

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 155**

51 Int. Cl.:

G21C 3/08 (2006.01)
G21C 3/322 (2006.01)
G21C 3/326 (2006.01)
G21C 21/10 (2006.01)
G21C 3/60 (2006.01)
G21C 3/64 (2006.01)
G21C 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2011 E 16154148 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 3038112**

54 Título: **Montaje de combustible**

30 Prioridad:

11.05.2010 US 333467 P
15.10.2010 US 393499 P
21.02.2011 US 201161444990 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.12.2017

73 Titular/es:

THORIUM POWER, INC. (100.0%)
1600 Tysons Blvd., Suite 550
McLean, VA 22102, US

72 Inventor/es:

BASHKIRTSEV, SERGEY MIKHAILOVICH;
KUZNETSOV, VALENTIN FEDOROVICH;
KEVROLEV, VALERY VLADIMIROVICH;
MOROZOV, ALEXEY GLEBOVICH y
MONTGOMERY, MICHAEL H

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 647 155 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

Montaje de combustible

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere en general a montajes de combustible nuclear utilizados en el núcleo de un reactor nuclear, y se refiere más específicamente a elementos de combustible nuclear metálicos.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 La publicación de la solicitud de patente estadounidense No. 2009/0252278 A1 divulga un montaje de combustible nuclear que incluye subensambles fértiles y fisiles. Los subensambles fértiles incluyen elementos de combustible basados en torio. El subensamble físil incluye elementos de combustible metálicos de uranio y/o plutonio utilizados para liberar neutrones, que son capturados por elementos fértiles de torio, creando por lo tanto U-233 fisionable que se quema in situ y libera calor para la planta de energía nuclear.

20 Las plantas de energía nuclear convencionales utilizan normalmente montajes de combustible que incluyen una pluralidad de barras de combustible que cada una comprenden combustible de óxido de uranio en un tubo cilíndrico.

Resumen de ejemplos de la divulgación

25 El área de superficie del tubo cilíndrico de las barras de combustible convencionales limita la cantidad de calor que se puede transferir desde la barra hasta el refrigerante primario. Para evitar el sobrecalentamiento de la barra de combustible, en vista del área de superficie limitada para remoción de flujo de calor, se ha limitado sustancialmente convencionalmente la cantidad de material físil en estas barras de combustible de óxido de uranio o barras de combustible de óxido mezcladas (óxido de uranio y plutonio).

30 De acuerdo con la invención, se proporciona un montaje de combustible de acuerdo con la reivindicación 1 y el método para fabricar un montaje de combustible de acuerdo con la reivindicación 28. Realizaciones más específicas se definen en las reivindicaciones dependientes adicionales.

35 Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de los ejemplos de la presente divulgación, así como de otros objetos y características adicionales de los mismos, se hace referencia a la siguiente descripción que se debe utilizar en conjunto con los dibujos acompañantes, en donde:

40 La figura 1 es una de sección transversal de un montaje de combustible de acuerdo con un ejemplo, la sección transversal se toma en un plano de auto-separación.

45 La figura 2 es una vista de sección transversal del montaje de combustible de la figura 1, la sección transversal se toma en un plano que se cambia en 1/8 de un giro de los elementos de combustibles desde la vista en la figura 1.

La figura 3 es una vista de sección transversal del montaje de combustible de la figura 1, tomado en un plano que es paralelo a la dirección axial del montaje de combustible.

50 La figura 4 es una vista en perspectiva de un elemento de combustible del montaje de combustible de la figura 1.

La figura 5 es una vista transversal del elemento de combustible en la figura 3.

55 La figura 6 es una vista de sección transversal del elemento de combustible en la figura 3, circunscrito dentro de un polígono regular.

La figura 7A es una vista de extremo de un montaje de combustible de acuerdo con un ejemplo alternativo, para uso en un reactor de agua pesada presurizada.

60 La figura 7B es una vista lateral parcial del montaje de combustible de la figura 7A.

La figura 8 es un diagrama de un reactor de agua pesada presurizado que utiliza el montaje de combustible ilustrado en las figuras 7A y 7B.

65 La figura 9 es una vista de sección transversal del elemento de combustible en la figura 3; y

La figura 10 es una vista de sección transversal de un montaje de combustible de acuerdo con un ejemplo adicional.

Descripción detallada

5 Las figuras 1-3 ilustran un montaje 10 de combustible. Como se muestra en la figura 3, el montaje 10 de combustible comprende una pluralidad de elementos 20 de combustible soportado por un marco 25.

10 Como se muestra en la figura 3, el marco 25 comprende una cubierta 30, tubos 40 guía, una boquilla 50 superior, una boquilla 60 inferior, una placa 70 de anclaje inferior, una placa 80 de anclaje superior, y/u otras estructuras que permiten que el montaje 10 funcione como un montaje de combustible en un reactor nuclear. Uno o más de estos componentes de la estructura 25 se pueden omitir sin desviarse del alcance de la divulgación.

15 Como se muestra en la figura 3, la cubierta 25 se monta hacia la boquilla 50 superior y la boquilla 60 inferior. La boquilla 60 inferior (u otra estructura adecuada del montaje 10) se construye y forma para proporcionar una interfaz de comunicación de fluidos entre el montaje 10 y el reactor 90 dentro del cual se coloca el montaje 10 con el fin de facilitar el flujo de refrigerante en el núcleo del reactor a través del montaje 10 a través de la boquilla 60 inferior. La boquilla 50 superior facilita la dirección del refrigerante caliente desde el montaje 10 hasta los generadores de vapor de la planta de energía (para PWR), turbinas (para BWR), etcétera. Las boquillas 50, 60 tienen una forma que se diseña específicamente para acoplarse adecuadamente con la estructura interna del núcleo del reactor.

20 Como se muestra en la figura 3, la placa 70 de anclaje inferior y placa 80 de anclaje superior se montan preferiblemente en forma rígida (por ejemplo, a través de soldadura, sujetadores adecuados (por ejemplo, pernos, tornillos), etc.) a la cubierta 30 o boquilla 60 inferior (y/u otros componentes estructurales adecuados del montaje 10).

25 Los extremos axiales inferiores de los elementos 20 forman pasadores 20a que se ajustan en los agujeros 70a en la placa 70 de anclaje inferior para soportar los elementos 20 y ayudar a mantener la separación del elemento 20 adecuada. Los pasadores 20a se montan en los agujeros 70a en una forma que evitan que los elementos 20 giren alrededor de sus ejes o se muevan axialmente con relación a la placa 70 de anclaje inferior. Esta restricción en la rotación ayuda a asegurar que los puntos de contacto entre los elementos 20 adyacentes todos ocurran en las mismas posiciones axiales a lo largo de los elementos 20 (por ejemplo, en planos de auto-separación discutidos adelante). La conexión entre los pasadores 20a y los agujeros 70a se puede crear mediante soldadura, ajuste de interferencia, acoplamiento de características no-cilíndricas que evitan la rotación (por ejemplo, ranuras y estrías), y/o cualquier otro mecanismo adecuado para restringir el movimiento axial y/o rotacional de los elementos 20 con relación a la placa 70 de anclaje inferior. La placa 70 de anclaje inferior incluye canales que se extienden axialmente (por ejemplo, una rejilla de aberturas) a través de la cual el refrigerante fluye hacia los elementos 20.

40 Los extremos axiales superiores de los elementos 20 forman pasadores 20a que se ajustan libremente en agujeros 80a en la placa 80 de anclaje superior para permitir que los pasadores 20a superiores se muevan axialmente libremente hacia arriba a través a la placa 80 de anclaje superior mientras que ayuda a conservar la separación entre los elementos 20. Como resultado, cuando los elementos 20 crecen axialmente durante la fisión, los elementos 20 de alargamiento se pueden extender libremente adicionalmente en la placa 80 de anclaje superior.

Como se muestra en la figura 4, los pasadores 70a hacen transición en una porción central del elemento 20.

45 Las figuras 4 y 5 ilustran un elemento/barra 20 de combustible individual del montaje 10. Como se muestra en la figura 5, la parte central alargada del elemento 20 de combustible tiene una sección transversal de cuatro lóbulos. Una sección transversal del elemento 20 permanece sustancialmente uniforme sobre la longitud de la porción central del elemento 20. Cada elemento 20 de combustible tiene un núcleo 100 de combustible, que incluye un metal refractario y un material combustible que incluye el material físil.

50 Se coloca un desplazador 110 que comprende un metal refractario a lo largo del eje longitudinal en el centro del núcleo 100 de combustible. El desplazador 110 ayuda a limitar la temperatura en el centro de la parte más gruesa del elemento 20 de combustible al desplazar material físil que ocuparía de otra forma dicho espacio y minimiza las variaciones en el flujo de calor a lo largo de la superficie del elemento de combustible. El desplazador 110 se puede eliminar por completo.

60 Como se muestra en la figura 5, el núcleo 100 de combustible está encerrado por un revestimiento 120 de metal refractario. El revestimiento 120 es preferiblemente suficientemente grueso, suficientemente fuerte, y suficientemente flexible para soportar la inflamación inducida por la radiación del núcleo 100 sin falla (por ejemplo, sin exponer el núcleo 100 al ambiente externo del revestimiento 120). El revestimiento 120 completo tiene por lo menos 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, y/o 0.7 mm de espesor. El espesor del revestimiento 120 tiene por lo menos 0.4 mm con el fin de reducir una oportunidad de falla en función del hinchamiento, falla basada en oxidación, y/o cualquier otro mecanismo de falla del revestimiento 120.

65 El revestimiento 120 puede tener un espesor sustancialmente uniforme en la dirección anular (es decir, alrededor del perímetro del revestimiento 120 como se muestra en la vista de sección de la figura 5) y sobre la longitud

axial/longitudinal del núcleo 100 (como se muestra en la figura 4). Alternativamente, como se muestra en la figura 5, el revestimiento 120 es más grueso en las puntas de los lóbulos 20b que en la intersección/área cóncava 20c entre los lóbulos 20b. Por ejemplo, el revestimiento 120 en las puntas de los lóbulos 20b tiene por lo menos 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%, 125% y/o 150% más grueso que el revestimiento 120 en las intersecciones/áreas cóncavas 20c. El revestimiento 120 más grueso en las puntas de los lóbulos 20b proporciona resistencia mejorada al desgaste en las puntas de los lóbulos 20b cuando los elementos 20 de combustible adyacentes se tocan entre sí en los planos de auto-separación (discutidos adelante).

El metal refractario utilizado en el desplazador 110, el núcleo 100 de combustible 100, y el revestimiento 120 comprende circonio. Como se utiliza aquí, el término circonio significa circonio puro o circonio en combinación con otros materiales de aleación. Sin embargo, a diferencia del núcleo 100 de combustible, se pueden utilizar otros metales refractarios en lugar de circonio (por ejemplo, niobio, molibdeno, tantalio, tungsteno, renio, titanio, vanadio, cromo, circonio, hafnio, rutenio, osmio, iridio, y/u otros metales). Como se utiliza aquí, el término "metal refractario" significa cualquier metal/aleación que tiene un punto de fusión por encima de 1800 grados Celsius (2073K).

En determinados ejemplos, que no caen bajo el alcance de la presente invención, el metal refractario se puede reemplazar con otro metal no combustible, por ejemplo, aluminio. Sin embargo, el uso de un metal no combustible no refractario es más adecuado para núcleos de reactor que funcionan a temperaturas más bajas (por ejemplo, núcleos pequeños que tienen una altura de aproximadamente 1 metro y una potencia eléctrica de 100 MW o menos). Los metales refractarios se prefieren para uso en núcleos con mayores temperaturas de funcionamiento.

Como se muestra en la figura 5, la porción central del núcleo 100 de combustible y el revestimiento 120 tienen un perfil de cuatro lóbulos que forman nervaduras 130 separadoras en espiral. El desplazador 110 también puede tener una forma que sobresale hacia afuera en las nervaduras 130 (por ejemplo, esquinas del desplazador 110 cuadradas se alinean con las nervaduras 130). De acuerdo con ejemplos alternativos, los elementos 20 de combustible pueden tener mayores o menores números de nervaduras 130 sin desviarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, como se ilustra en general en la figura 5 de la publicación de la solicitud de patente estadounidense No. 2009/0252278 A1, un elemento de combustible puede tener tres nervaduras/lóbulos, que son preferiblemente igualmente separados circunferencialmente entre sí. El número de lóbulos/nervaduras 130 puede depender, por lo menos en parte, de la forma del montaje 10 de combustible. Por ejemplo, el elemento 20 de cuatro lóbulos puede funcionar bien con un montaje 10 de combustible de sección transversal cuadrada (por ejemplo, como se utiliza en el AP-1000). En contraste, un elemento de combustible de tres lóbulos puede funcionar bien con un montaje de combustible hexagonal (por ejemplo, como se utiliza en el VVER).

La figura 9 ilustra diversas dimensiones del elemento 20 de combustible. Cualquiera de estas dimensiones, parámetros y/o rangos, como se identifica en la tabla adelante, se pueden aumentar o reducir en hasta 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50% o más.

Parámetro de Elemento 20 de Combustible	Símbolo	Valores de ejemplo	Unidad
Diámetro Circunscrito	D	9-14 (por ejemplo, 12.3, 12.4, 12.5, 12.6)	mm
Espesor de lóbulo	Δ	2.5-3.8 (por ejemplo, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3.0, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8), variable	mm
Espesor mínimo de revestimiento	δ	0.4-1.2 (por ejemplo, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2)	mm
Espesor de revestimiento en el lóbulo	δ_{max}	0.4-2.2 (por ejemplo, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2), 1.5 δ , 2 δ , 2.5 δ	mm
Espesor promedio de revestimiento		0.4 - 1.8 (por ejemplo, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8), at least 0.4, 0.5, or 0.6	mm
Radio de curvatura de revestimiento en la periferia del lóbulo	r	$\Delta/2$, $\Delta/1.9$, variable	mm
Radio de curvatura del núcleo de combustible en la periferia del lóbulo	r_f	0.5-2.0 (por ejemplo, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0), $(\Delta - 2\delta)/2$, variable	mm

Radio de curvatura entre lóbulos adyacentes	R	2-5 (por ejemplo, 2, 3, 4, 5), variable	mm
Longitud lateral de desplazador central	a	1.5-3.5 (por ejemplo, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 3.0, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5)	mm
Perímetro de elemento de combustible		25-60 (por ejemplo, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60)	mm
Área de elemento de combustible		50-100 (por ejemplo, 50, 60, 70, 80, 90, 100)	mm ²
Área de núcleo de combustible, mm ²		30-70 (por ejemplo, 30, 40, 50, 60, 70)	mm ²
Enriquecimiento		≤ 19.7	sin
Fracción U		≤ 25	sin

5 Como se muestra en la figura 4, el desplazador 110 tiene una forma de sección transversal de un cuadrado cuadrilátero regular con esquinas del cuadrado cuadrilátero regular que se alinean con las nervaduras 130. El desplazador 110 forma un espiral que sigue el espiral de nervaduras 130 de tal manera las esquinas del desplazador 110 permanecen alineadas con las nervaduras 130 a lo largo de la longitud axial del núcleo 100 de combustible. En los ejemplos alternativos con más o menos nervaduras 130, el desplazador 110 tiene preferiblemente la forma de sección transversal de un polígono regular que tiene tantos lados como el elemento 20 tiene nervaduras.

10 Como se muestra en la figura 6, el área de sección transversal la parte central del elemento 20 es substancialmente más pequeño que el área de un cuadrado 200 en el que la punta de cada una de las nervaduras 130 es tangente a un lado del cuadrado 200. En términos más genéricos, el área de sección transversal de un elemento 20 que tiene n nervaduras es preferiblemente más pequeño que el área de un polígono regular que tiene n lados en el que la punta de cada una de las nervaduras 130 es tangente a un lado del polígono. Una relación del área del elemento 20 con el área del cuadrado (o polígono regular pertinente para los elementos 20 que tienen más o menos cuatro nervaduras 130) es menor de 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.35, 0.3. Como se muestra en la figura 1, esta relación de área se aproxima tanto al espacio disponible dentro de la cubierta 30 esta absorbido por los elementos 20 de combustible, de tal manera que una relación menor significa que ventajosamente hay más espacio disponible para refrigerante, que también actúa como un moderador de neutrones y que aumenta la relación de moderador a combustible (importante para neurotrónica), reduce el arrastre hidráulico y aumenta la transferencia de calor de los elementos 20 al refrigerante. La relación de moderador a combustible resultante es de por lo menos 2.0, 2.25, 2.5, 2.75 y/o 3.0 (en oposición a 1,96 cuando se utilizan barras de óxido de uranio cilíndrica convencional). El área de flujo de montaje 10 de combustible se incrementa en más del 16% cuando se compara con el uso de uno o más montajes de combustible convencionales que utilizan barras de óxido de uranio cilíndricas. El aumento de área de flujo puede reducir la caída de presión del refrigerante a través del montaje 10 (en relación a montajes de uranio convencional), que puede tener ventajas con respecto al bombeo de refrigerante a través del montaje 10.

30 Como se muestra en la figura 4, el elemento 20 se alarga axialmente. En el ejemplo ilustrado, cada elemento 20 es un elemento de longitud completa y extiende en el camino completo desde la placa 70 de anclaje inferior en o cerca a la parte inferior del montaje 10 hasta la placa 80 de anclaje superior en o cerca a la parte superior del montaje 10. Esto puede resultar en elementos 20 que tienen una longitud de un 1 metro de largo (para reactores compactos) hasta 4 metros de largo. De esta manera, para reactores típicos, los elementos 20 pueden estar entre 1 y 5 metros de largo. Sin embargo, los elementos 20 pueden ser alargar o acortar para acomodarse a cualquier otro tamaño de reactor sin apartarse del alcance de la presente invención.

35 Aunque los elementos 20 ilustrados tienen en sí mismos longitud completa, los elementos 20 pueden alternativamente ser segmentados, de tal manera que los múltiples segmentos juntos constituyen un elemento de longitud completa. Por ejemplo, 4 segmentos de elemento 20 de 1 metro individuales se pueden alinear de extremo a extremo para crear efectivamente un elemento de longitud completa. Placas 70, 80 de anclaje adicional se pueden proporcionar en las intersecciones entre los segmentos para conservar la separación axial y la disposición de los segmentos.

40 El núcleo 100 de combustible comprende una combinación de un metal/aleación refractaria y material de combustible. El metal/aleación refractaria puede comprender una aleación de circonio. El material de combustible puede comprender el uranio poco enriquecido (por ejemplo, U235, U233), plutonio, o torio combinado con uranio poco enriquecido, como se define adelante y/o plutonio. Como se utiliza aquí, "uranio poco enriquecido" significa que el material de combustible completo contiene menos de 20% en peso de material fisible (por ejemplo, uranio 235 o uranio 233). El material del

combustible de uranio se enriquece hasta entre 1% y 20%, 5% y 20%, 10% y 20% o 15% y 20% en peso de uranio-235. El material del combustible comprende 19,7% uranio-235 enriquecido.

5 El material de combustible puede comprender una fracción de volumen de 3-10%, 10-40%, 15-35% y/o de 20-30% en volumen del núcleo 100 de combustible. De acuerdo con diversas realizaciones, el material refractario puede comprender una fracción de volumen de 60-99%, 60-97%, 70-97%, 60-90%, 65-85% y/o 70-80% del núcleo 100 de combustible. Fracciones de volumen dentro de uno o más de estos rangos proporcionan una aleación con propiedades beneficiosas como se definen mediante el diagrama de fase de material para la composición de aleación especificada. El núcleo 100 de combustible comprende una aleación de Zr-U que es un combustible de alta aleación (es decir, relativamente alta concentración del constituyente de aleación con relación al constituyente de uranio) comprendido de 10 δ -fase UZr_2 o una combinación de δ -fase UZr_2 y α -fase Zr. La δ -fase del sistema de aleación binario U-Zr puede variar desde una composición de circonio de aproximadamente 65-81 volumen % (aproximadamente 63 a 80 % de átomos del núcleo 100 de combustible). Se ha encontrado que estos ejemplos resultan en baja inflamación inducida por radiación, volumétrica, del elemento 20 de combustible. Los gases de fisión están atrapados dentro del núcleo 100 de metal 15 propiamente dicho, de tal manera que el elemento 20 de combustible puede omitir un espacio de gas convencional desde el elemento 20 de combustible. Dicha inflamación puede ser significativamente menor de lo que podría ocurrir si se utilizan composiciones de baja aleación (solamente α -fase) (por ejemplo, por lo menos 10%, 20%, 30%, 50%, 75%, 100%, 200%, 300%, 500%, 1000%, 1200, 1500%, o mayor reducción en el % en volumen de inflamación por porcentaje de quemado de átomo que si se utilizará un combustible de baja aleación α -fase U-10Zr). La inflamación inducida por 20 irradiación del elemento 20 de combustible o núcleo 100 del mismo puede ser menor que 20, 15, 10, 5, 4, 3 y/o 2 por ciento en volumen por porcentaje de átomos quemados. Se espera que la inflamación sea de aproximadamente de un volumen % por porcentaje de átomos quemados.

25 De acuerdo con ejemplos alternos, que no caen bajo el alcance de la presente invención, el núcleo de combustible se puede reemplazar con una aleación binaria de plutonio-circonio con los mismos porcentajes de volumen o porcentajes de volumen similares con los núcleos 100 de combustible U-Zr discutidos anteriormente, o con diferentes porcentajes en volumen que con los núcleos 100 de combustible U-Zr discutidos anteriormente. Por ejemplo, la fracción de plutonio en el núcleo 100 puede ser sustancialmente menor que una fracción de uranio correspondiente en un núcleo 100 de base de uranio correspondiente debido a que el plutonio normalmente tiene una fracción de peso de aproximadamente 60- 30 70% de isótopos fisiles, aunque el uranio LEU tiene 20% o menos fracción en peso de isótopos U-235 fisiles. La fracción de volumen de plutonio en el núcleo de 100 puede ser menor del 15%, menor del 10% y/o menor del 5%, con la fracción de volumen del metal refractario que se ajusta en forma correspondiente.

35 El uso del núcleo 100 de aleación rica también puede resultar en la retención ventajosa de los gases de fisión durante irradiación. Los combustibles de óxido y combustibles de metal de aleaciones bajas normalmente presentan liberación de gases de fisión significativos que están normalmente acompañados por el diseño de combustible, usualmente con un plenum dentro de la barra de combustible para contener gases de fisión liberados. El núcleo 100 de combustible de acuerdo con uno o más ejemplos de la presente divulgación, en contraste, no libera gases de fisión. Esto se debe en parte a la baja temperatura de funcionamiento del núcleo 100 de combustible y al hecho de que los átomos de gases de 40 la fisión (específicamente Xe y Kr) se comportan como productos de fisión sólidos. La formación y la migración de burbujas de gas de fisión a lo largo de límites de grano hacia el exterior del núcleo 100 de combustible no ocurren. A temperaturas suficientemente altas, se pueden formar burbujas de gas de fisión pequeñas (de unas pocas micras de diámetro). Sin embargo, estas burbujas permanecen aisladas dentro del núcleo 100 de combustible y no forman una red interconectada que facilitaría la liberación del gas de fisión. El enlace metalúrgico entre el núcleo 100 de combustible y 45 el revestimiento 120 pueden proporcionar una barrera adicional a la liberación de gas de fisión.

El núcleo 100 de combustible (o el revestimiento 120 u otra parte adecuada del elemento 20 de combustible) de uno o más de los elementos 20 de combustible se pueden alea con un veneno consumible tal como el gadolinio, boro, erbio u otro material absorbente de neutrones adecuados para formar un elemento de combustible de veneno consumible 50 integral. Diferentes elementos 20 de combustible dentro de un montaje de 10 combustibles pueden utilizar diferentes venenos consumible y/o diferentes cantidades veneno consumible. Por ejemplo, algunos de los elementos 20 de combustibles de un montaje 10 de combustible (por ejemplo, menos de 75%, menos de 50%, menos del 20%, 1-15%, 1-12%, 2-12%, etc.) pueden incluir núcleos 100 con 15, 20 o 25 por ciento en peso o menos de Gd (por ejemplo, 1-25 % en peso, 1-15% en peso 5-15% en peso, etcétera.). Otros elementos 20 de combustibles de montaje 10 de combustible 55 (por ejemplo, 10-95%, 10-50%, 20-50%, un número mayor de elementos 20 de combustible que los elementos 20 de combustible que utilizan Gd) pueden incluir núcleos 100 con 10 o 5% en peso o menos de Er (por ejemplo, 0.1-10.0% en peso, 0.1 a 5.0% en peso etcétera.).

60 El veneno consumible desplaza el material de combustible (a diferencia del metal refractario) con relación a los elementos 20 de combustible que no incluyen un veneno consumible en sus núcleos 100. Por ejemplo, de acuerdo con un ejemplo de un elemento 20 de combustible cuyo núcleo 100 incluiría de otra forma 65% en volumen de circonio y 35% en volumen de uranio en la ausencia de un veneno, el elemento 20 de combustible incluye un núcleo 100 que 16,5 % en volumen Gd, 65% en volumen circonio y 18.5% en volumen uranio. El veneno consumible en desplaza en cambio el metal refractario, a diferencia del material combustible. El veneno consumible en el núcleo 100 de combustible 65 desplaza el metal refractario y el material de combustible en forma proporcional. Por consiguiente, el veneno consumible dentro del núcleo 100 de combustible se puede disponer en la δ -fase de UZr_2 o α -fase de Zr de tal manera que la

presencia del veneno consumible no cambia la fase de la aleación UZr_2 o aleación Zr en la que se deposita el veneno consumible.

5 Los elementos 20 de combustibles con un núcleo 100 con un veneno consumible pueden constituir una porción (por ejemplo, 0-100%, 1-99%, 1-50%, etc.) de los elementos 20 de combustible de uno o más montajes 10 de combustible utilizados en un núcleo del reactor. Por ejemplo, los elementos 20 de combustibles con veneno consumible se pueden posicionar en ubicaciones estratégicas dentro de la red de montaje de combustible del montaje 10 que también incluye elementos 20 de combustible sin veneno consumible para proporcionar control de distribución y para reducir concentraciones de boro solubles tempranamente en el ciclo operativo. Del mismo modo, seleccionar los montajes 10 de combustible que incluyen elementos 20 de combustible con veneno consumible se pueden posicionar en ubicaciones estratégicas dentro del núcleo del reactor con relación a los montajes 10 que no incluyen elementos 20 de combustible con veneno consumible para proporcionar el control de distribución de potencia y reducir concentraciones de boro solubles tempranamente en el ciclo operativo. El uso de dichos absorbentes consumible integrales puede facilitar el diseño de ciclos operativos extendidos.

15 Alternativamente y/o adicionalmente, separar barras de veneno consumible que no tienen combustible se pueden incluir en el montaje 10 de combustible (por ejemplo, adyacente a los elementos 20 de combustible, en lugar de uno o más elementos 20 de combustible, insertados en los tubos guía en los montajes 10 de combustible que no reciben barras de control, etcétera.). Dichas barras de veneno consumible sin combustible se pueden diseñar en montajes de araña similar a aquella que se utiliza en los reactores diseñados por Babcock y Wilcox o Westinghouse (denominados como montajes de barra de veneno consumible (BPRA)). Entonces luego se pueden insertar estos en los tubos guía de barra de control bloqueado en los montajes 10 de combustible seleccionado en el que no existen bancos de control para el ciclo inicial de operación para control de reactividad. Cuando el grupo veneno consumible se utiliza se puede retirar cuando el montaje de combustible se reubica para el siguiente ciclo de combustible. De acuerdo con un ejemplo alternativo en el que las barras de veneno consumible que no tienen combustibles se posicionan en lugar de uno o más elementos 20 de combustible, las barras de veneno consumible sin combustibles permanecen en el montaje 10 de combustible y se descargan junto con otros elementos 20 de combustible cuando el montaje 10 de combustible alcanza en su vida útil.

30 Los elementos 20 de combustible se fabrican a través de coextrusión de metalurgia con polvo. Normalmente, el metal refractario polvo y el material de combustible metálico en polvo (así como el veneno consumible en polvo, si se incluye en el núcleo 100) para el núcleo 100 de combustible se mezclan, el blanco 110 desplazador se posiciona dentro de la mezcla del polvo y luego la combinación de polvo y desplazador 110 se prensan y sinterizan en base de núcleo de combustible/ palanquilla (por ejemplo, en un molde que se calienta para variar la extensión durante varios períodos de tiempo con el fin de sinterizar la mezcla). El blanco 110 de desplazador puede tener la misma forma o forma similar de sección transversal que el desplazador 110 formado finalmente. Alternativamente, el blanco 110 desplazador puede tener una forma que se diseña para deformarse en la forma de sección transversal pretendida de desplazado 110 luego de extrusión. La base de núcleo de combustible (que incluye el desplazador 110 y el material de núcleo 100 de combustible sinterizado) se insertan en un tubo hueco con revestimiento 120 que tiene una base de tubo sellado y una abertura en el otro extremo. La abertura en el otro extremo se sella luego mediante un tapón de extremo hecho del mismo material que el revestimiento para formar una palanquilla. La palanquilla puede tener forma cilíndrica, o puede tener una forma que se asemeja más cercanamente a la forma de sección transversal al final del elemento 20, por ejemplo, como se muestra en las figuras 5 y 9. La palanquilla se extrude luego bajo temperatura y presión a través de un grupo de boquillas para crear el elemento 20, que incluye el núcleo 100 formado finalmente, el revestimiento 110 y el desplazador 120. De acuerdo con diversos ejemplos que utilizan un desplazador 110 no cilíndrico, la palanquilla se puede orientar adecuadamente con relación a la boquilla de prensado de extrusión, de tal manera que las esquinas del desplazador se alinean con los lóbulos 20b del elemento 20 de combustible. El proceso de extrusión se puede hacer ya sea por extrusión directa (es decir, moviendo la palanquilla a través de una boquilla estática) o extrusión indirecta (es decir, moviendo la boquilla hacia una palanquilla estática). El proceso resulta en que el revestimiento 120 se pega metalúrgicamente al núcleo 100 de combustible, lo que reduce el riesgo de deslaminación del revestimiento 120 del núcleo 100 de combustible. El tubo y el tapón final del revestimiento 120 se unen metalúrgicamente entre sí para sellar el núcleo 100 combustibles dentro del revestimiento 120. Los altos puntos de fusión de los metales refractarios utilizados en los elementos 10 de combustible tienden a hacer la metalurgia del polvo el método de elección para fabricar los componentes a partir de estos metales.

55 La base de núcleo de combustible de los elementos 20 de combustible se puede fabricar a través de moldeado en lugar de sinterización. El metal refractario monolítica o en polvo y el material de combustible monolítica o en polvo (así como el veneno consumible en polvo, si se incluye en el núcleo 100) se puede mezclar, fundir y moldear en un molde. El molde puede crear un vacío con forma de preforma- desplazador en el núcleo 100 fundido de tal manera que el blanco 110 desplazador se puede insertar después que se funde el núcleo 100, de la misma manera que se agrega el revestimiento 120 para formar la palanquilla que se va a extrudir. Las etapas restantes para la fabricación de los elementos 20 de combustible pueden permanecer iguales que o similares a las realizaciones discutidas anteriormente que utiliza sinterización en lugar de fundición. La extrusión posterior resulta en unión metalúrgica d entre el desplazador 110 y núcleo 100, así como entre el núcleo de 100 y el revestimiento 120.

65

Los elementos 20 de combustible se fabrican utilizando material de combustible cerámico en polvo en lugar de material de combustible metálico en polvo. Las etapas de fabricación restantes pueden ser iguales que las discutidas anteriormente con respecto a las realizaciones que utilizan material de combustible metálico en polvo. El proceso de fabricación puede resultar en un núcleo 100 de combustible que comprende material de combustible dispuesto en una matriz de material no combustible metálico. En uno o más de los ejemplos de combustible metálico, el núcleo 100 de combustible resultante comprende un núcleo de aleación de combustible metálico que comprende una aleación de material de combustible metálico y la matriz de material no combustible metálico (por ejemplo, una aleación de uranio-circonio). En uno o más ejemplos de combustible cerámico, el núcleo 100 comprende material de combustible cerámico dispuesto en (por ejemplo, intercalado a lo largo de) la matriz de material de combustible no metálico. De acuerdo con diversas realizaciones, el material de combustible cerámico utilizado en el proceso de fabricación puede comprender óxido de uranio o plutonio en polvo, nitruro de uranio o plutonio en polvo, carburo de uranio o plutonio en polvo, hidruro de uranio o plutonio en polvo, o una combinación de los mismos. En contraste con los elementos de combustible UO_2 convencionales en los que se depositan gránulos de UO_2 en un tubo, el proceso de fabricación resulta en combustible cerámico que se dispone en una matriz sólida de material no combustible (por ejemplo, una matriz de circonio).

Como se muestra en la figura 4, el paso de embobinado axial enrollada de las nervaduras 130 espirales se selecciona de acuerdo con la condición de colocar los ejes de los elementos 10 de combustible adyacentes con una separación igual al ancho a través de las esquinas en la sección transversal de un elemento de combustible y puede ser 5% a 20% del elemento 20 de combustible de longitud. El paso (es decir, la longitud axial sobre la cual un lóbulo/nervadura hace una rotación completa) es de aproximadamente 21.5 cm, mientras que la longitud activa completa del elemento 20 es de aproximadamente 420 cm. Como se muestra en la figura 3, se proporciona estabilidad de la disposición vertical de los elementos 10 de combustible: en la parte inferior – mediante la placa 70 de anclaje inferior; en la parte superior – mediante la placa 80 de anclaje superior; y con relación a la altura del núcleo, mediante la cubierta 30. Como se muestra en la figura 1, los elementos 10 de combustible tienen una orientación circunferencial de tal manera que los perfiles lobulados de cualquiera de los dos elementos 10 de combustible adyacentes tienen un plano de simetría común que pasa a través de los ejes de los dos elementos 10 de combustible adyacentes en por lo menos una sección transversal del grupo de elemento de combustible.

Como se muestra en la figura 1, el giro helicoidal de los elementos 20 de combustible en combinación con su orientación asegura que exista uno o más planos de auto separación. Como se muestra en la figura 1, en dichos planos de auto separación, las nervaduras de los elementos 20 adyacentes están en contacto entre sí para asegurar la separación adecuada entre dichos elementos 20. De esta manera, la separación centro a centro de los elementos 20 será aproximadamente igual del ancho de esquina a esquina de cada elemento 20 (12.6 mm en el elemento ilustrado en la figura 5). Dependiendo del número de lóbulos 20b en cada elemento 20 de combustible y la disposición geométrica relativa de los elementos 20 de combustible, todos los elementos 20 de combustible adyacentes o solamente una parte de los elementos 20 de combustible adyacentes harán contacto entre sí. Por ejemplo, en la realización ilustrada de cuatro lóbulos, cada elemento 20 de combustible hace contacto con todos los cuatro elementos 20 de combustible adyacente en cada plano de auto separación. Sin embargo, en un elemento de combustible de tres lóbulos en el que los elementos de combustible se disponen en un patrón hexagonal, cada elemento de combustible solo hará contacto con tres de los seis elementos de combustible adyacentes en un plano de auto-separación dado. El elemento de combustible de tres lóbulos hará contacto con los otros tres elementos de combustible adyacentes en el siguiente plano de auto separación separado axialmente (es decir, 1/6 de desfase de giro del plano de auto separación anterior).

En un elemento 20 de n lóbulos en el que los n elementos de combustible están adyacentes a un elemento 20 de combustible particular, existirá un plano de auto separación cada $1/n$ de giro helicoidal (por ejemplo, cada 1/4 de giro helicoidal para un elemento 20 de cuatro lóbulos dispuesto en un patrón cuadrado de tal manera que los otros cuatro elementos 20 de combustible están adyacentes al elemento 20 de combustible; cada 1/3 de giro helicoidal para un elemento de tres lóbulos en el que tres elementos de combustible están adyacentes al elemento de combustible (es decir, cada 120 grados alrededor del perímetro del elemento de combustible)). El paso de la hélice se puede modificar para crear más o menos planos de auto-separación sobre la longitud axial de los elementos 20 de combustible. Cada elemento cuatro elementos 20 de combustible de lóbulo incluyen múltiples giros de tal manera que existen múltiples planos de auto-separación sobre una longitud axial del grupo de elementos 20 de combustibles.

Todos los elementos 20 giran en la misma dirección. Sin embargo, los elementos 20 adyacentes pueden girar en direcciones opuestas.

La fórmula para el número de planos de auto separación a lo largo de la longitud de la barra de combustible es la como sigue: $N=n * L/h$, en el que:
 L- longitud de la barra de combustible
 n- número de lóbulos (nervaduras) y el número de elementos de combustible adyacentes a un elemento de combustible
 h- paso de giro helicoidal.

La fórmula es ligeramente diferente si el número de lóbulos y el número de elementos de combustible adyacentes a un elemento de combustible no son iguales.

5 Como resultado de dicha auto-separación, el montaje 10 de combustible puede omitir rejillas separadoras que pueden haber sido necesarias de otra forma para asegurar la separación del elemento adecuado a lo largo de la longitud del montaje 10. Al eliminar rejillas separadoras, el refrigerante puede fluir más libremente a través del montaje 10, que aumenta ventajosamente la transferencia térmica de los elementos 20 al refrigerante. Sin embargo, el montaje 10 puede incluir rejillas separadoras.

10 Como se muestra en la figura 3, la cubierta 30 forma una cubierta tubular que se extiende axialmente a lo largo de la longitud completa de los elementos 20 de combustible y rodea los elementos 20. Sin embargo, la cubierta 30 puede comprender bandas separadas axialmente, cada una de las cuales rodea los elementos 20 de combustible. Una o más de dichas bandas se pueden alinear axialmente con los planos de auto separación. Los soportes de esquina que se extiende axialmente pueden extenderse entre dichas bandas de separación axial para soportar las bandas, mantener la alineación de las bandas, y fortalecer el montaje. Alternativamente y/o adicionalmente, los agujeros se pueden cortar de otra forma en la cubierta 30 tubular/poligonal en lugares en el que la cubierta 30 no se necesita o desea para soporte. El uso de una cubierta 30 completa puede facilitar mayor control de los flujos de refrigerante separados a través de cada montaje 10 de combustible individual. Por el contrario, el uso de bandas o una cubierta con agujeros puede facilitar mejor la mezcla de refrigerante entre los montajes 10 de combustible adyacentes, que pueden reducir ventajosamente los gradientes de temperatura del refrigerante adyacentes a los montajes 10 de combustible.

20 Como se muestra en la figura 1, el perímetro de sección transversal de la cubierta 30 tiene una forma que se acomoda al reactor en la que se utiliza el montaje 10. En reactores tal como el AP-1000 que utilizan montajes de combustible cuadrados, la cubierta tiene una sección transversal cuadrada. Sin embargo, la cubierta 30 puede tomar alternativamente cualquier forma adecuada dependiendo del reactor en el que se utilice (por ejemplo, una forma hexagonal para uso en un reactor VVER (por ejemplo, como se utiliza en la figura 1 de la publicación de solicitud de patente Estadounidense No. 2009/0252278 A1).

25 Los tubos 40 guía proporcionan la inserción de elementos absorbentes de control basados en carburo de boro (B_4C), cadmio indio plata (Cd, In, Ag), titanato de disprosio ($Dy_2O_3 \cdot TiO_2$) u otras aleaciones adecuadas o materiales utilizados para el control de reactividad (no mostrados) y elementos absorbedores quemarles con base en carburo de boro, óxido de gadolinio (Gd_2O_3) u otros materiales adecuados (no mostrados) y se colocan en la boquilla 50 superior con la capacidad de desplazamiento axial elástico. Los tubos 40 guía pueden comprender una aleación de circonio. Por ejemplo, la disposición del tubo 40 guía mostrado en la figura 1 está en una disposición utilizada en el reactor AP-1000 (por ejemplo, tubos guía 24 dispuestos en dos filas anulares en las posiciones mostradas en la rejilla de 17 x 17).

35 La forma, tamaño y características de la estructura 25 dependen del núcleo de reactor específico para el cual se va a utilizar el montaje 10. De esta manera, un experto en la técnica comprendería cómo hacer estructuras de tamaño y forma adecuadas para el montaje 10 de combustible. Por ejemplo, la estructura 25 se puede diseñar y configurar para ajustarse en un núcleo del reactor de una planta de energía nuclear convencional en lugar de un montaje de combustible de óxido de uranio convención u óxido para el núcleo del reactor de la planta. La planta de energía nuclear puede comprender un diseño de núcleo del reactor que está en uso actual antes de 2010 (por ejemplo, 2, 3 o 4 circuitos PWR; BWR-4). Alternativamente, la planta de energía nuclear puede tener un diseño completamente nuevo que se adapta específicamente para el uso con el montaje 10 de combustible.

45 Como se explicó anteriormente, el montaje 10 de combustible ilustrado se diseña para uso en un reactor AP-1000 o EPR. El montaje incluye una matriz 17x17 de elementos 20, 24 de combustibles de los cuales se reemplazan con tubos 40 guía como se explicó anteriormente para un total de 265 elementos 20 de combustible en EPR o 264 elementos 20 de combustibles en AP-1000 (en el AP-1000, además del elemento de combustible 24 se reemplazan con tubos guía, un elemento de combustible central también se reemplaza con un tubo instrumentado).

50 Los elementos 20 proporcionan preferiblemente 100% del material físil general del montaje 10 de combustible. Alternativamente, algo del material físil del montaje 10 se puede proporcionar a través de elementos de combustible diferente de los elementos 20 (por ejemplo, elementos de combustible no lobulados, elementos de óxido de uranio, elemento que tienen relaciones y/o enriquecimiento que difieren de los elementos 20). De acuerdo con diversas de dichas realizaciones alternativas, los elementos 20 de combustible proporcionan por lo menos 50%, 60%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% y/o 95% en volumen del material físil general del montaje 10 de combustible.

55 El uso de los elementos 20 de combustible de metal facilitan diversas ventajas sobre el combustible de óxido de uranio u óxido mezclado utilizado convencionalmente con reactores nucleares de agua ligera (LWR) (que incluyen reactores de agua hirviente y reactores de agua presurizada) tal como los reactores AP-1000 diseñado por Westinghouse, EPR diseñado por AREVA, o ABWR diseñado por GE. Por ejemplo, la calificación de potencia para un LWR que opera en combustible de óxido de uranio estándar u óxido mezclado se puede incrementar en hasta aproximadamente el 30% al sustituir todos los elementos 20 de combustible metálicos y/o el montaje 10 de combustible para combustible de óxido de uranio estándar y montajes de combustible utilizados actualmente en tipos de LWR existentes o nuevos tipos de LWR que se han propuesto.

65 Una de las restricciones claves para aumentar la calificación de potencia del LWR que funciona en combustible de óxido de uranio estándar ha sido la pequeña área de superficie de los elementos de combustible cilíndricos que dicho

combustible utilizada. Un elemento de combustible cilíndrico tiene la relación de área de superficie a volumen más baja para cualquier tipo de perfil de sección transversal de elemento de combustible. Otra restricción importante para el combustible de óxido de uranio estándar ha sido un agotamiento relativamente bajo de alcanzar de dichos elementos de combustible sin dejar de cumplir los criterios aceptables de rendimiento de combustible. Como resultado, estos factores asociados con el combustible de óxido de uranio estándar u óxido mezclado limitan significativamente el grado en el que se puede incrementar la calificación de potencia del reactor del sistema.

Uno o más ejemplos de todos los elementos 20 de combustible metálicos superan las anteriores limitaciones. Por ejemplo, como se explicó anteriormente, la falta de rejillas separadores puede reducir la resistencia hidráulica, y por lo tanto aumentar el flujo de refrigerante y el flujo de calor a partir de los elementos 20 al refrigerante primario. Los giros helicoidales de los elementos 20 de combustible pueden aumentar la turbulencia e intermezclado de refrigerante, lo que también puede aumentar el flujo de calor de los elementos 20 al refrigerante.

Los análisis termo-hidráulicos y neutrónicos preliminares han mostrado lo siguiente:

- La calificación de potencia térmica en un reactor LWR se puede incrementar en hasta 30.7% o más (por ejemplo, la calificación de potencia térmica de un reactor EPR se puede incrementar 4.59 GWth a GWth 6.0).

- Con una fracción de volumen de uranio del 25% en enriquecimiento de la mezcla de uranio-circonio y uranio-235 del 19.7%, un núcleo de reactor EPR con una configuración de elemento 20 de combustible metálico de cuatro lóbulos puede operar durante aproximadamente 500-520 días de potencia completa efectiva (EFPD) en la calificación de potencia térmica incrementada de 6.0 GWth si los 72 montajes de combustible se reemplazan por lote (una vez cada 18 meses) o 540-560 EFPD si los montajes de combustible 80 se reemplazan por lote (una vez cada 18 meses).

- Debido al aumento de área de superficie en el elemento de combustible de múltiples lóbulos, incluso en el aumento de calificación de potencia de 6.0 GWth, el flujo de calor de superficie promedio del elemento de combustible de múltiples lóbulos se muestra que es 4-5% menor que aquel para los elementos de combustibles de óxido de uranio cilíndricos que operan en una calificación de potencia térmica de 4.59 GWth. Esto puede proporcionar un aumento del margen de seguridad con respecto al flujo de calor crítico (por ejemplo, aumento de salida del margen de ebullición nucleado en PWR o máxima relación de potencia crítica de limitación de fracción en BWR). Adicionalmente, esto puede permitir la posibilidad de utilizar 12 elementos de combustible por montaje con venenos quemarles. Los venenos quemarles se puede utilizar para retirar el exceso de reactividad al inicio del ciclo o para aumentar el efecto Doppler durante el calentamiento del núcleo.

- De esta manera, los montajes 10 pueden proporcionar mayor salida de potencia térmica en una temperatura de funcionamiento de combustible más baja que los montajes de combustible de óxido de uranio convencional u óxido mezclado.

Para utilizar el aumento de salida de potencia del montaje 10, las plantas de energía convencionales se pueden actualizar (por ejemplo, bombas de refrigeración más grande y/o adicionales, generadores de vapor, intercambiadores de calor, presurizadores, turbinas). De hecho, la actualización puede proporcionar 30-40% más de electricidad desde un reactor existente. Dicha posibilidad puede evitar la necesidad de construir un segundo reactor completo. El costo de modificación se puede pagar fácilmente por sí mismo a través del aumento de generación de electricidad. Alternativamente, se pueden construir plantas de energía nuevas para que incluyan características adecuadas para manejar y utilizar mayor generación térmica de los montajes 10.

Adicionalmente, uno o más ejemplos de la divulgación pueden permitir a un LWR funcionar a la misma calificación de potencia que con combustible de óxido de uranio estándar u óxidos mezclado utilizando sistemas de reactor existentes sin ninguna modificación de reactor principal. Por ejemplo:

- Un EPR tendría la misma salida de potencia que si se utilizara combustible de óxido de uranio convencional: 4.59 GWt;

- Con una fracción de volumen de uranio del 25% en el enriquecimiento de mezcla de uranio-circonio y uranio-235 de aproximadamente 15%, un núcleo de reactor EPR con una configuración de elemento 20 de combustible metálico de cuatro lóbulos puede funcionar durante aproximadamente 500-520 días de potencia completa efectiva (EFPD) si se colocan 72 montajes de combustible por lote o 540-560 EFPD si se reemplazan 80 montajes de combustible por lote.

- El flujo térmico de superficie promedio para los elementos 20 se reduce en aproximadamente 30% en comparación con aquel de las barras cilíndricas con combustible óxido de uranio convencional (por ejemplo, 39.94 v. 57.34 W/cm²). Debido al aumento de la temperatura del refrigerante a través del montaje 10 (por ejemplo, la diferencia entre la temperatura de entrada y salida) y el índice de flujo de refrigerante a través del montaje 10 permanecen aproximadamente igual con relación a los montajes de combustible convencionales, el flujo térmico reducido de la superficie promedio resulta en una reducción correspondiente en la temperatura de la superficie de la barra lo que contribuye a aumentar los márgenes de seguridad con respecto al flujo térmico crítico (por ejemplo, aumento de salida

de margen de ebullición del nucleado en PWR o la relación de potencia crítica de limitación de fracción máxima en BWR).

5 Adicionalmente y/o alternativamente, los montajes 10 de combustible de acuerdo con la presente divulgación pueden estar en fase/escalonado en un núcleo de reactor en lugar de montajes de combustible convencionales. Durante el periodo de transición, los montajes 10 de combustible tienen salidas físis/neutrónicas/térmicas comparables, como montajes de combustible convencionales que se pueden reemplazar gradualmente tal como montajes de combustible convencionales sobre cambios de combustible secuencial sin cambiar los parámetros de funcionamiento de la planta de energía. De esta manera, los montajes 10 de combustible se pueden retroajustar en un núcleo existente que puede ser importante durante un período de transición (es decir, empezar con un núcleo parcial con montajes 10 de combustible y transición gradual a un núcleo de combustible de montajes 10 de combustible).

15 Más aun, la carga físil de los montajes 10 se puede adaptar a la transición particular deseada por un operador de planta. Por ejemplo, la carga físil se puede incrementar adecuadamente con el fin de aumentar la generación térmica del reactor en cualquiera del 0% al 30% o más superior, con relación al uso de montajes de combustible convencionales que reemplaza el montaje 10. Por consiguiente, el operador de la planta de energía puede seleccionar la tasa de subida deseada específica, con base en la infraestructura de planta existente o las capacidades de la planta de energía en diversos momentos durante las actualizaciones.

20 Uno o más ejemplos de los montajes 10 de combustible y los elementos 20 de combustible se puede utilizar en reactores rápidos (en oposición a los reactores de agua ligera). En reactores rápidos, el metal no combustible del núcleo 100 de combustible es preferiblemente un metal refractario, por ejemplo, una aleación de molibdeno (por ejemplo, molibdeno puro o una combinación de molibdeno y otros metales) y el revestimiento 120 es preferiblemente acero inoxidable (que incluye cualquier otra variación de aleación de la misma) u otro material adecuado para uso con refrigerante en dichos reactores (por ejemplo, sodio). Dichos elementos 20 de combustible se pueden fabricar mediante los procesos de coextrusión discutidos anteriormente o se pueden fabricar mediante cualquier otro método adecuado (por ejemplo, fundido al vacío).

30 Como se muestra en las figuras 7A, 7B y 8, se pueden utilizar los montajes 510 de combustible en un reactor 500 de agua pesada presurizado (véase figura 8) tal como un reactor CANDU.

35 Como se muestra en las figuras 7A y 7B, el montaje 510 de combustible comprende una pluralidad de elementos 20 de combustible montados en una estructura 520. La estructura 520 comprende dos placas 520a, 520b de extremo que se montan en extremos axiales opuestos de los elementos 20 de combustible (por ejemplo, a través de soldadura, ajustes por interferencia, cualquiera de los diferentes tipos de métodos de sujeción descritos anteriormente para sujetar los elementos 20 a la placa 70 de anclaje inferior). Los elementos 20 utilizados en el montaje 510 de combustible normalmente son mucho más cortos que los elementos 20 utilizados en el montaje 10. De acuerdo con diversas realizaciones y los reactores 500, los elementos 20 y los montajes 510 que se utilizan en el reactor 500 pueden tener aproximadamente 18 pulgadas de largo.

40 Los elementos 20 se pueden posicionar entre sí en el montaje 510 de tal manera que se mantenga los planos de autoseparación separados entre los elementos 20 en la forma descrita anteriormente con respecto al montaje 10. Alternativamente, los elementos 20 del montaje 510 se pueden separar de esta forma entre sí de tal manera que los elementos 20 adyacentes nunca hagan contacto entre sí, y en cambio se coloquen completamente sobre la estructura 520 para mantener la separación del elemento 20. Adicionalmente, los separadores se pueden unir a los elementos 20 o sus nervaduras en diversas posiciones a lo largo de la longitud axial de los elementos 20 para hacer contacto con los elementos 20 adyacentes y ayudar a conservar la separación 20 del elemento (por ejemplo, en una forma similar a cómo se utilizan los separadores en barras de combustibles convencionales de montajes de combustible convencionales para reactores de agua pesada presurizada para ayudar a conservar la separación de las barras).

50 Como se muestra en la figura 8, los montajes 510 se cargan en tubos 500a de calandria del reactor 500 (denominado en ocasiones en la técnica como una calandria 500). El reactor 500 utiliza agua 500b pesada como un moderador y refrigerante primario. El refrigerante 500b primario circula horizontalmente a través de los tubos 500a y luego a un intercambiador de calor en donde el calor se transfiere a un circuito refrigerante secundario que se utiliza normalmente para generar electricidad a través de turbinas. Se utilizan mecanismos de carga de montaje de combustible (no mostrado) para cargar montajes 510 de combustible en un lado de los tubos 500a de calandria y empujar los montajes 510 gastados fuera del lado opuesto de los tubos 500a, normalmente mientras está funcionando el reactor 500.

60 Los montajes 510 de combustible se pueden diseñar para que sean un sustituto directo para montajes de combustible convencionales (también conocidos como grupos de combustible en la técnica) para reactores de agua pesada presurizada convencional, existentes (por ejemplo, reactores CANDU). En dicho ejemplo, se cargan montajes 510 en el reactor 500 en lugar de los montajes/grupos convencionales. Dichos montajes 510 de combustible se pueden diseñar para que tengan propiedades neutrónicas/térmicas similares a los montajes convencionales que se reemplazan. Alternativamente, los montajes 510 de combustible se pueden dichos estos ejemplos de elevación de tasa, se puede diseñar o actualizar nuevos reactores 500 para acomodar la mayor generación térmica.

El montaje 10 de combustible se diseña para reemplazar un montaje de combustible convencional de un reactor nuclear convencional. Por ejemplo, el montaje 10 de combustible ilustrado en la figura 1 se diseña específicamente para reemplazar un montaje de combustible convencional que utiliza una matriz 17x17 de barras de combustible UO_2 . Si los tubos 40 guía del montaje 10 se dejan en la misma posición exacta que ellos utilizarían con un montaje de combustible convencional, y si todos los elementos 20 de combustible tienen el mismo tamaño, entonces el paso entre las barras/elementos de combustible permanecen sin cambios entre el montaje de combustible UO_2 convencional y uno o más ejemplos del montaje 10 de combustible (por ejemplo, paso de 12.6 mm). En otras palabras, los ejes longitudinales de los elementos 20 de combustible se pueden disponer en las mismas ubicaciones que los ejes longitudinales de las barras de combustible UO_2 convencionales estarían en un montaje de combustible convencional. De acuerdo con diversas realizaciones, los elementos 20 de combustible pueden tener un diámetro circunscrito mayor que las barras de combustible UO_2 comparables (por ejemplo, 12.6 mm en comparación con un diámetro externo de 9.5 mm para una barra de combustible UO_2 típicas). Como resultado, en el plano de autoalineación ilustrado en la figura 1, el ancho y la longitud de la sección transversal del espacio ocupado por los elementos 20 de combustible puede ser ligeramente mayor que aquel ocupado por las barras de combustible UO_2 convencionales en un montaje de combustible convencional (por ejemplo, 214.2 mm par ale montaje 10 de combustible (es decir, 17 elementos de combustible de 20 x 12.6 mm de diámetro circunscrito por elemento combustible), en oposición a 211.1 mm para un montaje de combustible UO_2 convencional que incluye una matriz de 17x17 de barras de combustible UO_2 de 9.5 mm separadas entre sí por un paso de 12.6 mm). En montajes de combustible UO_2 convencionales, una rejilla separadora rodea las barras de combustible y aumenta la envoltura de sección transversal general del montaje de combustible convencional a 214 mm x 214 mm. En el montaje 10 de combustible, la cubierta 30 aumenta del mismo modo la envoltura de sección transversal del montaje 10 de combustible. La cubierta 30 puede tener cualquier espesor adecuado (por ejemplo, 0.5 mm o 1.0 mm de espesor). En una realización que utiliza una cubierta 30 de espesor 1.0 mm, la envoltura de sección transversal general de una realización del montaje 10 de combustible puede ser 216.2 mm x 216.2 mm (por ejemplo, 214 mm ocupado por los 17 elementos 20 de combustible de 12.6 mm de diámetro más dos veces el espesor de 1.0 mm de la cubierta 30). Como resultado, el montaje 10 de combustible puede ser ligeramente mayor (por ejemplo, 216.2 mm x 216.2 mm) que un montaje de combustible UO_2 típico (214 mm x 214 mm). El mayor tamaño puede impartir la capacidad del montaje 10 para ajustarse adecuadamente en las posiciones de montaje de combustible de uno o más reactores convencionales, que se diseñan para uso con montajes de combustible UO_2 convencionales. Para acomodar este cambio de tamaño, de acuerdo con una o más realizaciones de la presente invocan, se puede diseñar un nuevo reactor y construir para acomodar un mayor tamaño de los montajes 10 de combustible.

De acuerdo con alternativa, el diámetro circunscrito de todos los elementos 20 de combustible se puede reducir ligeramente con el fin de reducir el tamaño de la sección transversal general del montaje 10 de combustible. Por ejemplo, el diámetro circunscrito de cada elemento 20 de combustible se puede reducir en 0.13 mm a 12.47 mm, de tal manera que el espacio de la sección transversal general ocupada por el montaje 10 de combustible permanece comparable con un montaje de combustible convencional de 214 mm x 214 mm (por ejemplo, 17 elementos 20 de combustible de 12.47 mm de diámetro más dos espesores de 1.0 mm de la cubierta, que totaliza aproximadamente 214 mm). Dicha reducción en el tamaño de la matriz de 17 por 17 cambiará ligeramente las posiciones de los tubos 40 guía en el montaje 10 de combustible con relación a las posiciones de tubo guía en un montaje de combustible convencional. Para acomodar este cambio ligero de posición en las posiciones del tubo 40, las posiciones de la matriz de control de barra correspondiente y los mecanismos de accionamiento de barra de control en el reactor pueden ser cambiados ligeramente para acomodar los tubos 40 guía reposicionados. Alternativamente, si se proporcionan tolerancias y espacios suficientes para las barras de control en un reactor convencional, las barras de control posicionadas convencionalmente se pueden adaptar adecuadamente en los tubos 40 ligeramente cambiados del montaje 10 de combustible.

Alternativamente, el diámetro de los elementos 20 de combustible periférico se puede reducir ligeramente de tal manera que el montaje 10 general se ajusta en un reactor convencional diseñado para montajes de combustible convencional. Por ejemplo, el diámetro circunscrito de la fila externa de los elementos 20 de combustible se puede reducir en 1.1 mm de tal manera que el tamaño total del montaje de combustible es 214 mm x 214 mm (por ejemplo, 15 elementos 20 de combustible de 12,6 mm más 2 elementos 20 de combustible de 11.5 mm más 2 espesores de 1.0 mm de la cubierta 30). Alternativamente, el diámetro circunscrito de las dos filas externas de los elementos 20 combustibles se puede reducir en 0.55 mm cada uno de tal manera que el tamaño total del montaje de combustible permanece en 214 mm x 214 mm (por ejemplo, 13 elementos 20 de combustible de 12.6 mm más 4 montajes de combustible de 12.05 mm más 2 espesores de 1.0 mm de la cubierta 30). En cada ejemplo, el paso y la posición de la matriz de 13x13 central de elementos 20 de combustible y 2 tubos 40 guía permanecen sin alteración de tal manera que los tubos 40 guía se alinean con la matriz de barra de control y controlan los mecanismos de accionamiento de barra de control en un reactor convencional.

La figura 10 ilustra un montaje 610 de combustible de acuerdo con un ejemplo alternativo. El montaje 610 de combustible se diseña para reemplazar un montaje de combustible UO_2 convencional en un reactor convencional mientras mantiene el posicionamiento de la barra de control de los reactores diseñados para uso con varios montajes de combustible UO_2 convencionales. El montaje 610 de combustible es generalmente similar al montaje 10 de combustible, que se describió anteriormente e ilustra en la figura 1, pero incluye diversas diferencias que ayudan al montaje 610 a adaptarse mejor en uno o más tipos de reactor existentes (por ejemplo, reactores que utilizan el diseño de montaje de

combustible de Westinghouse que utiliza una matriz de 17 por 17 barras de UO_2) sin modificar las posiciones de barra de control o mecanismos de accionamiento de barra de control.

Como se muestra en la figura 10, el montaje de combustible incluye una matriz de 17 por 17 espacios. La matriz central de 15 x 15 está ocupada por 200 elementos 20 de combustible y 25 tubos 40 guía, como se describió anteriormente con respecto al montaje 10 de combustible similar ilustrado en la figura 1. Dependiendo del diseño de reactor específico, el tubo 40 guía central puede ser reemplazado por un elemento 20 de combustible adicional si el diseño del reactor no utiliza un tubo 40 central (es decir, 201 elementos 20 y 24 de combustible de tubos 40 guía). Los tubos 40 guía posicionan en forma correspondientes las posiciones del tubo guía utilizados en reactores diseñados para utilizar montajes de combustible UO_2 convencionales.

Las posiciones periféricas (es decir, las posiciones dispuestas lateralmente hacia afuera de los elementos 20 de combustible) de la matriz/patrón de 17 x 17 del montaje 610 de combustible ocupadas por los 64 elementos/barra 650 de combustible UO_2 . Como se conoce en la técnica, las barras 650 de combustible pueden comprender combustible UO_2 peletizado estándar dispuesto en una barra hueca. El combustible UO_2 peletizado puede estar enriquecido con U-235 en menos del 20%, menos del 15%, menos del 10%, y/o menos del 5%. Las barras 650 pueden tener un diámetro ligeramente más pequeño (por ejemplo, 9.50 mm) a diferencia del diámetro circunscrito de los elementos 20 de combustible, que reducen ligeramente las dimensiones de sección transversal general del montaje 610 de combustible de tal manera que el montaje 610 se ajusta mejor en el espacio asignado para un montaje de combustible UO_2 convencional.

En el ejemplo ilustrado, los elementos/barras 650 de combustible comprenden combustible UO_2 peletizado. Sin embargo, las barras/elementos 650 de combustible puede utilizar alternativamente cualquier otra combinación adecuada de uno o más materiales fisiles y/o fértiles (por ejemplo, torio, plutonio, uranio-235, uranio-233, cualquier combinación de los mismos). Dichas barras/elementos 650 de combustible pueden comprender combustible metálico y/o óxido.

De acuerdo con uno o más ejemplos alternativos, las barras 650 de combustible pueden ocupar menos que todas las 64 posiciones periféricas. Por ejemplo, las barras 650 de combustible pueden ocupar la fila superior y la columna izquierda de la periferia, mientras que la fila inferior y la columna derecha de la periferia se pueden ocupar por los elementos 20 combustibles. Alternativamente, las barras 650 de combustible pueden ocupar cualesquiera otros dos lados de la periferia del montaje de combustible. La cubierta 630 se puede modificar con el fin de encerrar los elementos 20 de combustible en la periferia del montaje de combustible. Dichos montajes de combustible modificados se pueden posicionar adyacente a cada uno de tal manera que una columna/fila de los elementos 650 de combustible periféricos en un montaje siempre están adyacentes a una fila/columna de los elementos 20 de combustible en el montaje de combustible adyacente. Como resultado, se proporciona espacio adicional para los montajes de combustible por el hecho de que la interfaz entre los montajes adyacentes se cambia ligeramente hacia el montaje que incluye los elementos 650 de combustible en el lado de interfaz periférico, dicha modificación puede proporcionar el uso de un mayor número de elementos 20 de combustible de generación de energía mayor que lo que se proporciona por los montajes 610 de combustible.

Una cubierta 630 rodea la matriz de elementos 20 de combustible y separa los elementos 20 de los elementos 650. Las boquillas 50, 60, cubierta 630, pasajes de refrigeración formados entre ellos, caídas de presión relativas a través de los elementos 20 y los elementos 650 y/o el aumento de caída de presión a través de la rejilla 660 separadora (discutida adelante) rodean los elementos 650 lo que puede resultar en un mayor índice de fluidez de refrigerante dentro de la cubierta 630 y más allá de los elementos 20 de combustible de generación de calor mayor que el exterior que la salida del índice de fluidez de la cubierta 630 y más allá de las barras 650 de combustible de generación de calor relativamente fluidez de refrigerante relativo más allá de los elementos 20, 650 con base en su generación de calor respectivo y temperaturas de funcionamiento designadas.

De acuerdo con la invención, la relación de moderador:combustible para los elementos 20 de combustible del montaje 610 de combustible es menor que o igual a 2.4. La relación de moderador:combustible igual a una relación (1) del área total dentro de la cubierta 630 disponible para el refrigerante/moderador (por ejemplo, aproximadamente en el área de sección transversal total dentro de la cubierta 630 menos el área de sección transversal tomada hasta los elementos 20 de combustibles (asumiendo que los tubos 40 guía se llenan con refrigerante)) hasta (2) el área de sección transversal total del núcleo 100 de los elementos 20 de combustible dentro de la cubierta 630.

La cubierta 630 se puede reemplazar con una o más bandas anulares o puede estar provista con agujeros en la cubierta 630, como se explicó anteriormente. El uso de bandas o agujeros en la cubierta 630 puede facilitare el mezclado cruzado de refrigerante entre los elementos 20 de combustible y los elementos 650 de combustible.

Como se muestra en la figura 10, los elementos 650 de combustible se disponen dentro de una rejilla 660 separadora anular que en general es comparable a la parte externa de una rejilla separadora utilizada en un montaje de combustible UO_2 convencional. La rejilla 660 separadora se puede conectar en forma rígida a la cubierta 630 (por ejemplo, a través de soldadura, pernos, tornillos u otros sujetadores). La rejilla 660 separadora tiene preferiblemente un tamaño con el fin de proporcionar el mismo paso entre los elementos 650 de combustible y los elementos 20 de combustible que se proporcionan entre los elementos 20 de combustible central (por ejemplo, paso de 12.6 mm entre

5 ejes de todos los elementos 20, 650 de combustible). Para proporcionar dicha separación, los elementos 650 de combustible se pueden disponer más cerca al lado externo de la rejilla 660 separadora que a la cubierta 630 y al lado interno de la rejilla 660 separadora. El montaje 610 de combustible y la rejilla 660 separadora también tienen tamaños preferibles y se posicionan de tal manera que el mismo paso se proporciona entre los elementos 650 de combustible de los montajes de combustibles adyacentes (por ejemplo, paso de 12.6 mm). Sin embargo, la separación entre cualquiera de los elementos 20, 650 de combustible pueden variar con relación a la separación entre los otros elementos 20, 650 de combustible sin desviarse del alcance de la presente invención.

10 Los elementos 20 de combustible proporcionan por lo menos 60%, 65%, 70%, 75% y/o 80% del volumen total de los elementos 20, 650 de combustible que contienen material fisible del montaje 610 de combustible. Por ejemplo, de acuerdo con uno o más ejemplos en los que el montaje 610 de combustible incluye 201 elementos 20 de combustible, cada uno tiene un área de sección transversal de aproximadamente 70 mm² y 64 elementos 650 de combustible, cada uno tiene un diámetro de 9.5 mm, y los elementos 20 de combustible proporcionan aproximadamente 75.6% de un volumen total de todos los elementos 20, 650 de combustible (201 elementos de combustibles de 20 x 70 mm² igual a 14070 mm²; 64 elementos de combustible 650 x $\pi \times (9.5/2)^2 = 4534$ mm²; áreas de elemento 20, 650 de combustible son esencialmente proporcionales a volúmenes de elemento del combustible; $(14070 \text{ mm}^2 / (14070 \text{ mm}^2 + 4534 \text{ mm}^2) = 75.6\%$)).

20 La altura del montaje 610 de combustible coincide con una altura de un montaje de combustible convencional comparable que puede reemplazar el montaje 610 (por ejemplo, la altura de un montaje de combustible estándar para un diseño de reactor Westinghouse o AREVA).

25 El montaje 610 de combustible ilustrado se puede utilizar en un PWR 17 x 17 tal como el diseño de 4 circuitos Westinghouse, AP1000 o EPR AREVA. Sin embargo, el diseño del montaje 610 de combustible también se puede modificar para acomodar una variedad de los diseños de reactor (por ejemplo, diseños de reactor que utilizan un montaje de combustible hexagonal, en cuyo caso se ocupa la periferia externa del hexágono mediante barras UO₂, mientras que las posiciones internas se ocupan mediante los elementos 20 de combustibles, o reactores de aguas de ebullición o reactores modulares pequeños). Aunque se describen dimensiones particulares con respecto a realizaciones particulares, una variedad de elementos 20, 650 de combustible alternativamente dimensionados y montajes 10 de combustibles se pueden utilizar en relación con una variedad de reactores o tipos de reactor.

35 Dependiendo del diseño de reactor específico, posiciones de barra adicionales de un montaje de combustible se pueden reemplazar con barras UO₂. Por ejemplo, aunque el montaje 610 de combustible incluye barras UO₂ solamente en la fila periférica externa, el montaje 610 puede alternativamente incluir UO₂ en las dos filas externas.

40 La parte del montaje 610 de combustible que soporta los elementos 650 de combustible es inseparable de la porción del montaje 610 de combustible que soporta los elementos 20 de combustible. Los elementos 20 de combustible no se pueden separar como una unidad de los elementos 650 de combustible del montaje 610 de combustible (aunque los elementos 20, 650 de combustible individuales se pueden retirar del montaje 610, por ejemplo, con base en la falla de elementos de combustible individual). Del mismo modo, no existe un mecanismo de bloqueo que bloquee selectivamente la parte del elemento 650 de combustible del montaje de combustible a la parte de elemento 20 de combustible del montaje 610 de combustible. Los elementos 20 de combustible y los elementos 650 de combustibles del montaje 610 de combustible tienen el mismo ciclo de vida diseñado, de tal manera que se utiliza el montaje 610 de combustible completo dentro del reactor y luego se retira como una única unidad gastada.

45 El aumento de generación de calor de los elementos 20 de combustible dentro del montaje 610 de combustible pueden proporcionar una subida de tasa de energía con relación al montaje de barra de combustible UO₂ convencional que reemplaza el montaje 610. El aumento de potencia es de por lo menos 5%, 10% y/o 15%. El aumento puede estar entre 1 y 30%, 5 y 25%, y/o 10 y 20%. El montaje 610 de combustible proporciona por lo menos un ciclo de combustible de 18 meses, pero también puede facilitar moverse hasta un ciclo de combustible de 24+ o 36+ meses. El montaje 610 de combustible, que utiliza elementos 20 de combustibles que tiene los parámetros del ejemplo discutidos anteriormente con respecto al elemento 20 mostrado en la figura 10, el montaje 17 proporciona un incremento del 17% con relación a un montaje de combustible UO₂ convencional bajo los parámetros de funcionamiento identificados en las tablas de adelante.

Parámetro de funcionamiento para reactor AREVA EPR Reactor	Valor	Unidad
Potencia del reactor	5.37	GWt
Longitud de ciclo de combustible	18	meses
Tamaño de lote de recarga	1/3	núcleo
Enriquecimiento de elemento 20 de combustible	≤ 19.7	sin
Enriquecimiento de UO ₂ de las barras 650	≤ 5	sin
Índice de fluidez de refrigerante	117%	rv
Parámetro de montaje de combustible	Valor	Unidad
Diseño de montaje de combustible	17x17	
paso de montaje de combustible	215	mm

ES 2 647 155 T3

envoltura de montaje de combustible	214	mm
Altura de combustible activo	4200	mm
Numero de barra de combustible	265	
Paso de elemento 20 de combustible (es decir separación eje a eje)	12.6	mm
Diámetro de elemento 20 de combustible externo promedio (diámetro circunscrito)	12.6	mm
Diámetro de elemento 20 de combustible mínimo promedio	10.44	mm
relación moderadora combustible, región físil (alrededor de elementos 20)	2.36	
Relación de moderador a combustible, fértil (alrededor de las barras 650 de combustible)	1.9	
* rv = valor de referencia		

5 Los montajes 10, 510, 610 de combustible se diseñan preferiblemente termodinámicamente y tienen forma físicamente para utilizarse en un reactor 90, 500 de energía nuclear basado en tierra (por ejemplo, LWRS basado en tierra (que incluye BWR y PWR), reactores rápidos basados en tierra, reactores de agua pesada basados en tierra) que se diseñan para generar electricidad y/o calor que se utiliza para un propósito diferente a la eléctrica (por ejemplo, desalinización, procesamiento químicos, generación de vapor, etcétera). Dichos reactores 90 de energía nuclear basados en tierra incluyen, entre otros, VVER, AP-1000, EPR, APR-1400, ABWR, BWR-6, CANDU, BN-600, BN-800, Toshiba 4S, Monju, etcétera. Sin embargo, los montajes 10, 510, 610 de combustible se pueden diseñar diseñado para uso en y utilizar en reactores basados en instalaciones marítimas (por ejemplo, plantas de energía submarinas o de buques; plantas de energía flotantes diseñadas para generar energía por ejemplo electricidad) para uso en tierra) u otras aplicaciones de reactores nucleares.

15 Los ejemplos ilustrados anteriormente se proporcionan para ilustrar los principios funcionales y estructurales de la presente divulgación y no se pretende que sean limitantes. Por el contrario, los principios de la presente invención se pretenden que abarquen todos y cada uno de los cambios, alteraciones y/o dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un montaje (10) de combustible para uso en un núcleo de un reactor de energía nuclear, el montaje comprende:

5 Una estructura (25) que comprende una boquilla (60) inferior que tiene una forma y se configura para montarse en la estructura de núcleo interno del reactor nuclear; y

una pluralidad de elementos (20) de combustible, extrudido, alargado soportado por la estructura, cada una de dicha pluralidad de elementos de combustible comprende:

10 un núcleo (100) de combustible que comprende material de combustible dispuesto en una matriz de material no combustible metálico, el material de combustible comprende material fisil, y

15 un revestimiento (120) que rodea el núcleo de combustible, caracterizado porque

una relación moderador:combustible en una región de los elementos de combustible es de 2.4 o menos,

20 en el que la relación de moderador:combustible es una relación de área dentro de una sección transversal que es perpendicular a los ejes longitudinales de la pluralidad de elementos de combustible alargados, extrudidos y se extiende a través de una pluralidad de elementos de combustible alargados, extrudidos, la relación es una relación de un área total disponible para el flujo moderador para la pluralidad de elementos de combustible a un área total de los núcleos de combustible de la pluralidad de elementos de combustible; y

25 en el que el núcleo comprende α -fase UZr₂.

2. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que:

30 la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, alargados, comprenden una pluralidad de elementos de combustible metálicos extrudidos;

el material de combustible comprende material de combustible metálico; y

35 el núcleo de combustible comprende un núcleo de aleación de combustible metálico que comprende una aleación de material combustible metálico y el material no combustible metálico.

3. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el material combustible comprende material de combustible cerámica dispuesto en la matriz de material no combustible metálico.

4. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que:

40 la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, alargados, proporciona por lo menos el 60% de un volumen total de todos los elementos de combustible del montaje de combustible.

45 5. El montaje de combustible de la reivindicación 4, en el que dicho volumen total de todos los elementos de combustible del montaje de combustible incluye el volumen total de todos los elementos de combustible que están soportados por la boquilla inferior.

50 6. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que espesor promedio del revestimiento es de por lo menos 0.6 mm.

7. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que los núcleos de combustible respectivos de la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, alargados, se forma a través de sinterización del material combustible y el material no combustible metálico.

55 8. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que, con respecto a una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible:

60 el material combustible del núcleo combustible se enriquece hasta el 20% o menos mediante uranio-235 y/o uranio 233 y comprende entre una fracción de volumen de 20% y 30% del núcleo de combustible; y

el metal no combustible comprende entre un 70% y 80% fracción de volumen del núcleo de combustible.

9. El montaje de combustible de la reivindicación 8, en el que, con respecto a la pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible, extrudido, alargado el enriquecimiento de material combustible está entre el 15% y 20%.

65

10. El montaje de combustible de la reivindicación 8, en el que, con respecto a la pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible, extrudido alargado, el metal no combustible del núcleo de combustible comprende circonio.
- 5 11. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que, con respecto a una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible:
- el material combustible del núcleo de combustible comprende plutonio;
- 10 el metal no combustible del núcleo de combustible comprende circonio; y
- el metal no combustible del núcleo combustible comprende entre un 70% y 97% de fracción de volumen del núcleo de combustible.
- 15 12. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el material del combustible comprende una combinación de: uranio y torio; plutonio y torio; o uranio, plutonio, y torio.
- 20 13. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el revestimiento de una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustibles se une metalúrgicamente el núcleo de combustible.
- 25 14. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el metal no combustible de una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible comprende aluminio.
15. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el metal no combustible de una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible comprende un metal refractario.
- 30 16. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el revestimiento de una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible comprende circonio.
17. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que una pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible cada uno tiene un perfil multilobulado girado en forma de espiral, que define una pluralidad de nervaduras espirales.
- 35 18. El montaje de combustible de la reivindicación 17, en el que las nervaduras espirales de las adyacentes de dicha pluralidad de elementos de combustible hacen contacto periódicamente entre sí sobre una longitud axial de los elementos de combustible, dicho contacto ayuda a conservar la separación de los elementos de combustible en relación uno con el otro.
- 40 19. El montaje de combustible de la reivindicación 17, en el que el perfil de múltiples lóbulos comprende áreas cóncavas adyacentes entre lóbulos.
20. El montaje de combustible de la reivindicación 17, en el que:
- el perfil de múltiples lóbulos comprende puntas de lóbulos e intersecciones entre lóbulos adyacentes, y
- 45 con respecto a dicha pluralidad de dicha pluralidad de elementos de combustible, el revestimiento es más grueso en las puntas que en las intersecciones.
- 50 21. El montaje de combustible de la reivindicación 1, en el que el montaje de combustible comprende un veneno que mable.
22. El montaje de combustible de la reivindicación 21, en el que por lo menos uno de la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, comprende el veneno consumible.
- 55 23. El montaje de combustible de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una pluralidad de elementos de combustible UO_2 soportados por la estructura, cada una de dicha pluralidad de elementos de combustible UO_2 comprende combustible UO_2 .
- 60 24. El montaje de combustible de la reivindicación 23, en el que por lo menos algo de la pluralidad de elementos de combustible UO_2 alargado se posicionan lateralmente hacia afuera de la pluralidad de elementos de combustible extrudido, alargado.
25. El montaje de combustible de la reivindicación 24, que comprende adicionalmente una cubierta que separa el flujo de refrigerante más allá de la pluralidad de elementos de combustible UO_2 alargados del flujo refrigerante más allá de la pluralidad de elementos de combustibles extrudidos, alargados.
- 65

26. El montaje de combustible de la reivindicación 25, en el que una relación de (1) un área total dentro de la cubierta disponible para moderador a (2) un área de sección transversal total de núcleo de la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, alargados, dentro de la cubierta es 2.4 o menos.
- 5 27. El montaje de combustible de la reivindicación 23, en el que el combustible UO_2 tiene menos de 15% de enriquecimiento de U-235.
28. Un método para fabricar un montaje (10) de combustible para uso en un núcleo de un reactor de energía nuclear, el método comprende:
- 10 fabricar cada una de una pluralidad de elementos (20) de combustible alargados al:
- mezclar combustible con material no combustible metálico, en el que el material combustible comprende material físil,
- 15 crear una base de núcleo de combustible a partir del material de combustible mezclado y material no combustible metálico en el que la base del núcleo de combustible comprende α - fase UZr_2 ,
- rodear la base de núcleo de combustible con un material de revestimiento, y
- 20 coextrudir la base de núcleo de combustible y el material de revestimiento para crear el elemento combustible; y
- montar la pluralidad de elementos de combustible alargados a una estructura (25) del montaje de combustible
- en el que una relación de moderador:combustible en una región de elementos combustibles es 2.4 o menos, la relación de moderador:combustible es una relación de área dentro de una sección trasversal que es perpendicular a los ejes longitudinales de la pluralidad de elementos de combustible extrudidos, alargados y se extiende a través de una pluralidad de elementos de combustible, extrudidos, alargados la relación es una relación de un área total disponible para el flujo de moderador para la pluralidad de elementos de combustible a un área total de los núcleos de combustible de la pluralidad de elementos combustibles.
- 25 29. El método de la reivindicación 28, en el que el material combustible comprende un material de combustible energizado y el material no combustible metálico comprende material no combustible metálico en polvo, en el que crear la base de núcleo de combustible comprende sinterizar el material de combustible en polvo mezclado y el material no combustible metálico en polvo para crear la base de núcleo del combustible.
- 30 30. El método de la reivindicación 28, en el que crear la base de núcleo de combustible comprende moldear por fusión el material combustible mezclado y el material no combustible metálico para crear la base de núcleo de combustible.
- 35 31. El método de las reivindicaciones 28, 29 o 30, en el que:
- 40 la pluralidad de elementos de combustible alargados comprende una pluralidad de elementos de combustible metálicos alargados; y
- el material combustible comprende material combustible metálico; y
- 45 la base de núcleo combustible comprende una base de núcleo de combustible metálico que comprende una aleación de material de combustible metálico y el material no combustible metálico
- 50 32. El método de la reivindicación 29 o 30, en el que el material combustible comprende material combustible cerámico.
33. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 28, 29 o 30 en el que la pluralidad de elementos de combustible alargados proporciona por lo menos 60% de un volumen total de todos los elementos de combustible del montaje de combustible.
- 55 34. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 28, 29 o 30, en el que espesor promedio del revestimiento después de coextrusión tiene por lo menos 0.6 mm.
35. El método de la reivindicación 29, que comprende adicionalmente posicionar un desplazador dentro del material combustible en polvo mezclado y el material no combustible metálico antes de dicha sinterización de tal manera que dicha sinterización resulta en una base núcleo de combustible que incluye el desplazador.
- 60 36. El método de la reivindicación 28, 29 o 30, en el que:
- la estructura comprende una boquilla inferior que tiene formar y se configura para montarse a un núcleo de un reactor de energía nuclear con base en tierra; y
- 65

el montaje de combustible se diseña termodinámicamente y se conforma físicamente para operación en el reactor de energía nuclear con base en tierra.

5 37. El método de la reivindicación 36, que comprende adicionalmente colocar le montaje de combustible en el reactor de energía nuclear con base en tierra.

38. Un reactor nuclear con base en tierra incluye un montaje del combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 28.

10 39. Un reactor nuclear con base en tierra de acuerdo con la reivindicación 38, en el que el reactor es un reactor de agua pesada.

15 40. El reactor de polvo nuclear con base en tierra de las reivindicaciones 38 o 39, en que el reactor comprende una planta de energía nuclear convencional que tiene un diseño de reactor que está en uso agrícola antes de 2010;

y La estructura de la estructura de combustible se forma y configura para adaptarse en una reacción de energía nuclear con base en tierra en lugar de un montaje de combustible de óxido de uranio convencional para dicho reactor.

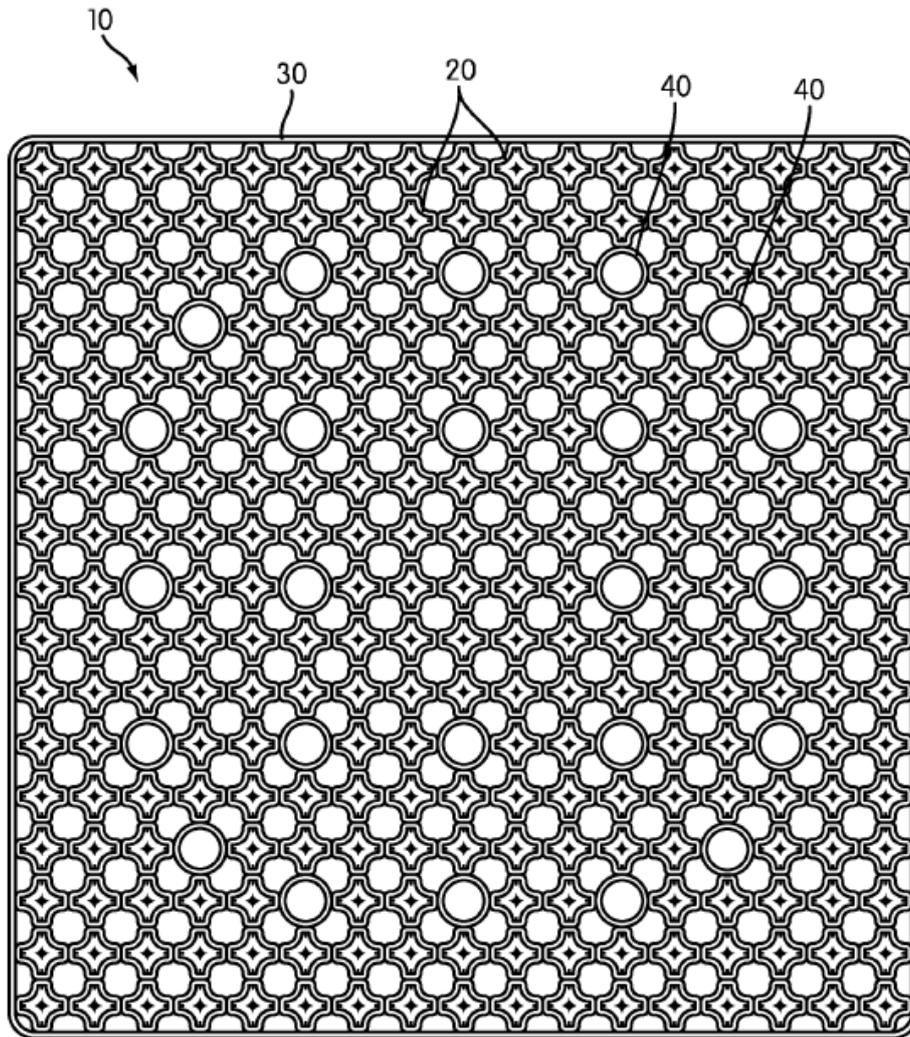


FIG. 1

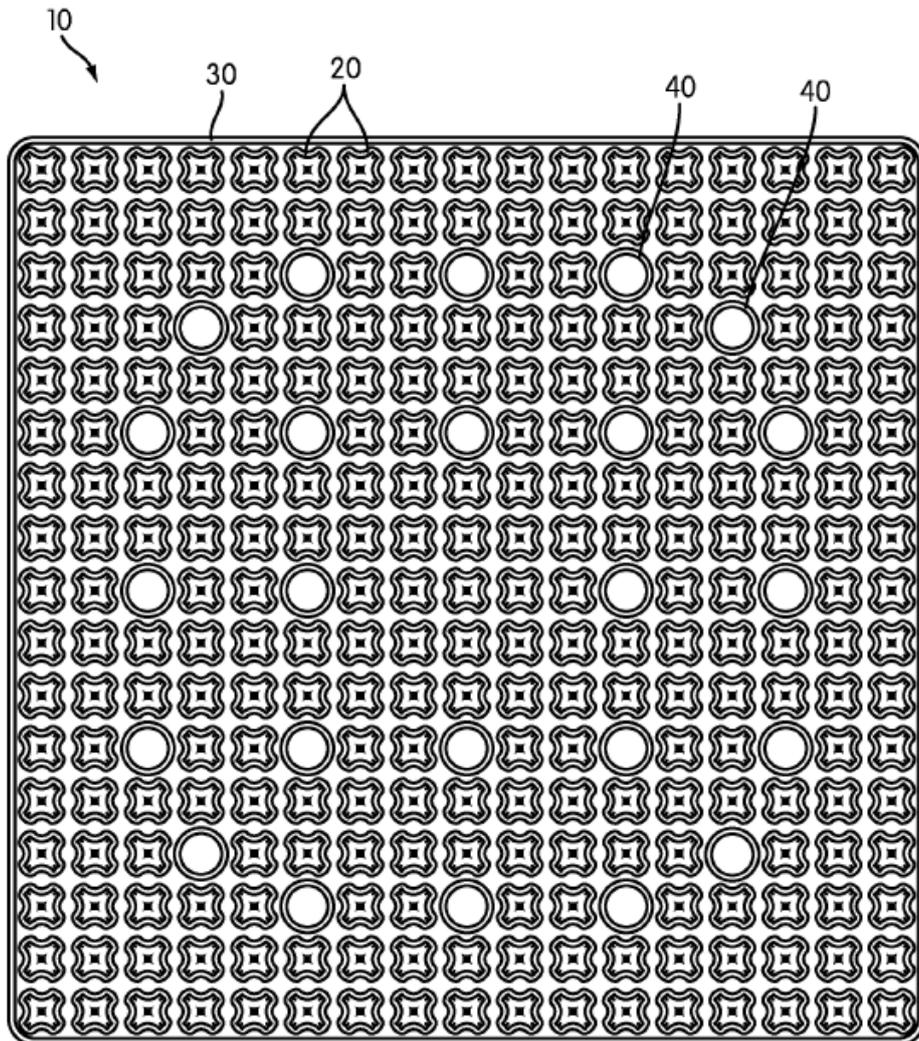


FIG. 2

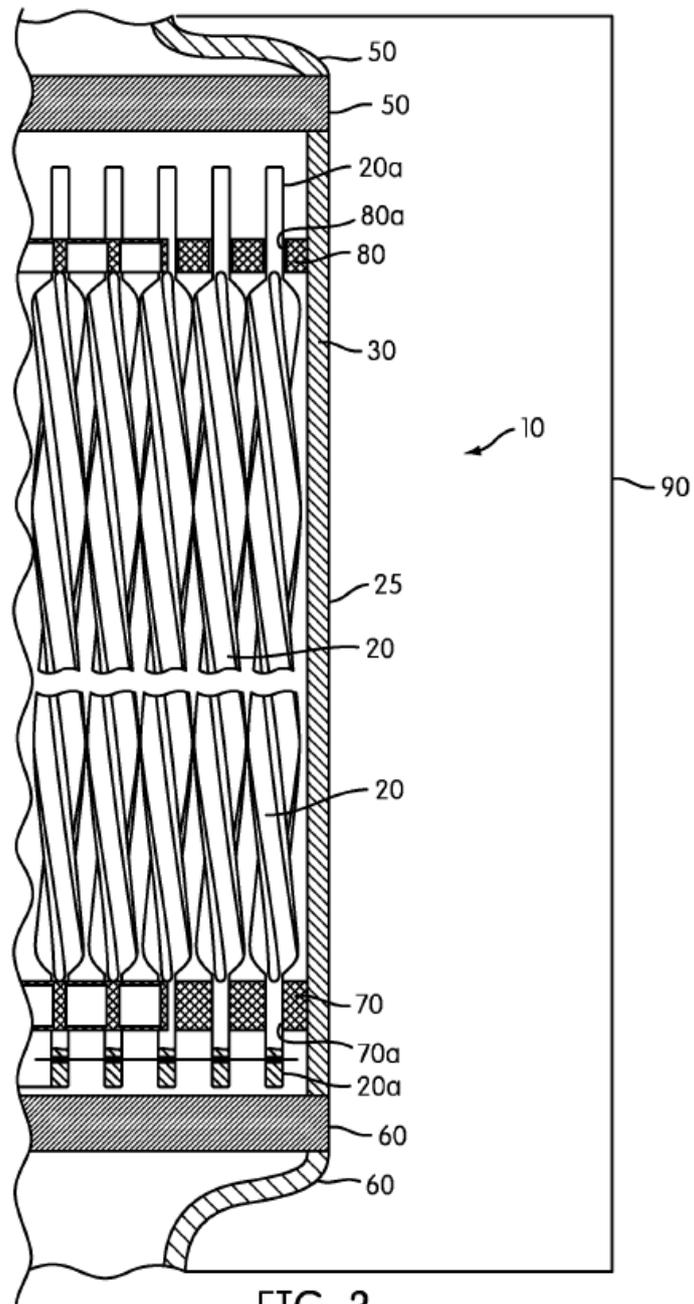


FIG. 3

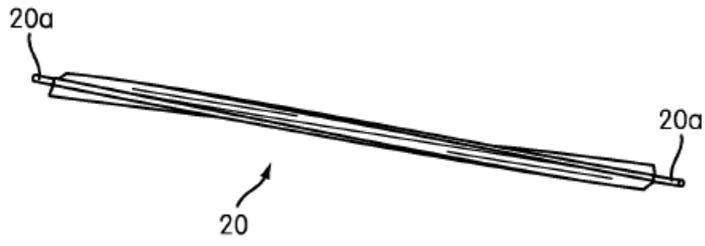


FIG. 4

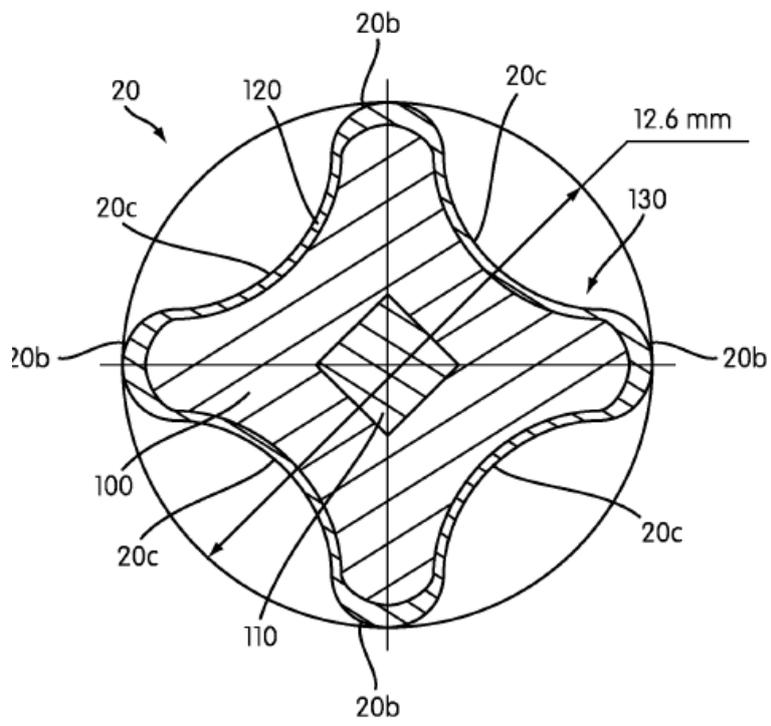


FIG. 5

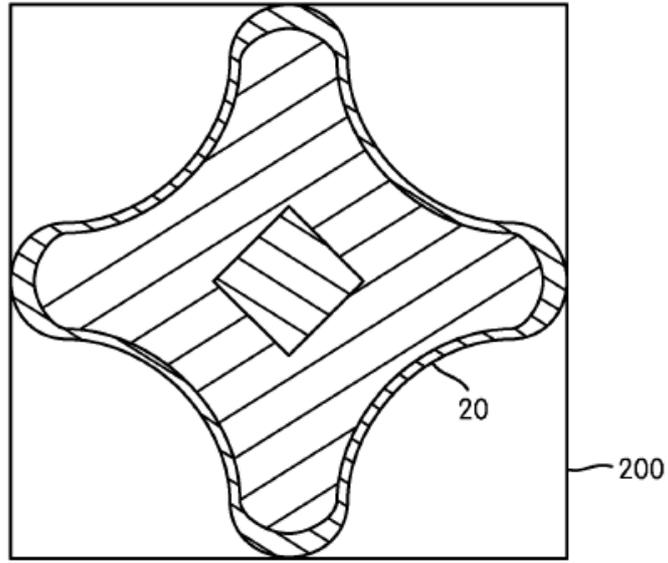


FIG. 6

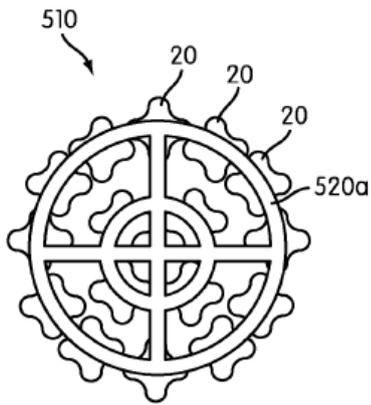


FIG. 7A

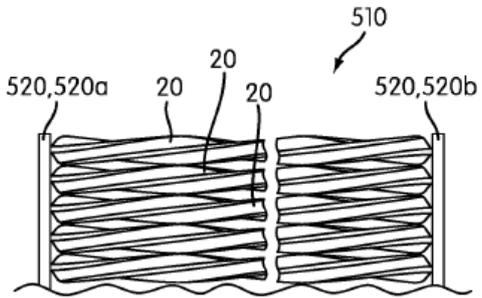


FIG. 7B

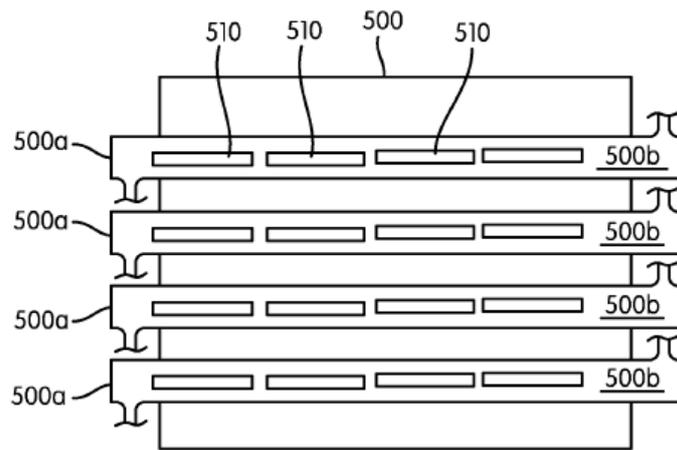


FIG. 8

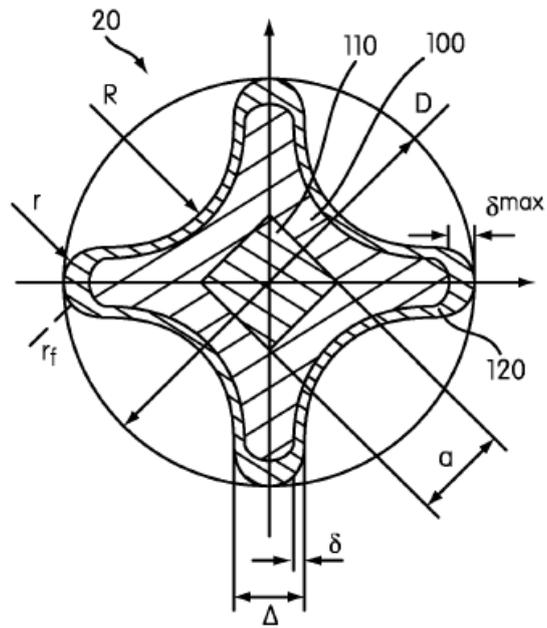


FIG. 9

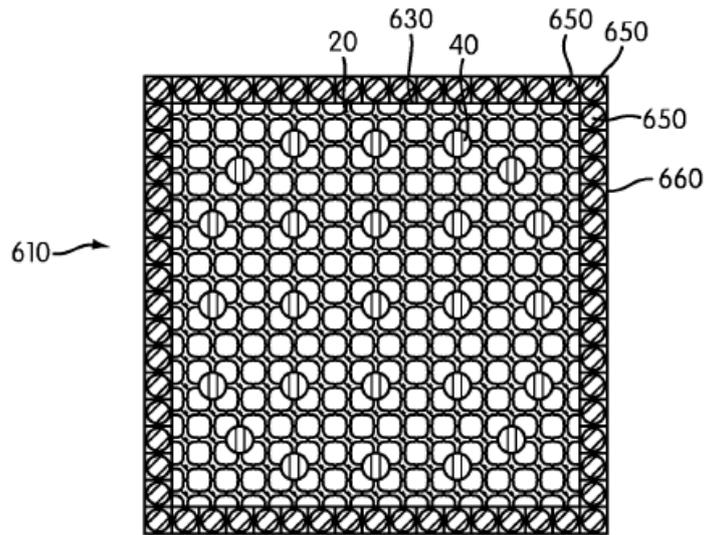


FIG. 10