de una sección de menor longitud de segmento de barra 110 para ser intercambiables con un segmento de barra mucho más largo/más pesado 110, si fuera necesario. En la figura 8A, la longitud de la sección 338A más larga se indica como "y*n" con el fin de distinguirla de la longitud de la sección alargada 338B más corta en el mini-subconjunto 300a de la figura 9A. Del mismo modo, la longitud total del subconjunto adaptador 300' en la figura 8B 50 puede ser más larga que el correspondiente mini-subconjunto 300a en la figura 9B en un número entero múltiplo n, o por una adición de un número entero n de la longitud "x" del mini-subconjunto 300a en la figura 9B.

55 El mini-subconjunto de dos piezas, más pequeño 300a de las figuras 9A-B se puede usar en ubicaciones entre el separador 20 para la producción de subconjuntos más pequeños de segmentos de barra 110. Cuanto más pequeño es el mini-subconjunto adaptador de dos piezas 300a de la figura 9B se puede utilizar en el mismo conjunto de barras 100' como el subconjunto adaptador de dos piezas más grande 300' que se muestra en la figura 8B, por ejemplo.

Las figuras 10A-B son vistas que ilustran un adaptador de pieza de extremo superior para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la presente invención. Las figuras 11A-B son vistas que ilustran un

adaptador de pieza del extremo inferior para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la presente invención.

Las figuras 10A-11B ilustran realizaciones alternativas a la asamblea contera 500 se muestra en las figuras 5A y 5B. Las figuras 10A y 10B ilustran un conjunto de piezas de extremo superior 1000. El conjunto de pieza de extremo superior 1000 puede incluir un subconjunto adaptador de pieza del extremo superior 1330 en un extremo y la pieza de extremo superior 1310 conectada al mismo en el otro extremo, que puede contener roscas. A diferencia del conjunto de piezas de extremo integral 500 mostrado en las figuras 5A y 5B, en las figuras 10A y 10B, la pieza del extremo superior 1310 se une a un enchufe adaptador hembra 1350 similar al enchufe adaptador hembra 350 tal como se describe en las figuras 4A y 4B. El enchufe adaptador hembra 1350 se puede acoplar al enchufe adaptador macho 1330, como anteriormente se ha descrito anteriormente en las figuras 3A-3B. El subconjunto de pieza de extremo superior 1000 permite que una barra de longitud completa desde su pieza de extremo superior 1310 hacia abajo hasta su pieza de extremo inferior 2310 se construya mezclando y combinando diferentes longitudes de segmentos de barra 110 en diferentes puntos de conexión dentro de la misma longitud axial del conjunto de barra 100'.

Del mismo modo, en las figuras 11A y 11B, un conjunto de piezas de extremo inferior 1100 pueden incluir un subconjunto adaptador de pieza de extremo inferior 2300 conectado a la pieza de extremo inferior 2310. En particular, la pieza de extremo inferior 2310 está unida al enchufe adaptador macho 2330, que se acopla con un enchufe adaptador hembra 2350 que se adjunta a un segmento de barra adyacente 110, por ejemplo. En un aspecto, la pieza de extremo inferior se puede usar después de la eliminación de una sección inferior de un segmento de barra 110, de modo que la longitud axial restante del conjunto de barra 100' puede permanecer dentro del haz 10 para ciclos adicionales utilizando el conjunto de piezas de extremo inferior amovible 1100.

En consecuencia, el conjunto de piezas de extremo superior 1000 y el conjunto de piezas de extremo inferior 1100 proporcionan piezas de extremo inferior y superior reutilizables y extraíbles que pueden facilitar una rápida reparación o eliminación de segmentos de barra designados 110 dentro del conjunto de barras 100'.

Las figuras 12A-C son vistas que ilustran un subconjunto adaptador para el conjunto de barras de acuerdo con otra realización ejemplar de la invención. En general, un subconjunto adaptador 300b puede ser entendido como un mecanismo de bloqueo de empuje a presión que tiene un conector macho 330" que acopla un conector hembra 350" correspondiente para conectar dos segmentos de barra 110 o un segmento de barra 110 con una de las piezas de los extremos superior e inferior 120/130 de la figura 2A. El conector macho 330" puede incluir un elemento expansible en un extremo del mismo, y el conector hembra 350" puede incluir una cavidad interior que termina en un receptor que está adaptado para recibir el elemento expansible.

Las figuras 12A y 12B ilustran un conector macho 330" y conector hembra 350" y una dirección de unión conectiva entre los dos conectores 330", 350". Como se muestra en la figura 12B, el conector macho 330" puede incluir un elemento de alineación de soldadura 355 (como se muestra en la figura 2B) para ayudar a alinear el conector macho 330" en el interior de su segmento de barra 110 correspondiente. El otro extremo del conector macho 330" puede incluir una bayoneta de enchufe de muelle 1205 para la unión conectiva dentro de una cavidad interior 358" para terminar una vez completamente acoplado dentro de una correspondiente junta de rótula esférica de conjunto 1210 del conector hembra 350".

La figura 12A ilustra un conector hembra 350" con la cavidad interior 358" que puede ser conformada para recibir la bayoneta de enchufe de muelle 1205 dentro de la correspondiente junta de rótula esférica de conjunto 1210, como se muestra en la figura 12A. La figura 12C ilustra el acoplamiento de conexión entre los conectores hembra 350" y macho 330" del subconjunto conector 300b. De acuerdo con ello, los segmentos de barra 110 pueden montarse completamente en un conjunto de barra singular 100/100' una vez que la pinza de muelle del enchufe de bayoneta expansible 1205 está asegurada de forma fija dentro de la junta de rótula esférica de conjunto 1210 del conector hembra 350".

En consecuencia, el subconjunto adaptador 300b en las figuras 12A, 12B y 12C ilustran un mecanismo de empuje-presión para conectar segmentos de barra adyacentes 100 del conjunto de barra 100/100' y pueden reducir la probabilidad de fricción que podría ocurrir usando la unión roscada como se muestra en las figuras 2A, 2B y 7. Esto puede conducir a un montaje y/o desmontaje rápido de los distintos segmentos de barra 110, sin la necesidad de romper, quebrar, o cortar de los segmentos 110, por ejemplo.

Como se ha descrito anteriormente, cada uno de los segmentos de barra 110 puede tener marcas de identificación o indicios al respecto que identifiquen el contenido que están dentro de ese segmento de barra 110 en particular. Por otra parte, las marcas de identificación pueden ser etiquetadas en los conjuntos de recipiente 600/600' dentro de un segmento de barra 110 dado, por ejemplo.

En otro aspecto, la longitud del tornillo roscado de las secciones alargadas 338/338A/338B de las figuras 8A-B y 9A-B en un enchufe adaptador macho 330 dado puede ser de una longitud suficiente para que un segmento de barra dado no pueda ser desenroscado durante un funcionamiento del reactor. Como un ejemplo, la longitud del tornillo roscado de la secciones alargadas 338/338A/338B puede ser suficiente de manera que no pueda separarse. Esto

puede ayudar a asegurar que una longitud de la barra dada no se desenroscaría durante el funcionamiento del reactor.

En un aspecto adicional, enchufes adaptadores macho 330 y 330', y/o el conector macho 330" puede estar orientado en la misma dirección para la facilidad de la extracción de un segmento de barra 110 dado. Por ejemplo, los segmentos 110 que tienen enchufes adaptadores macho 330, 330' y/o 330" pueden ser todos cargados y/o dispuestos en un conjunto de barras 100/100' dado para que el enchufe adaptador/conector macho 330, 330', 330" del segmento 110 se extiendan verticalmente hacia arriba hacia la parte superior del haz 10, para facilitar el agarre por una herramienta adecuada para la extracción, instalación, por ejemplo. En el caso en que el segmento de barra 110 se caiga, aterrizaría con el lado que tiene el enchufe adaptador hembra 350, 350' y/o 350" hacia abajo, para reducir la posibilidad de que el extremo macho se quiebre o se rompa.

En consecuencia, el conjunto de barras a modo de ejemplo con varios segmentos de barra conectados al mismo puede proporcionar una barra de longitud completa o de longitud parcial. El conjunto de barras 100 puede incluir subconjuntos de adaptador 300 que conectan segmentos de barra adyacentes 110 en ubicaciones del separador 20 para eliminar las consecuencias del rozamiento que es actualmente prevalente en barras de longitud completa y de longitud parcial en conjuntos de combustible convencionales. En un aspecto, el uso de segmentos de barra múltiples 110 en un conjunto de barras de longitud completa o longitud parcial 100 o 100' puede permitir que múltiples dianas de irradiación sean cargadas en diferentes segmentos y en diferentes ubicaciones axiales del conjunto de barras 100/100'. Esto puede permitir que se generen múltiples isótopos en cada haz de combustible de un reactor, debiendo el reactor ser configurado únicamente para la generación de isótopos y/o para la generación de isótopos y proporcionar la generación de energía, y también permite la capacidad de colocar las dianas de irradiación en ubicaciones de flujo deseadas a lo largo de la longitud axial de la barra dentro de un haz de combustible dado.

Las figuras 14A-15C ilustran realizaciones de ejemplo adicionales de las estructuras de acoplamiento o subconjuntos adaptadores de acuerdo con la presente invención. Cada una de estas realizaciones se describirá como segmentos de barra adyacentes unidos 110a y 110b. Sin embargo, se apreciará que estas estructuras de acoplamiento se pueden usar para unir cualquiera de los dos segmentos adyacentes.

Como se muestra en la figura 14A, los segmentos 110a y 110b incluyen respectivos elementos de conexión macho 1406 y 1402. Los elementos de conexión macho 1406 y 1402 pueden ser integrales con sus respectivos segmentos 110a y 110b, ya sea a través de la producción de un segmento unitario, o por, por ejemplo, la soldadura de los elementos de conexión macho 1406 y 1402 a sus respectivos segmentos 110a y 110b. Los elementos de conexión macho 1406 y 1402 pueden ser sólidos y/o incluir por lo menos una porción hueca.

La estructura de acoplamiento 300 incluye además un elemento de conexión hembra 1404 configurado para recibir los elementos de conexión macho 1406 y 1402 en cada extremo. El elemento de conexión hembra 1404 puede ser un cilindro hueco o manguito, en el que un diámetro de una superficie exterior del manguito coincide con el diámetro de la superficie exterior de los segmentos 110a y 110b. De esta manera, los segmentos 110a, 110b y la estructura de acoplamiento 300 forman un revestimiento continuo en la dirección axial.

En una realización, los elementos de conexión macho 1402 y 1406 y el elemento de conexión hembra 1404 están hechos del mismo material que los segmentos 110a, 110b. Sin embargo, en otra realización, los elementos de conexión macho 1402 y 1406 están hechos de y/o incluyen un material de absorción de neutrones. Alternativamente, y/o adicionalmente, el elemento de conexión hembra 1404 está hecho de y/o incluye un material de absorción de neutrones.

El material de absorción de neutrones no es combustible nuclear, y es del mismo material que una diana de irradiación. Mediante la inclusión de un material de absorción de neutrones en la estructura de acoplamiento 300, un aumento de potencia relativa en las elevaciones de los puntos de conexión entre segmentos de barra puede ser reducido y/o eliminado. Como resultado, el enriquecimiento en las barras de combustible adyacentes no necesita ajustarse, y las reducciones de rendimiento nuclear pueden ser mitigadas y/o eliminadas.

Como se apreciará, las realizaciones de la presente invención no se limitan a la estructura de acoplamiento que se muestra en la figura 14A. En cambio, se permiten muchas estructuras alternativas. Por ejemplo, la figura 14B ilustra que el elemento de conexión hembra 1404' puede incluir una sección maciza 1408.

Aún más, la figura 14C ilustra que las porciones de los elementos de conexión macho 1402 y 1406 que no sean los conectores macho, pueden incluir porciones de material de absorción de neutrones 1410 y 1412, respectivamente. Por ejemplo, en la realización de la figura 14C, el elemento de conexión hembra 1404 puede incluir o estar formado de un material de absorción de neutrones, y los elementos de conexión macho 1402 y 1404 pueden estar formados del mismo material que los segmentos 110a, 110b; pero incluyen porciones de material de absorción de neutrones 1410 y 1412, respectivamente. Aún más, se apreciará que los extremos de los segmentos 110a y 110b conectados por la estructura de acoplamiento 300 pueden ser considerados para incluir porciones de absorción de neutrones.

Como se muestra en la figura 15A, los segmentos 110a y 110b incluyen respectivos elementos de conexión hembra 1504 y 1502. Los elementos de conexión hembra 1504 y 1502 pueden ser integrales con sus respectivos segmentos 110a y 110b, ya sea a través de la producción de un segmento unitario, o por, por ejemplo, la soldadura de los

elementos de conexión hembra 1504 y 1502 a sus respectivos segmentos 110a y 110b. Los elementos de conexión hembra 1504 y 1502 incluyen al menos porciones cilíndricas huecas.

5 La estructura de acoplamiento 300 incluye además un elemento de conexión macho de dos cabezas 1506 configurado para ser recibido por los elementos de conexión hembra 1504 y 1502 en cada extremo. El elemento de conexión macho 1506 puede ser sólido y tener una forma cilíndrica.

10 En la realización de la figura 15A, el elemento de conexión macho 1506 queda completamente encerrado en los elementos de conexión hembra 1504 y 1502, que terminan topando entre sí. Además, un diámetro de una superficie exterior de cada elemento de conexión hembra 1504 y 1502 coincide con el diámetro de la superficie exterior de los segmentos 110a y 110b. De esta manera, los segmentos 110a, 110b y la estructura de acoplamiento 300 forman un revestimiento continuo en la dirección axial.

15 En una realización, los elementos de conexión hembra 1504 y 1502 y el elemento de conexión macho 1506 se hacen del mismo material como los segmentos 110a, 110b. Sin embargo, en otra realización, los elementos de conexión hembra 1502 y 1504, o al menos la parte cilíndrica hueca de los mismos, están hechos de y/o incluyen un material de absorción de neutrones. Alternativamente, y/o adicionalmente, el elemento de conexión macho 1506 está hecho de y/o incluye un material de absorción de neutrones.

20 Al igual que las realizaciones de las figuras 14A-14C, el material de absorción de neutrones no es combustible nuclear, y es el mismo material que el utilizado como una diana de irradiación. Mediante la inclusión de un material de absorción de neutrones en la estructura de acoplamiento 300, un aumento de potencia relativa en las elevaciones de los puntos de conexión entre los segmentos de barra puede ser reducido y/o eliminado. Como resultado, el enriquecimiento en las barras de combustible adyacentes no necesita ajustarse, y las reducciones de rendimiento nuclear pueden ser mitigadas y/o eliminadas.

25 Como se apreciará, las realizaciones de la presente invención no se limitan a la estructura de acoplamiento que se muestra en la figura 15A. En cambio, se permiten muchas estructuras alternativas. Por ejemplo, la figura 15B ilustra que el elemento de conexión macho 1506' puede tener una porción central 1508 con un diámetro mayor que las partes macho 1507 que se insertan en los elementos de conexión hembra 1502 y 1504 respectivas. En esta realización, el diámetro de la superficie exterior de la porción central 1508 coincide con el diámetro de la superficie exterior de los segmentos 110a, 110b en la dirección axial.

30 Aún más, la figura 15C ilustra que las porciones de los elementos de conexión hembra 1502 y 1504 que no sean las partes cilíndricas huecas, pueden incluir porciones de material de absorción de neutrones 1510 y 1512, respectivamente. Por ejemplo, en la realización de la figura 15C, el elemento de conexión macho 1506 puede incluir o estar formado de un material de absorción de neutrones, y los elementos de conexión hembra 1502 y 1504 pueden estar formados del mismo material como los segmentos 110a, 110b; pero incluyen porciones de material de absorción de neutrones 1510 y 1512, respectivamente. Aún más, se apreciará que los extremos de los segmentos 110a y 110b conectados por la estructura de acoplamiento 300 pueden ser considerados para incluir porciones de absorción de neutrones.

35 Aún más, el uso de un absorbente de neutrones en la estructura de acoplamiento también se puede aplicar a las estructuras de acoplamiento descritas anteriormente. Por ejemplo, con respecto a las figuras 3A y 3B, una o más de la sección cilíndrica 333, el elemento intermedio 339 de la sección alargada 338, etc. pueden incluir o estar hechos de un material de absorción de neutrones. Con respecto a las figuras 4A y 4B, una o más de la sección cilíndrica 353, etc. pueden incluir o estar hechas de material de absorción de neutrones. Las mismas modificaciones se pueden hacer a las realizaciones de las figuras 8A-8B y 9A-9B. Aún más, con respecto a las figuras 12A-12C, una o más de, o porciones del conector macho 330" y del conector hembra 350" pueden incluir o estar elaboradas a partir de material de absorción de neutrones.

45 Con las realizaciones ejemplares de la presente invención así descritas por lo tanto, será obvio que la misma puede variarse de muchas maneras. Tales variaciones no se deben considerar como un alejamiento del ámbito de las realizaciones ejemplares de la presente invención, y todas estas modificaciones, como sería obvio para un experto en la materia, se pretende que estén incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Una barra de múltiples segmentos de un haz de combustible de un reactor nuclear, comprendiendo la barra de múltiples segmentos:
- 5 una pluralidad de segmentos de barra (110), estando los segmentos de barra acoplados de forma amovible entre sí mediante estructuras de acoplamiento (300) en una dirección axial;
 una diana de irradiación (620) dispuesta dentro de al menos uno de los segmentos de barra; y
 al menos una porción de al menos una estructura de acoplamiento que incluye uno o más materiales de absorción de neutrones; **caracterizada porque:**
- el uno o más materiales de absorción de neutrones incluye un mismo material que la diana de irradiación.
- 10 2. La barra de la reivindicación 1, en la que la pluralidad de segmentos de barra incluye al menos un primer segmento de barra acoplado de manera amovible a un segundo segmento de barra, teniendo el primer segmento de barra un elemento de conexión macho (330), y teniendo el segundo segmento de barra un elemento de conexión hembra (350) que recibe el elemento de conexión macho.
- 15 3. La barra de la reivindicación 1, en la que la pluralidad de segmentos de barra incluye al menos un primer segmento de barra acoplado de forma amovible a un segundo segmento de barra, teniendo el primer segmento de barra un primer elemento de conexión macho (1402), teniendo el segundo segmento de barra un segundo elemento de conexión macho (1406), y un elemento de manguito (1404) que tiene un primer elemento de conexión hembra y un segundo elemento de conexión hembra, recibiendo el primer elemento de conexión hembra el primer elemento de conexión macho y recibiendo el segundo elemento de conexión hembra el segundo elemento de conexión macho.
- 20 4. La barra de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que las una o más combinaciones de materiales de absorción de neutrones no es combustible nuclear.
5. La barra de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que las una o más combinaciones de materiales de absorción de neutrones absorbe neutrones a una tasa equitativa al material de la diana de irradiación.
- 25 6. La barra de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en la que las una o más combinaciones de materiales de absorción de neutrones tiene un peso atómico mayor que 3.
7. La barra de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que
- al menos un segmento de barra contiene al menos un conjunto de recipiente (600), incluyendo el conjunto de recipiente,
- 30 un primer extremo (611),
 un segundo extremo (612),
 la diana de irradiación (620), y
 una tapa de extremo (630) configurada para fijarse a al menos uno del primer y el segundo extremo para sellar la diana de irradiación en el interior del conjunto de recipiente.
- 35 8. La barra de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la diana de irradiación incluye uno de Cobalto Co-59, Molibdeno-99, Cromo-50, Cobre-63, Disprosio-164, Erbio-168, Holmio-165, Yoduro-130, Iridio-191, Hierro-58, Lutecio-176, Paladio-102, Fósforo-31, Potasio-41, Renio-185, Samario-152, Selenio-74, Sodio-23, Estroncio-88, Iterbio-168, Iterbio-176, Itrio-89, y Xenón-132.

FIG. 1A
TÉCNICA CONVENCIONAL

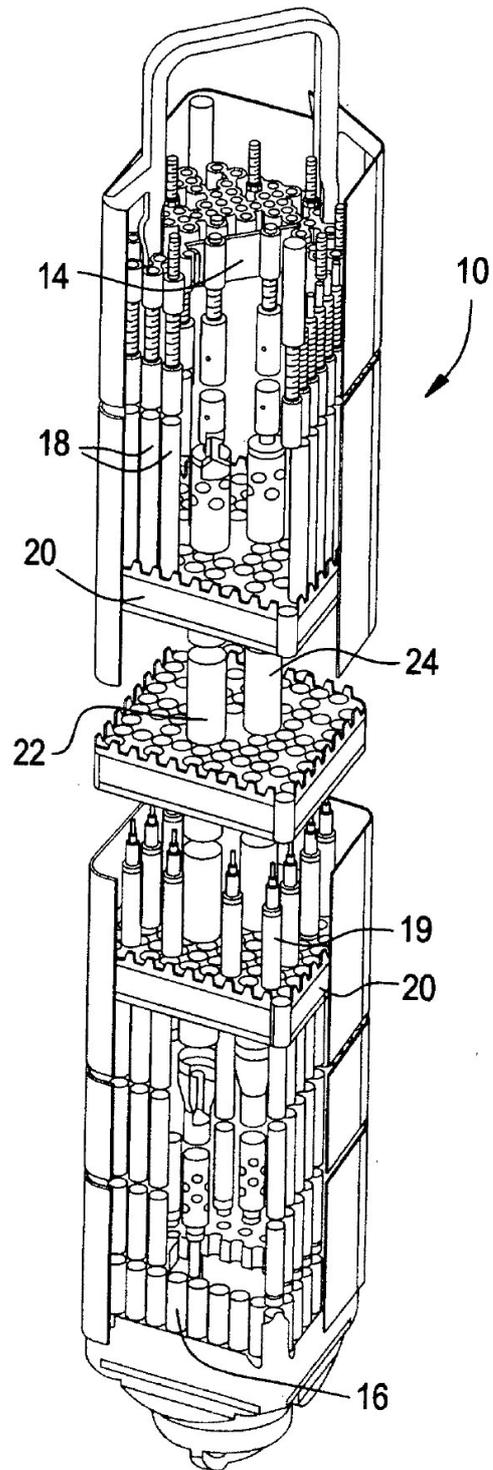


FIG. 1B
TÉCNICA CONVENCIONAL

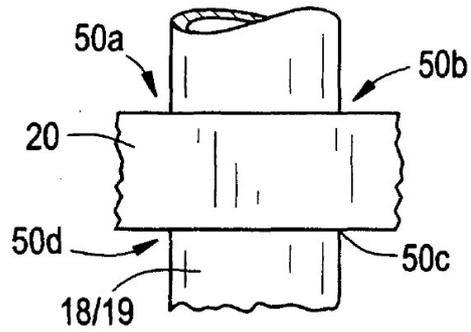


FIG. 1C
TÉCNICA CONVENCIONAL

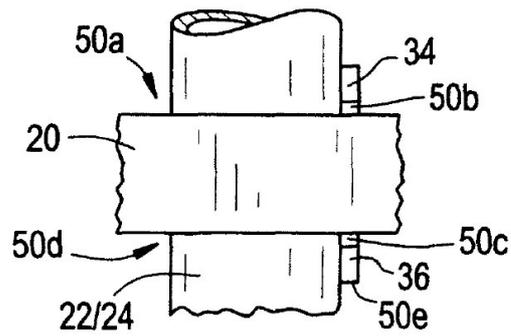


FIG. 2A

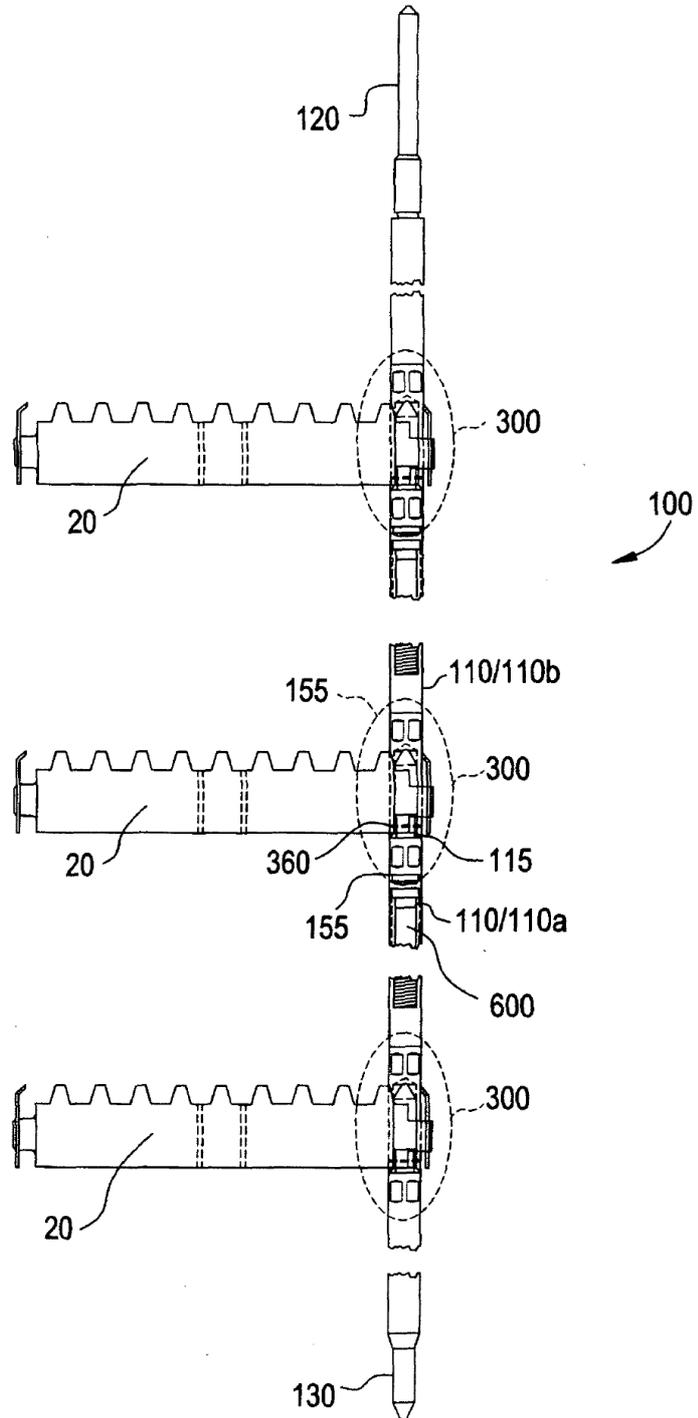


FIG. 2B

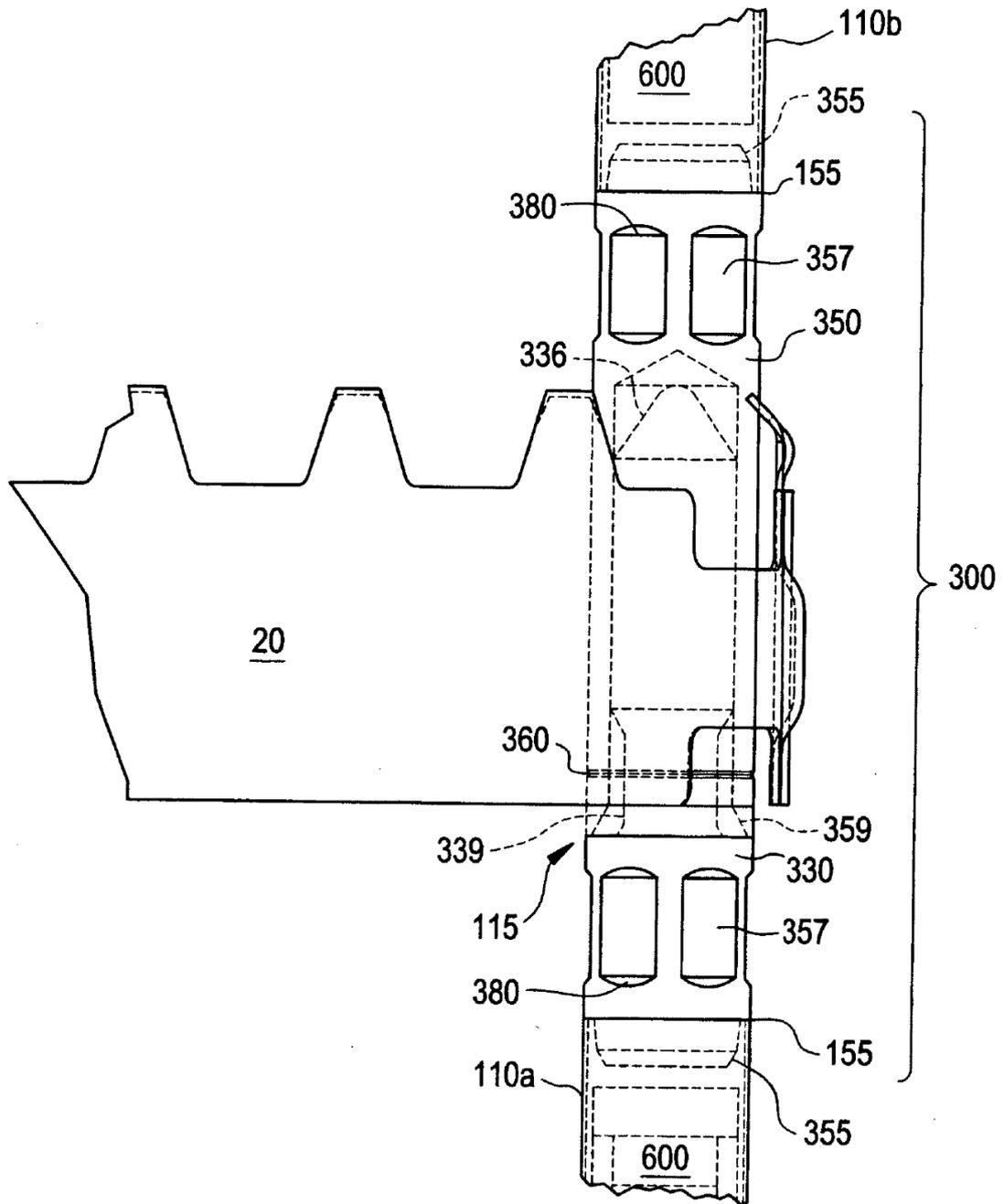


FIG. 3A

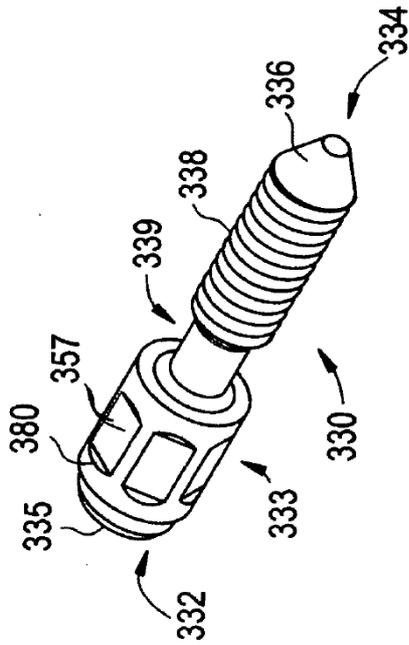


FIG. 3B

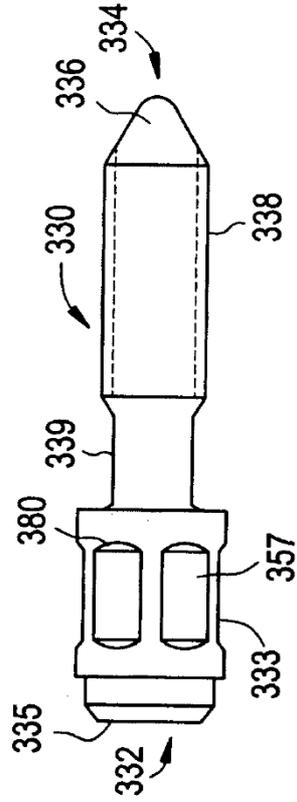


FIG. 4A

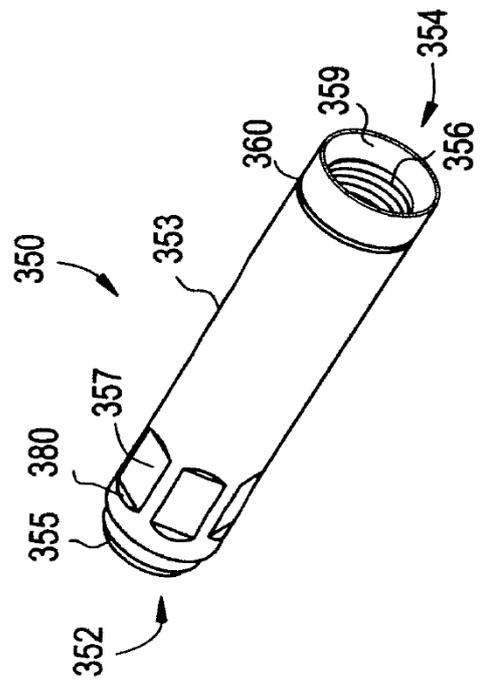


FIG. 4B

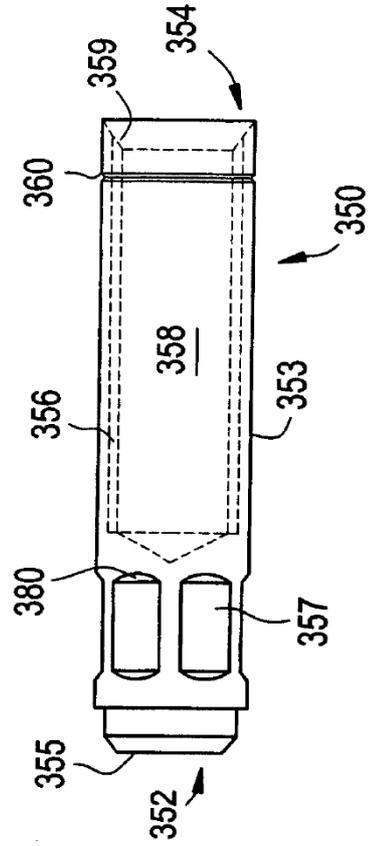


FIG. 5A

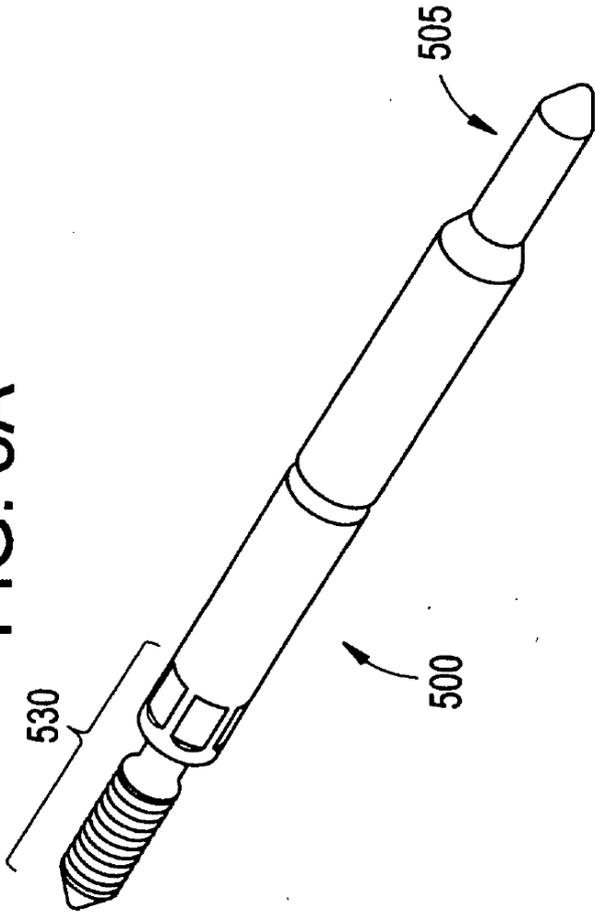


FIG. 5B

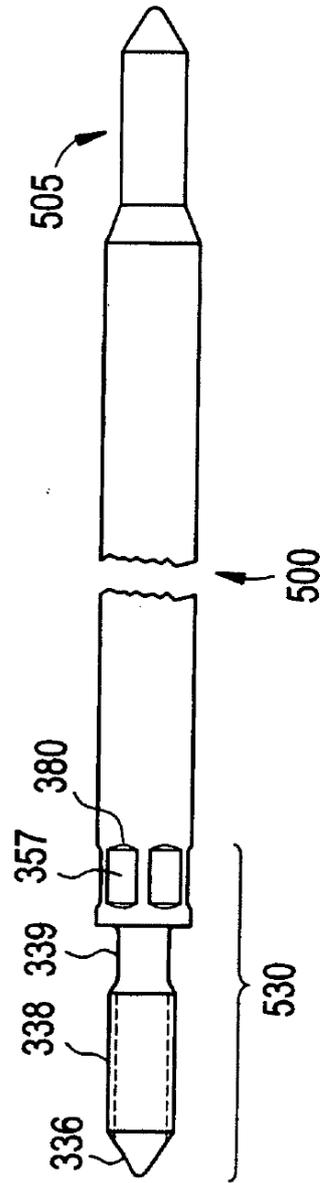


FIG. 6A

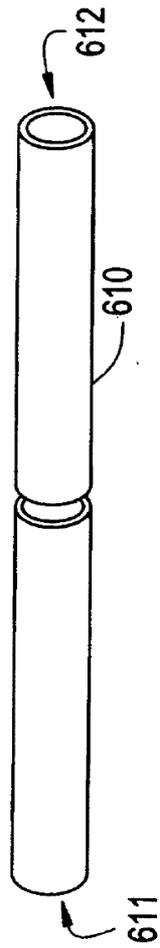


FIG. 6B

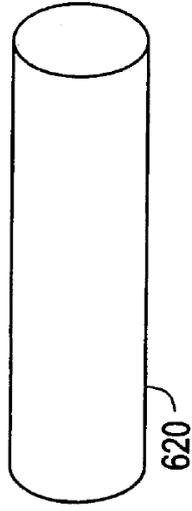


FIG. 6C

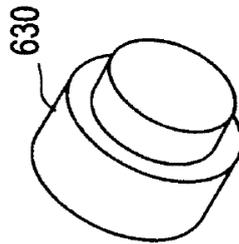


FIG. 6D

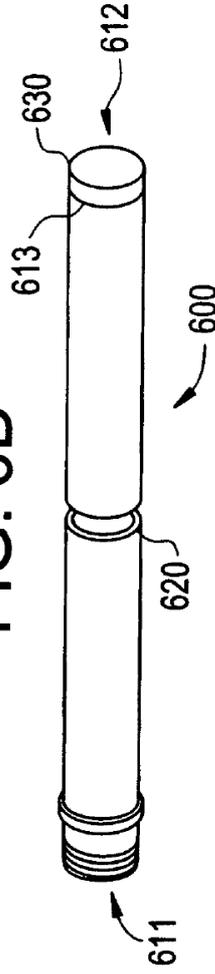


FIG. 6E

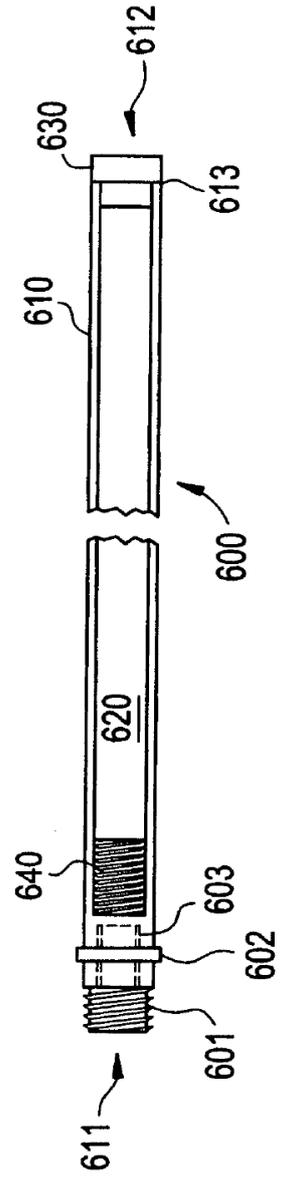


FIG. 7

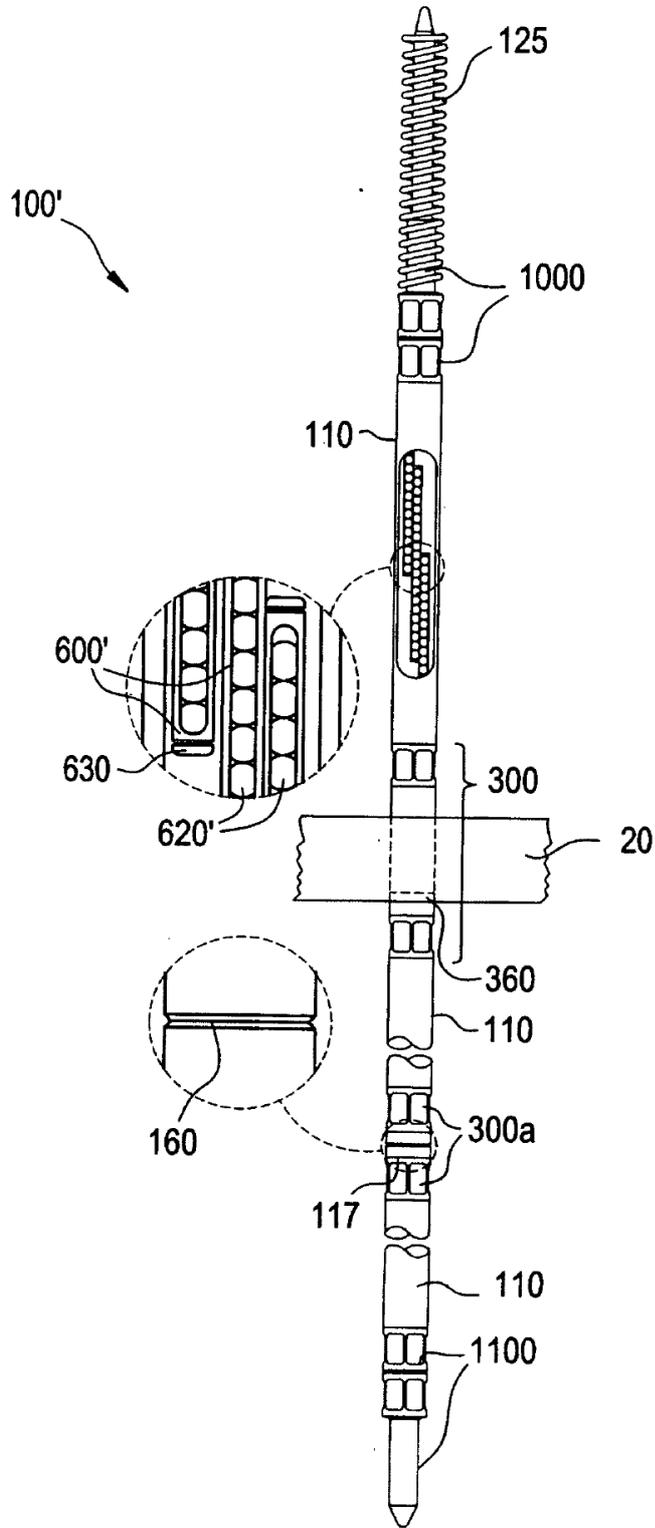


FIG. 8A

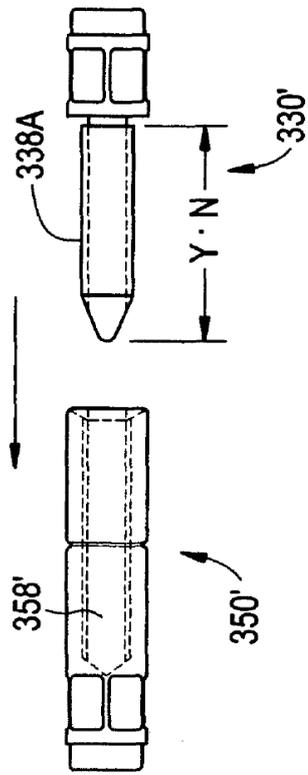


FIG. 8B

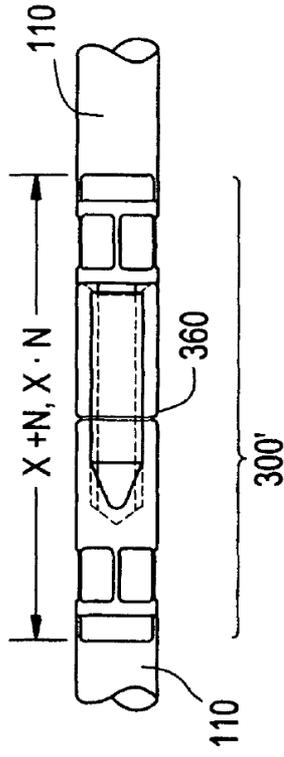


FIG. 9A

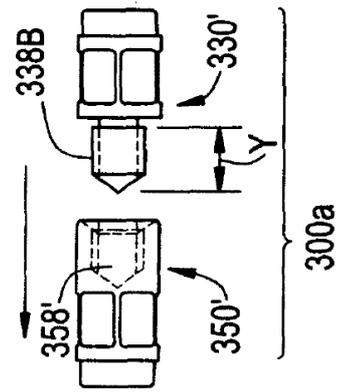


FIG. 9B

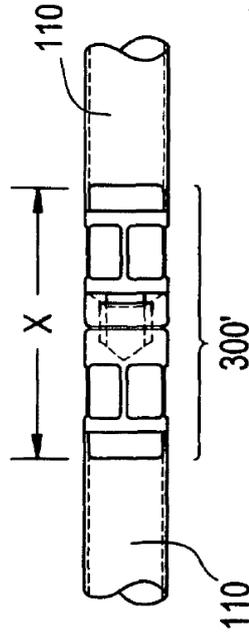


FIG. 10B

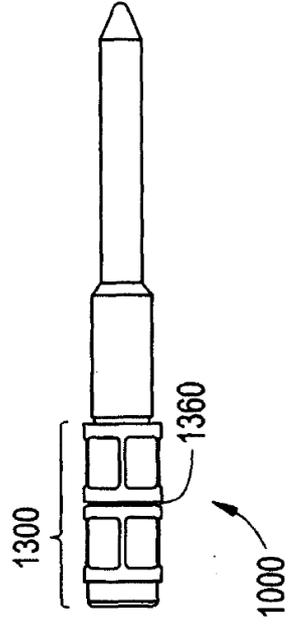


FIG. 11B

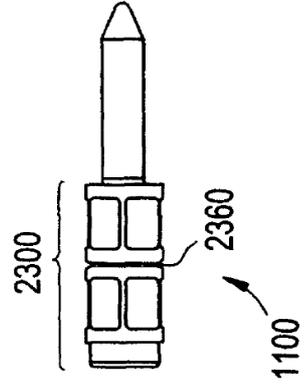


FIG. 10A

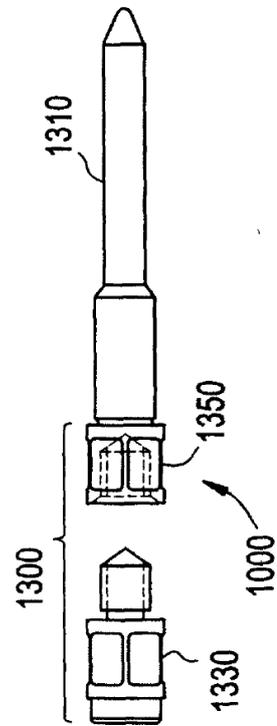


FIG. 11A

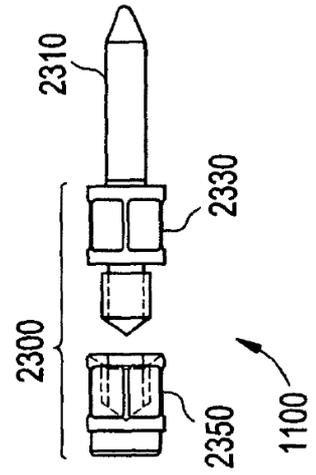


FIG. 12A

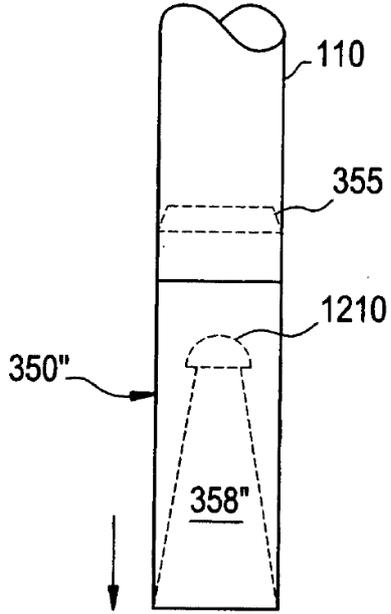


FIG. 12C

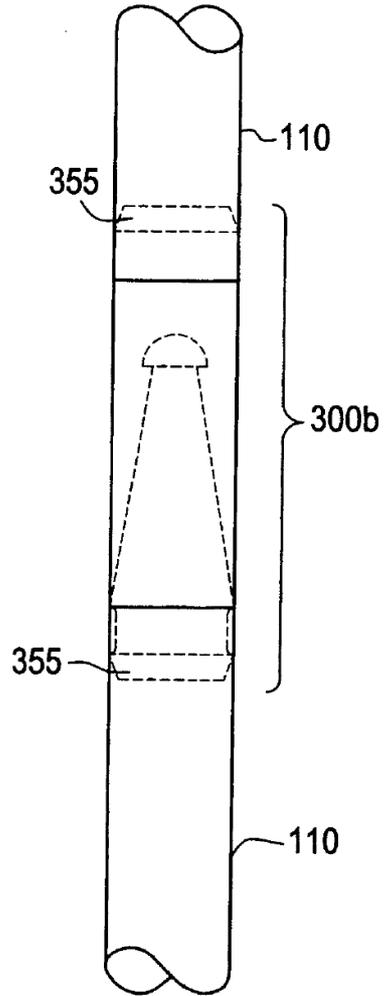


FIG. 12B

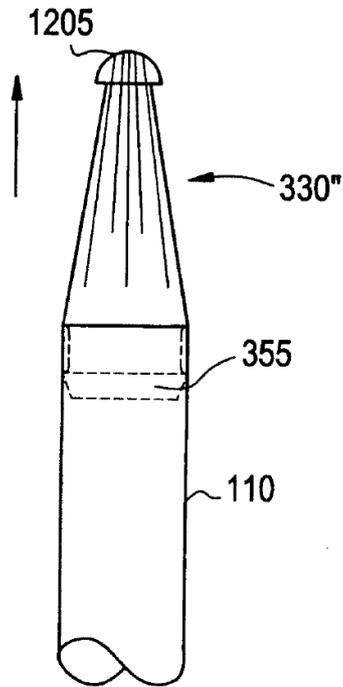


FIG. 13

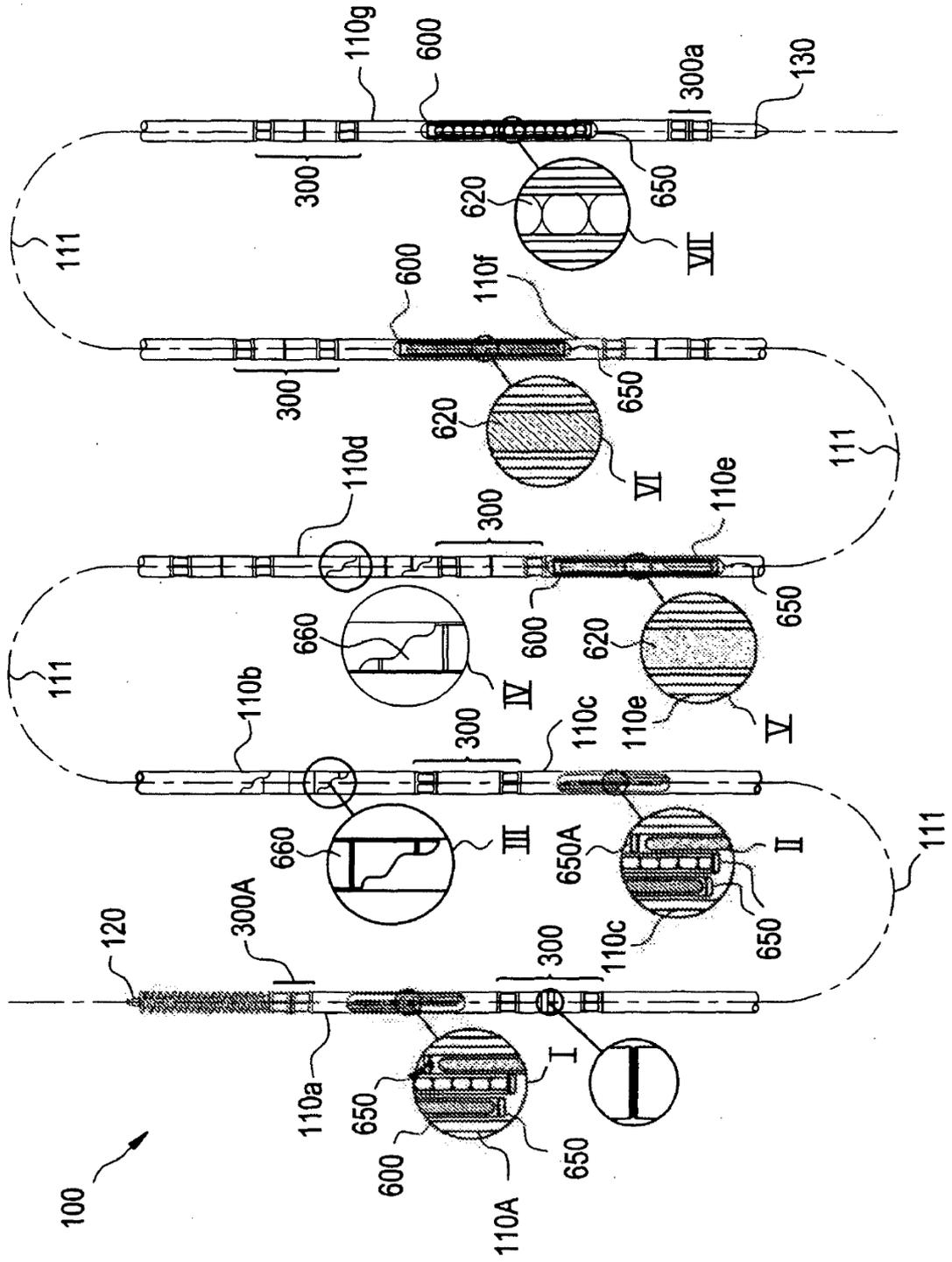


FIG. 14A

FIG. 14B

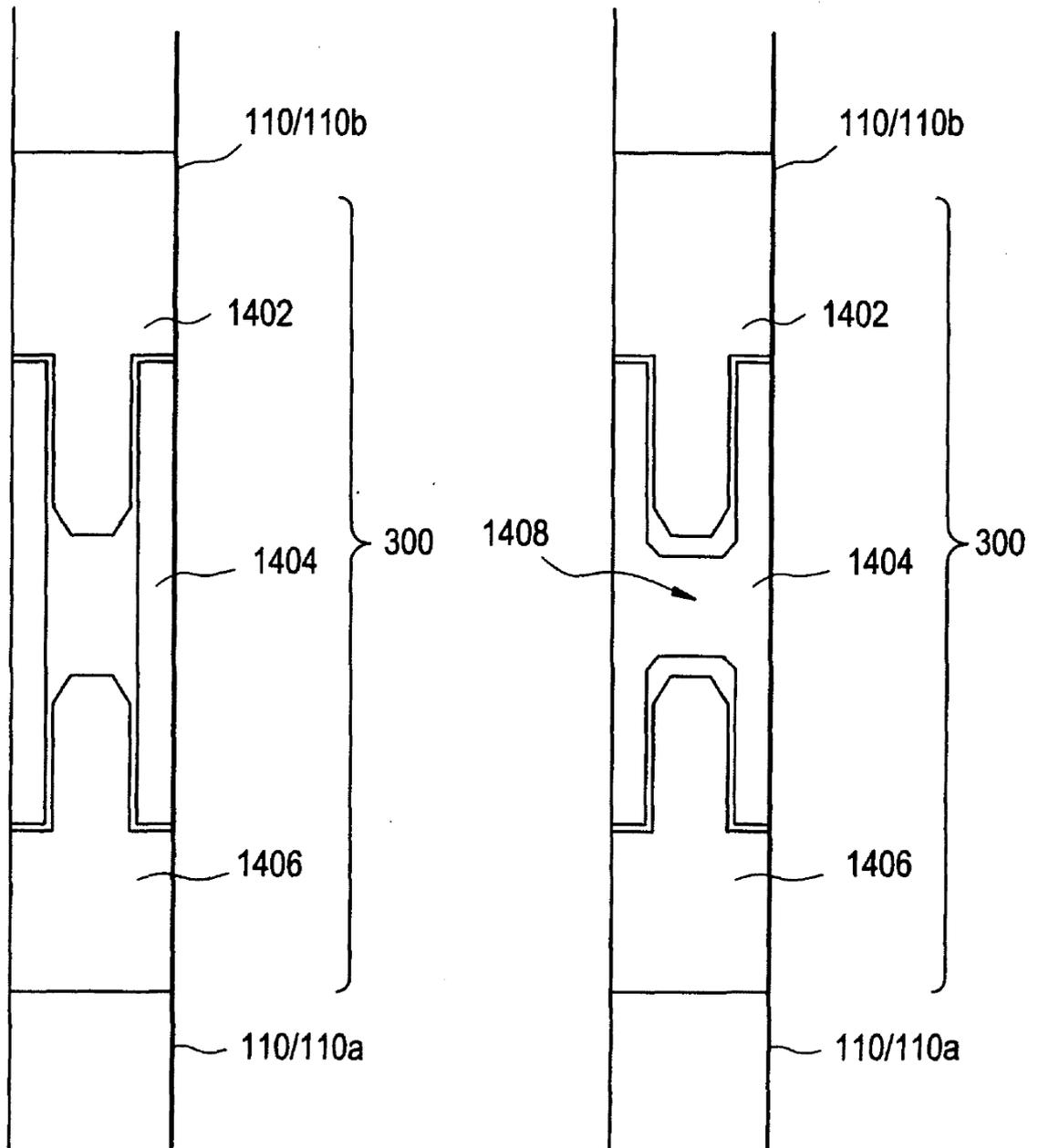


FIG. 14C

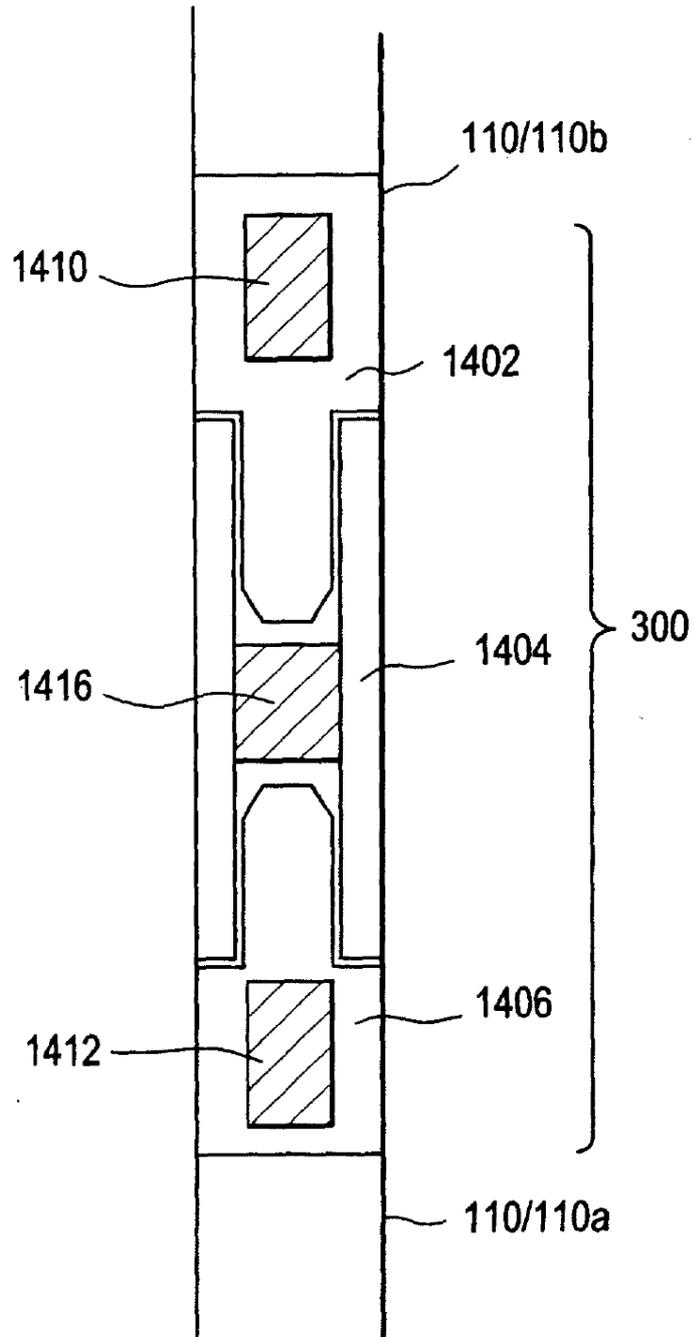


FIG. 15A

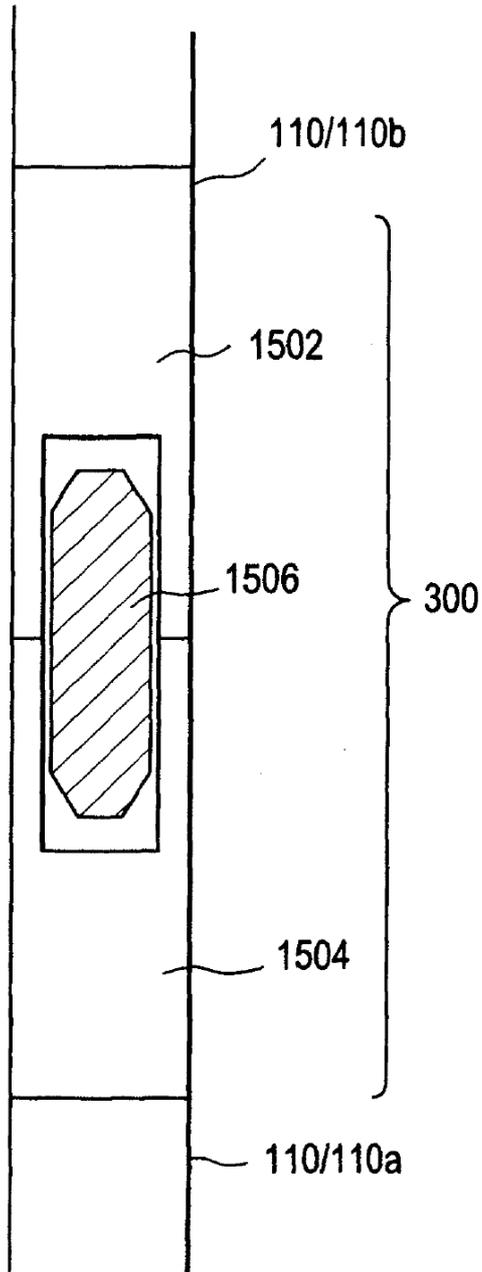


FIG. 15B

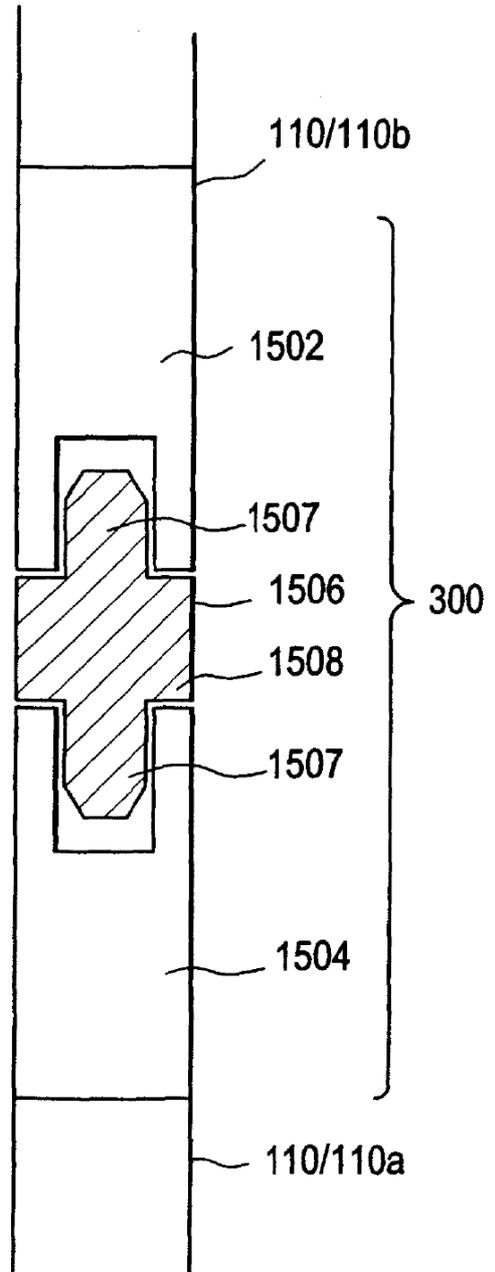


FIG. 15C

