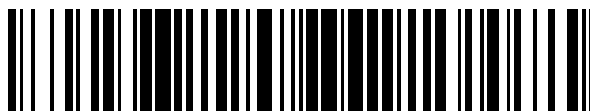


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 998**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/32** (2006.01)

**G21C 3/328** (2006.01)

**G21C 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2015 PCT/US2015/050454**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2016 WO16044439**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2015 E 15807719 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3195324**

54 Título: **Conjunto de combustible nuclear**

30 Prioridad:

**16.09.2014 US 201462050985 P**

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

**23.10.2020**

73 Titular/es:

**LIGHTBRIDGE CORPORATION (100.0%)  
1600 Tysons Boulevard Suite 550  
Mclean, Virginia 22102, US**

72 Inventor/es:

**TOTEMEIER, AARON;  
BASHKIRTSEV, SERGEY M. y  
MOROZOV, ALEXEY G.**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

ES 2 788 998 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Conjunto de combustible nuclear

5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a los reactores nucleares.

**[0002]** La presente invención también se refiere en general a reactores nucleares y conjuntos de combustible nuclear usados en el núcleo de los reactores nucleares.

10 **[0003]** Más específicamente, la presente invención se refiere a reactores de agua pesada Canadian Deuterium-Uranium (CANDU), y conjuntos de combustible para su uso en el mismo.

**[0004]** Las FIGS. 1A y 1B representan vistas en sección transversal simplificadas de ejemplos de conjuntos de combustible convencionales 10.

15 **[0005]** La FIG. 1A representa un conjunto de combustible 10 del tipo PWR, y la FIG. 1B representa un conjunto de combustible 10 del tipo de reactor de potencia moderado por agua refrigerado por agua (VVER). En FIG. 1A, el conjunto de barra de combustible 10 comprende barras de combustible ensambladas en una cuadrícula cuadrada. El conjunto de combustible PWR 10 de la FIG. 1A tiene un autoespacio del conjunto de barras de combustible que puede describirse como que tiene una forma de sección transversal cuadrada. En la FIG. 1B, el conjunto de combustible 10 comprende barras de combustible dispuestas en una cuadrícula triangular. El conjunto de combustible VVER 10 de la FIG. 1B tiene un autoespacio del conjunto de barras de combustible que puede describirse como que tiene una forma de sección transversal hexagonal regular.

25 **[0006]** Cuando estos conjuntos se ajustan en un tubo 12, se forman segmentos vacíos no utilizados por el conjunto de barra de combustible, como se muestra en el área sombreada 14 situada entre el tubo 12 y el cuadrado 14 en la FIG. 1A, y entre el tubo 12 y el hexágono 16 en la FIG. 1B. Según las realizaciones, un conjunto en una cuadrícula cuadrada ocupa aproximadamente el 63,7% del área del círculo circunscrito (por ejemplo, el tubo 12), mientras que un conjunto en una cuadrícula triangular ocupa aproximadamente el 82,7% del área del círculo circunscrito (por ejemplo, el tubo 12).

30 **[0007]** Se conoce el uso del espacio vacío para responder a preocupaciones de hinchazón de la barra de combustible y del conjunto durante el quemado. También se conoce la forma de llenar estas áreas con un absorbedor quemable, etc. Los documentos US-A-2013/322591, US-A-2009252278 y US3361640 describen un conjunto de combustible para usar en el núcleo de un reactor de energía nuclear que puede incluir un bastidor ajustado y configurado dentro de la estructura interna del núcleo del reactor nuclear; y una pluralidad de elementos de combustible helicoidalmente torcidos soportados por el bastidor en un conjunto de barras de combustible, con cada uno de los elementos de combustible comprende material fisionable; en donde, como se ve en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible, los elementos de combustible más externos del conjunto de barras de combustible pueden definir un perímetro sustancialmente circular.

35 **[0008]** Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un combustible de montaje como se describe en US-A-2013/322591, US-A-2009252278, o US3361640, caracterizado porque la pluralidad de elementos de combustible están dispuestos en un patrón de cuadrícula mixto que incluye un primer patrón de cuadrícula rectangular y un segundo patrón de cuadrícula triangular; y en que algunos de los elementos de combustible de pluralidad están separados de los elementos de combustible adyacentes por una distancia común de línea central a línea central, y un diámetro circunscrito de algunos de la pluralidad de elementos de combustible es igual a la distancia de línea central a línea central. De acuerdo con las realizaciones, el bastidor puede ser conformado y configurado para encajar dentro de un tubo de presión de un reactor CANDU.

40 **[0009]** De acuerdo con formas de realización, cada uno de la pluralidad de elementos de combustible puede tener sustancialmente el mismo diámetro circunscrito. La pluralidad de elementos combustibles se puede disponer en círculos concéntricos.

55 **[0010]** Según formas de realización, el primer y el segundo patrón de cuadrícula rectangular, patrón de cuadrícula triangular puede por lo menos parcialmente alternar entre sí. Los elementos de combustible del primer patrón de cuadrícula rectangular se pueden separar de los elementos de combustible adyacentes del primer patrón de cuadrícula rectangular por una distancia común de línea central a línea central, y un diámetro circunscrito de los elementos de combustible del primer patrón de cuadrícula rectangular puede igualar la distancia entre la línea central y la línea central. Además, los elementos de combustible del segundo patrón de cuadrícula triangular se pueden separar de los elementos de combustible adyacentes del segundo patrón de cuadrícula triangular por una distancia común de línea central a línea central y un diámetro circunscrito de los elementos de combustible en el segundo patrón de cuadrícula triangular puede ser igual a la distancia central a línea central.

65 **[0011]** De acuerdo con formas de realización, cada uno de los elementos de combustible pueden tener un perfil de múltiples lóbulos que incluye costillas, por ejemplo, las costillas en espiral. Los nervios de los elementos de combustible

adyacentes pueden contactar periódicamente entre sí a lo largo de la longitud axial de los elementos de combustible para mantener al menos parcialmente la separación de los elementos de combustible entre sí.

5 [0012] Según formas de realización, la pluralidad de elementos de combustible puede consistir de 61 elementos combustibles.

10 [0013] De acuerdo con formas de realización, el bastidor puede incluir una estructura que circunscribe el conjunto de barras de combustible, tal que todos los elementos de combustible están situados en el interior de la estructura. La estructura puede comprender una mortaja. Cuando se observa en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible, la mortaja puede definir una sección transversal que define sustancialmente un círculo o dodecágono. Cuando se observa en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible, el conjunto de combustible puede ocupar más de aproximadamente 64%, más específicamente más de aproximadamente 83% del área de sección transversal interna de un tubo que circunscribe el conjunto de combustible. Según una realización, el conjunto de combustible puede ocupar entre aproximadamente el 83% y aproximadamente el 95% del área de la sección transversal interna del tubo que circunscribe el conjunto de combustible. Según una realización, la pluralidad de elementos de combustible comprende elementos de combustible extruidos.

20 [0014] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se prevé un uso del conjunto el combustible del primer aspecto en una potencia nuclear con base en un reactor de energía nuclear en tierra convencional que tiene un diseño convencional del reactor que estaba en uso real antes de 2014; en el que el conjunto de combustible está diseñado termodinámicamente y físicamente conformado para funcionar en el reactor de energía nuclear en tierra convencional, y el bastidor está conformado y configurado para encajar en el reactor de energía nuclear en tierra en lugar de un conjunto de combustible convencional para dicho reactor. Por ejemplo, el reactor de energía nuclear convencional con base en tierra puede ser un reactor CANDU.

25 [0015] Según formas de realización, el conjunto de combustible de la presente invención puede usarse en un reactor nuclear que comprende un núcleo y uno o más conjuntos de combustible, el conjunto de combustible de la presente invención está dispuesto dentro del núcleo. Según las realizaciones, el reactor nuclear es un reactor CANDU que comprende tubos de presión, y el bastidor está conformado y configurado para encajar dentro de los tubos de presión.

30 [0016] De acuerdo con los ejemplos, cada uno de la pluralidad de elementos de combustible puede tener sustancialmente el mismo diámetro circunscrito. La pluralidad de elementos de combustible puede disponerse en círculos concéntricos, y/o la pluralidad de elementos de combustible puede organizarse en un patrón de cuadrícula mixto que incluye un primer patrón de cuadrícula rectangular y un segundo patrón de cuadrícula triangular. El primer patrón de cuadrícula rectangular y el segundo patrón de cuadrícula triangular puede por lo menos parcialmente alternar entre sí.

35 [0017] De acuerdo con los ejemplos, cada uno de los elementos de combustible tiene un perfil multilobular que incluye nervaduras en espiral.

40 [0018] Los nervios de los elementos de combustible adyacentes pueden ponerse en contacto periódicamente entre sí en toda la longitud axial de los elementos de combustible para al menos mantener parcialmente la separación de los elementos de combustible entre sí.

45 [0019] De acuerdo con ejemplos, el bastidor del elemento de combustible comprende una estructura que circunscribe el conjunto de barras de combustible, de manera que todos los elementos de combustible están situados en el interior de la estructura. La estructura puede comprender una mortaja que cuando se observa en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible, define una sección transversal que define sustancialmente un círculo o dodecágono.

50 [0020] Estos y otros aspectos de diversas realizaciones de la presente invención, así como los métodos de funcionamiento y funciones de los elementos relacionados de la estructura y la combinación de partes y economías de fabricación, serán más evidentes tras la consideración de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de esta especificación, en la que los números de referencia similares designan partes correspondientes en las diversas figuras. En una realización de la invención, los componentes estructurales ilustrados aquí están dibujados a escala. Sin embargo, debe entenderse expresamente que los dibujos tienen únicamente fines ilustrativos y descriptivos y no pretenden ser una definición de los límites de la invención. Además, debe apreciarse que las características estructurales mostradas o descritas en cualquier realización en el presente documento pueden usarse también en otras realizaciones. Como se usa en la especificación y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "una", "el" y "la" incluye referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

55 [0021] Para una mejor comprensión de las realizaciones de la presente invención, así como otras características de la misma, se hace referencia a la siguiente descripción que es para ser utilizada en conjunción con los siguientes dibujos, en los que:

FIG. 1A es una vista en sección transversal simplificada de un conjunto de combustible convencional que tiene barras de combustible ensambladas en una cuadrícula cuadrada;

FIG. 1B es una vista en sección transversal simplificada de un conjunto de combustible convencional que tiene barras de combustible ensambladas en una cuadrícula triangular;

FIG. 2 es una vista en sección transversal simplificada de un diseño de un conjunto de combustible autoespaciado compuesto por 61 barras de combustible en una cuadrícula cuadrada-triangular, de acuerdo con una realización;

FIG. 3 es una vista en sección transversal simplificada de un diseño de un conjunto de combustible autoespaciado compuesto por 19 barras de combustible en una cuadrícula cuadrada-triangular, de acuerdo con una realización;

FIG. 4 representa una vista en sección transversal de una realización de un conjunto de combustible en una posición de referencia inicial a lo largo del conjunto de combustible, referido aquí como la posición inicial de  $0^\circ$ ;

FIG. 5 representa una vista en sección transversal del conjunto de combustible de la FIG. 4 con una rotación de la barra de combustible de  $30^\circ$ , o con un desplazamiento longitudinal de  $1/12$  del paso de remolino de la barra de combustible, con respecto a la posición inicial de  $0^\circ$  de la FIG. 4; y

FIG. 6 representa una vista en sección transversal del conjunto de combustible de la FIG. 4 con una rotación de la barra de combustible de  $60^\circ$ , o con un desplazamiento longitudinal de  $1/6$  del paso de remolino de la barra de combustible, con respecto a la posición inicial de  $0^\circ$  de la FIG. 4.

**[0022]** Las realizaciones descritas en el presente documento pueden aumentar la potencia y/o el nivel de consumo de combustible (tiempo de funcionamiento hasta la descarga) de un conjunto de combustible CANDU y/o reactor en su conjunto, mientras se mantiene o aumenta el nivel de seguridad. De acuerdo con las realizaciones, esto se puede lograr mediante el uso de conjuntos de combustible hechos de barras de combustible monolíticas retorcidas, autoespaciadas, por ejemplo, las barras de combustible de uranio-circonio extruido (U-Zr) descritas en US-A-2014/0334595 y US-A-2013/0322591.

**[0023]** Conjuntos de combustible CANDU utilizan típicamente barras de combustible muy cortas (por ejemplo, del orden de 50 cm). Las realizaciones de la presente invención proporcionan conjuntos parcial o totalmente autoespaciados de barras de combustible CANDU. Por ejemplo, algunos conjuntos de combustible descritos en este documento proporcionan el autoespacio de todas las barras de combustible entre sí (por ejemplo, costilla a costilla). Sin embargo, las realizaciones alternativas pueden incluir disposiciones no separadas. Las realizaciones pueden incluir un bastidor que tiene una mortaja, u otro canal o dispositivo que rodea todo o una parte del conjunto de la barra de combustible (referido generalmente en este documento como una "mortaja"), y utilizar mejor el espacio disponible dentro de la mortaja de lo que es posible con el estado de la técnica. Por ejemplo, como se describirá con más detalle a continuación, las realizaciones usan una cuadrícula de barra de combustible "cuadrada-triangular" en una matriz.

**[0024]** La FIG. 2 es una vista en sección transversal simplificada de una realización de un conjunto de combustible autoespaciado 100. El conjunto de combustible puede incluir 61 barras de combustible 102 en una cuadrícula cuadrada-triangular, sin embargo, pueden ser posibles otras configuraciones. El conjunto de combustible mostrado en la FIG. 2 puede tener el mismo sobre o un sobre similar a un conjunto de 43 elementos Advanced CANDU Reactor (ACR) CANDU Flexible (CANFLEX). Mientras que un conjunto CANFLEX típico tiene 43 elementos de combustible, cada uno con un diámetro exterior de aproximadamente 13,5 mm, el conjunto de combustible 100 que se muestra en la FIG. 2 puede tener 61 elementos combustibles 102 cada uno con un diámetro exterior de aproximadamente 11,5 mm, sin embargo, se contemplan otras cantidades y tamaños de elementos combustibles.

**[0025]** El conjunto de combustible de la FIG. 2 puede ajustarse en una mortaja 104. Por ejemplo, la mortaja 104 puede tener una sección transversal en forma de dodecágono, sin embargo, se prevén otras formas. Según las realizaciones, el radio R de un círculo que circunscribe los elementos de combustible 102 puede ser menor o igual a 51 mm. Según las realizaciones, el radio interno de la mortaja 104 puede ser de aproximadamente 51,7 mm, sin embargo, son posibles otras realizaciones. La mortaja 104 puede tener una forma de dodecágono y puede definir un ancho h a través de los planos de aproximadamente 100 mm ( $\leq 99,99$  mm). Según las realizaciones, la cuadrícula triangular cuadrada de 61 elementos de combustible define un perímetro exterior que ocupa aproximadamente el 95,5% del área del círculo circunscrito (por ejemplo, la mortaja 104 o el tubo de presión). Con referencia a la FIG. 3, el área central de 19 barras de combustible 102 puede caber casi perfectamente en un tubo. Según las realizaciones, el radio R19 de un círculo que circunscribe las 19 barras de combustible centrales puede tener un diámetro de 3,922 mm, sin embargo, son posibles otras dimensiones.

**[0026]** Haciendo referencia a las FIGS. 2 y 3, los elementos de combustible pueden ubicarse en patrones de cuadrícula primero y segundo entremezclados entre sí para formar lo que aquí se denomina una "cuadrícula triangular cuadrada". El primer patrón de cuadrícula incluye filas y columnas dispuestas de forma cuadrada de elementos de combustible que tienen una distancia de línea central a línea central entre las filas y columnas que es igual al diámetro circunscrito común "d" de los elementos de combustible (ver referencia 106 en la FIG. 3 para un ejemplo de la primera cuadrícula "cuadrada"). El segundo patrón de cuadrícula incluye triángulos equiláteros en los que la longitud de cada lado de cada triángulo (es decir, la distancia entre la línea central y la línea central entre los elementos de combustible

adyacentes que definen las esquinas de cada triángulo) es el diámetro circunscrito "d" de los elementos de combustible. (véase la referencia 108 en la FIG. 3 para un ejemplo de una segunda cuadrícula "triangular"). Por lo tanto, el segundo patrón de cuadrícula triangular 108 es diferente del primer patrón de cuadrícula cuadrada 106. Según otros ejemplos, también podrían usarse patrones de cuadrícula adicionales y/o alternativos (por ejemplo, patrones de cuadrícula rectangular, patrones de cuadrícula isométricos, patrones de paralelogramo, otros patrones regulares de repetición). De acuerdo con las realizaciones, un elemento 102 de combustible dado puede estar ubicado en un patrón de cuadrícula cuadrada con un conjunto de elementos de combustible circundantes, y simultáneamente estar ubicado en un patrón de cuadrícula triangular con otro conjunto de elementos de combustible circundantes, sin embargo, son posibles otras configuraciones.

**[0027]** Todavía en referencia a las FIGS. 2 y 3, los patrones de cuadrícula cuadrada 106 y triangular 108 pueden alternarse entre sí cuando se ven desde una o más perspectivas. Por ejemplo, los patrones de cuadrícula cuadrada 106 y triangular 108 pueden alternarse entre sí (pero no necesariamente uno a uno) con movimiento a lo largo de cualquier radio dado desde el centro 110 del conjunto de combustible hasta el perímetro exterior, por ejemplo, mortaja 104. Además o alternativamente, los elementos de combustible 102 pueden estar dispuestos en círculos concéntricos, y los patrones de cuadrícula cuadrada y triangular pueden alternarse entre sí (pero no necesariamente de forma individual) con movimiento alrededor de cualquiera de los círculos concéntricos.

**[0028]** Como se ha mencionado antes, los elementos de combustible pueden estar auto-espaciados. Según las realizaciones, el espaciado automático puede ser un factor del diámetro circunscrito de la barra de combustible, independientemente de la forma de la barra de combustible seleccionada, sin embargo, son posibles otras configuraciones. De acuerdo con ciertas realizaciones, las barras de combustible 102 pueden tener cualquier forma con nervios retorcidos (por ejemplo, un tubo con nervios, cuadrados, etc.). Sin embargo, otras formas pueden ser posibles, tal como secciones transversales circulares, secciones transversales geométricas regulares, etc.

**[0029]** FIGS. 4-6 representan vistas en sección transversal de una realización de un conjunto de combustible 200 que comprende barras de combustible de cuatro lóbulos 202, tales como las descritas en los documentos US-A-2014/0334595 y US-A-2013/0322591. Según otro aspecto, ciertas formas de varillas de combustible, como el diseño de cuatro lóbulos, pueden estandarizarse para diferentes reactores. Por ejemplo, una barra de combustible con forma de cuatro lóbulos, un diámetro circunscrito de  $12 \pm 1$  mm y ligeras modificaciones pueden convertirse en estándar para diferentes reactores como el PWR y el CANDU.

**[0030]** FIG. 4 representa el conjunto de combustible 200 en una posición de referencia inicial, denominada aquí como la posición inicial de  $0^\circ$ . La posición inicial de  $0^\circ$  puede ocurrir en cualquier punto a lo largo de las barras de combustible 202, y puede ocurrir a intervalos regulares. FIG. 5 representa el conjunto de combustible 200 de la FIG. 4 en el punto de rotación de  $30^\circ$  de los lóbulos 204 de la barra de combustible (por ejemplo, desplazamiento longitudinal de  $1/12$  del paso de remolino de la barra de combustible) con respecto a la FIG. 4. FIG. 6 representa el conjunto de combustible de la FIG. 4 en el punto de rotación de  $60^\circ$  de los lóbulos 204 de las barras de combustible (por ejemplo, desplazamiento longitudinal de  $1/6$  del paso de remolino de la barra de combustible) con respecto a la FIG. 4. Una rotación de  $90^\circ$  de los lóbulos 204, o un desplazamiento longitudinal de  $1/4$  del paso de remolino de la barra de combustible, lejos de la posición de la FIG. 4 replica la posición inicial tentativa de  $0^\circ$  mostrada en la FIG. 4. En las FIGS. 4-6, las ocho barras de combustible 202 indican las únicas barras dentro de la sección transversal que no tienen contacto con otras barras de combustible 202 o la mortaja 206. En ubicaciones axiales entre las mostradas en las FIGS. 4, 5 y 6, no hay contacto longitudinal de las barras de combustible entre sí o con la mortaja 206. En consecuencia, el conjunto de combustible es auto-espaciador y todas las barras de combustible están auto-espaciadas a lo largo de la longitud del conjunto.

**[0031]** Como se mencionó anteriormente, las barras de combustible pueden comprender las barras de combustible de cuatro lóbulos descritos en las solicitudes de Estados Unidos N<sup>os</sup> 14/081.056 y 13/695.792 copendientes de los solicitantes. Sin embargo, de acuerdo con realizaciones alternativas, cualquiera de las barras de combustible de cuatro lóbulos en los conjuntos de combustible descritos anteriormente puede reemplazarse por barras de combustible cilíndricas granuladas estándar (uranio o torio), o barras de combustible que contienen veneno quemable (por ejemplo, que contienen gadolinio (Gd), erbio (Er), y/o disprosio (Dy)).

**[0032]** Tal como se utiliza en toda esta solicitud, el término "mortaja" abarca una variedad de diferentes diseños que pueden rodear el conjunto de barras de combustible, ya sea parcial o completamente. Por ejemplo, según las realizaciones, una "mortaja" puede ser una mortaja dodecagonal sólida, perforada o con hendiduras. Alternativamente, la "mortaja" puede comprender bandas individuales o una tira de mortaja, o remachar sobre una carcasa cilíndrica (por ejemplo, calada sólida o "calada" con ranuras). Además, el término "mortaja" puede abarcar otras estructuras y diseños similares evidentes para un experto ordinario en la técnica basándose en esta descripción.

**[0033]** Las realizaciones ilustradas anteriormente se proporcionan para ilustrar los principios estructurales y funcionales de la presente invención. Los principios de la presente invención están destinados a abarcar todos y cada uno de los cambios, alteraciones y/o sustituciones dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de combustible (100, 200) para uso en un núcleo de un reactor de energía nuclear, comprendiendo el conjunto:

5 un bastidor conformado y configurado para encajar dentro de la estructura interna del núcleo del reactor nuclear, y una pluralidad de elementos de combustible helicoidalmente torcidos (102, 202) soportados por el bastidor en un conjunto de barras de combustible, comprendiendo cada uno de los elementos de combustible (102, 202) material fisionable;

10 en donde como se ve en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible (100, 200), los elementos de combustible más externos (102, 202) del conjunto de barras de combustible definen un perímetro sustancialmente circular;

15 en donde la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) están dispuestos en un patrón de cuadrícula mixto que incluye un primer patrón de cuadrícula rectangular (106) y un segundo patrón de cuadrícula triangular (108);

**caracterizado porque**

parte de la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) están separados de los elementos de combustible adyacentes (102, 202) por una distancia común de línea central a línea central y un diámetro circunscrito de parte de la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) es igual a la distancia entre la línea central y la línea central.

2. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que el bastidor está conformado y configurado para caber dentro de un tubo de presión de un reactor CANDU.

3. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que cada uno de la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) tiene sustancialmente el mismo diámetro circunscrito.

4. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) están dispuestos en círculos concéntricos.

5. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que el primer patrón de cuadrícula rectangular (106) y el segundo patrón de cuadrícula triangular (108) se alternan al menos parcialmente entre sí.

6. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que:

los elementos de combustible (102, 202) del primer patrón de cuadrícula rectangular están separados de los elementos de combustible adyacentes (102, 202) del primer patrón de cuadrícula rectangular por una distancia común de línea central a línea central, y un diámetro circunscrito de los elementos combustibles (102, 202) en el primer patrón de cuadrícula rectangular es igual a la distancia de la línea central a la línea central; y los elementos de combustible (102, 202) del segundo patrón de cuadrícula triangular están separados de los elementos de combustible adyacentes (102, 202) del segundo patrón de cuadrícula triangular por una distancia común de línea central a línea central y un diámetro circunscrito de los elementos de combustible (102, 202) en el segundo patrón de cuadrícula triangular es igual a la distancia de la línea central a la línea central.

7. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que cada uno de los elementos de combustible (202, 202') tiene un perfil multilobulado (204) que incluye nervios.

8. El conjunto de combustible de la reivindicación 7, en el que los nervios comprenden nervios espirales.

9. El conjunto de combustible de la reivindicación 8, en el que los nervios de los elementos de combustible adyacentes (202) contactan periódicamente entre sí sobre la longitud axial de los elementos de combustible (202) para mantener al menos parcialmente la separación de los elementos de combustible (202) el uno con respecto al otro.

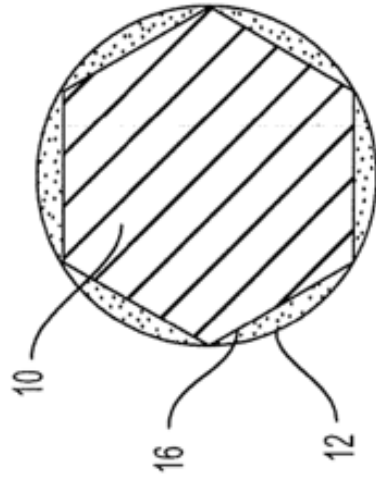
10. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) consta de 61 elementos de combustible.

11. El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que el bastidor comprende una estructura que circunscribe el conjunto de barras de combustible, de modo que todos los elementos de combustible están ubicados dentro de la estructura.

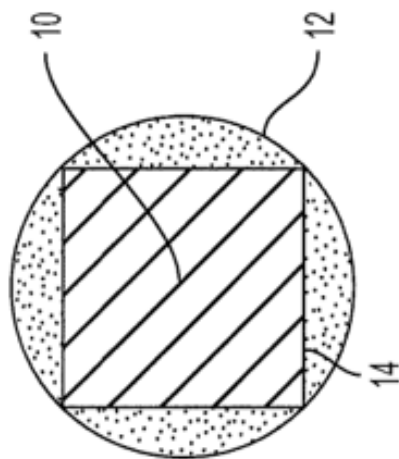
12. El conjunto de combustible de la reivindicación 11, en el que la estructura comprende una mortaja.

13. El conjunto de combustible de la reivindicación 12, en el que, visto en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible (100, 200), la mortaja (104, 206) define una sección transversal que define sustancialmente un círculo o dodecágono.

- 5 **14.** El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que, según se ve en una sección transversal que es perpendicular a una dirección axial del conjunto de combustible (100, 200), el conjunto de combustible (100, 200) ocupa más de aproximadamente el 64% del área de la sección transversal interna de un tubo que circunscribe el conjunto de combustible (100, 200).
- 10 **15.** El conjunto de combustible de la reivindicación 14, en el que el conjunto de combustible (100, 200) ocupa más de aproximadamente el 83% del área de la sección transversal interna del tubo que circunscribe el conjunto de combustible (100, 200).
- 15 **16.** El conjunto de combustible de la reivindicación 14, en el que el conjunto de combustible (100, 200) ocupa entre aproximadamente 83% y aproximadamente 95% del área de la sección transversal interna del tubo que circunscribe el conjunto de combustible (100, 200).
- 20 **17.** El conjunto de combustible de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de elementos de combustible (102, 202) comprende elementos de combustible extruidos.
- 25 **18.** Uso del conjunto de combustible de la reivindicación 1 en un reactor de energía nuclear convencional con base en tierra de un reactor de energía nuclear convencional que tiene un diseño de reactor que estaba en uso real antes de 2014, en el que:  
el conjunto de combustible (100, 200) está diseñado termodinámicamente y físicamente configurado para operar en el reactor convencional de energía nuclear con base en tierra; y  
el bastidor está conformado y configurado para encajar en el reactor de energía nuclear con base en tierra en lugar de un conjunto de combustible convencional para dicho reactor.
- 30 **19.** El uso del conjunto de combustible de la reivindicación 18, en el que el reactor convencional de energía nuclear con base en tierra es un reactor CANDU.
- 35 **20.** Un reactor nuclear, que comprende: un núcleo; y uno o más conjuntos de combustible (100, 200) dispuestos dentro del núcleo, en donde el uno o más conjuntos de combustible (100, 200) incluye un conjunto de combustible (100, 200) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17.
- 40 **21.** El reactor nuclear de la reivindicación 20, en el que el reactor nuclear es un reactor CANDU que comprende tubos de presión, y el bastidor está conformado y configurado para encajar dentro de los tubos de presión.
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65



**FIG. 1B**  
TÉCNICA ANTERIOR



**FIG. 1A**  
TÉCNICA ANTERIOR



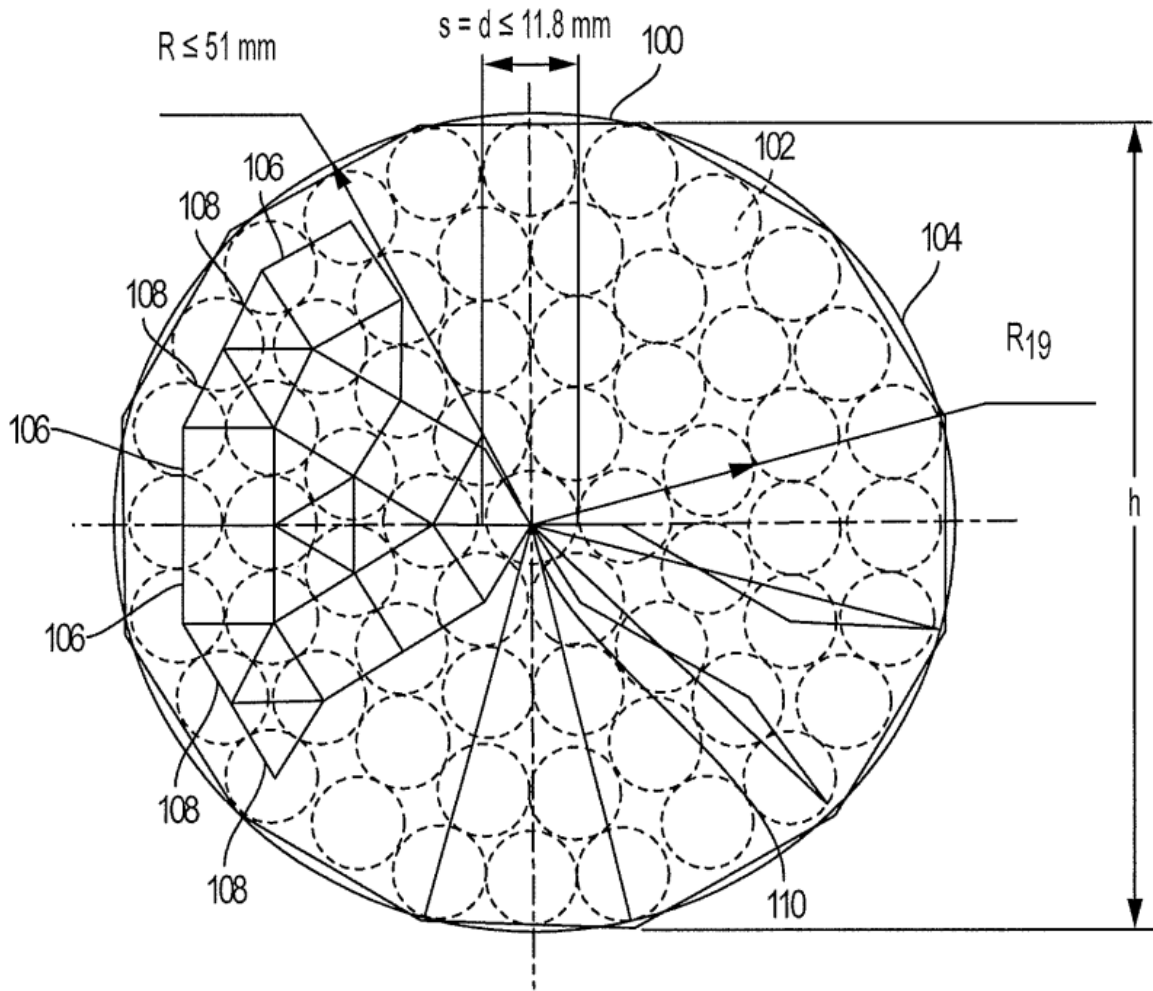


FIG. 2

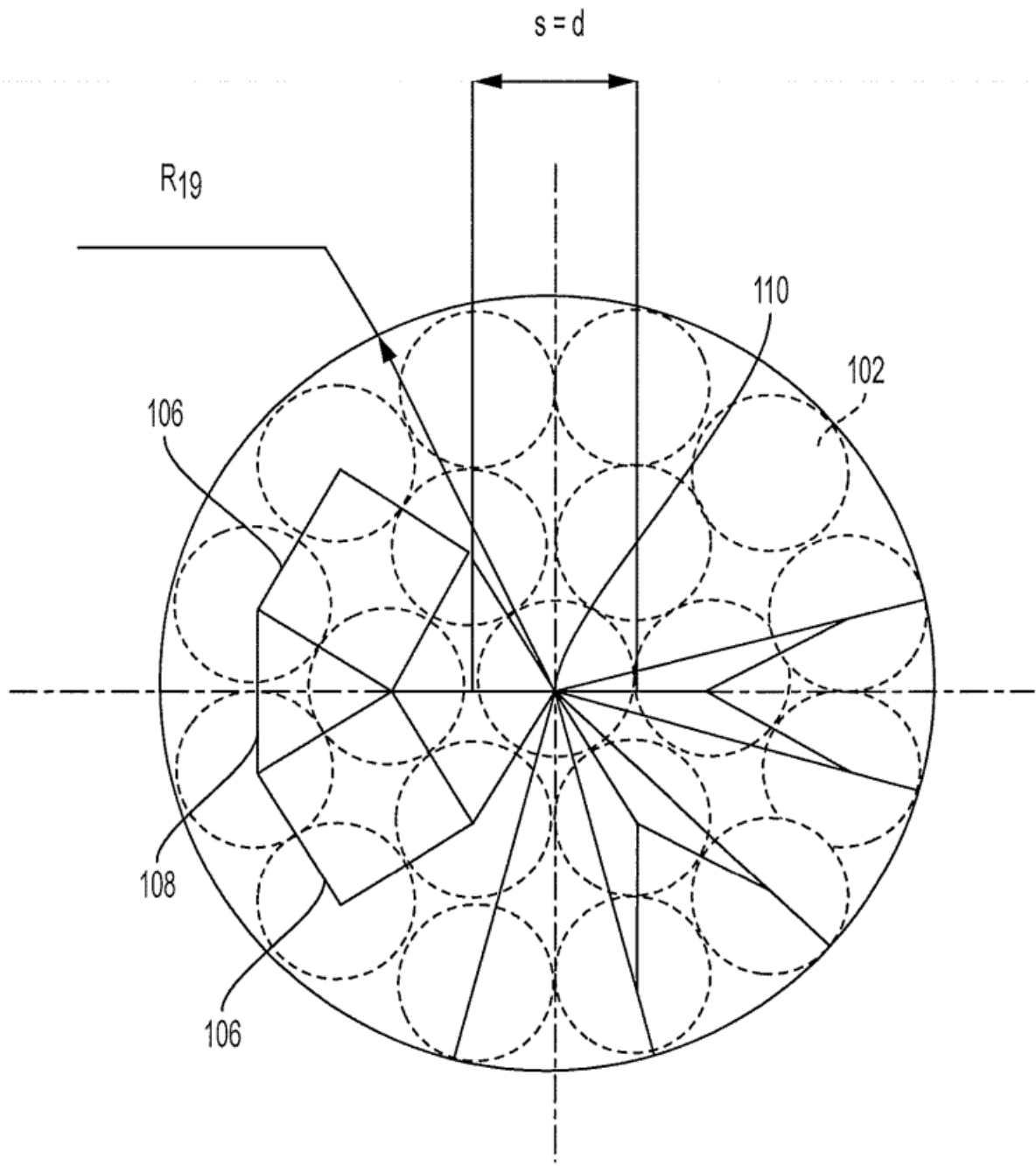


FIG. 3

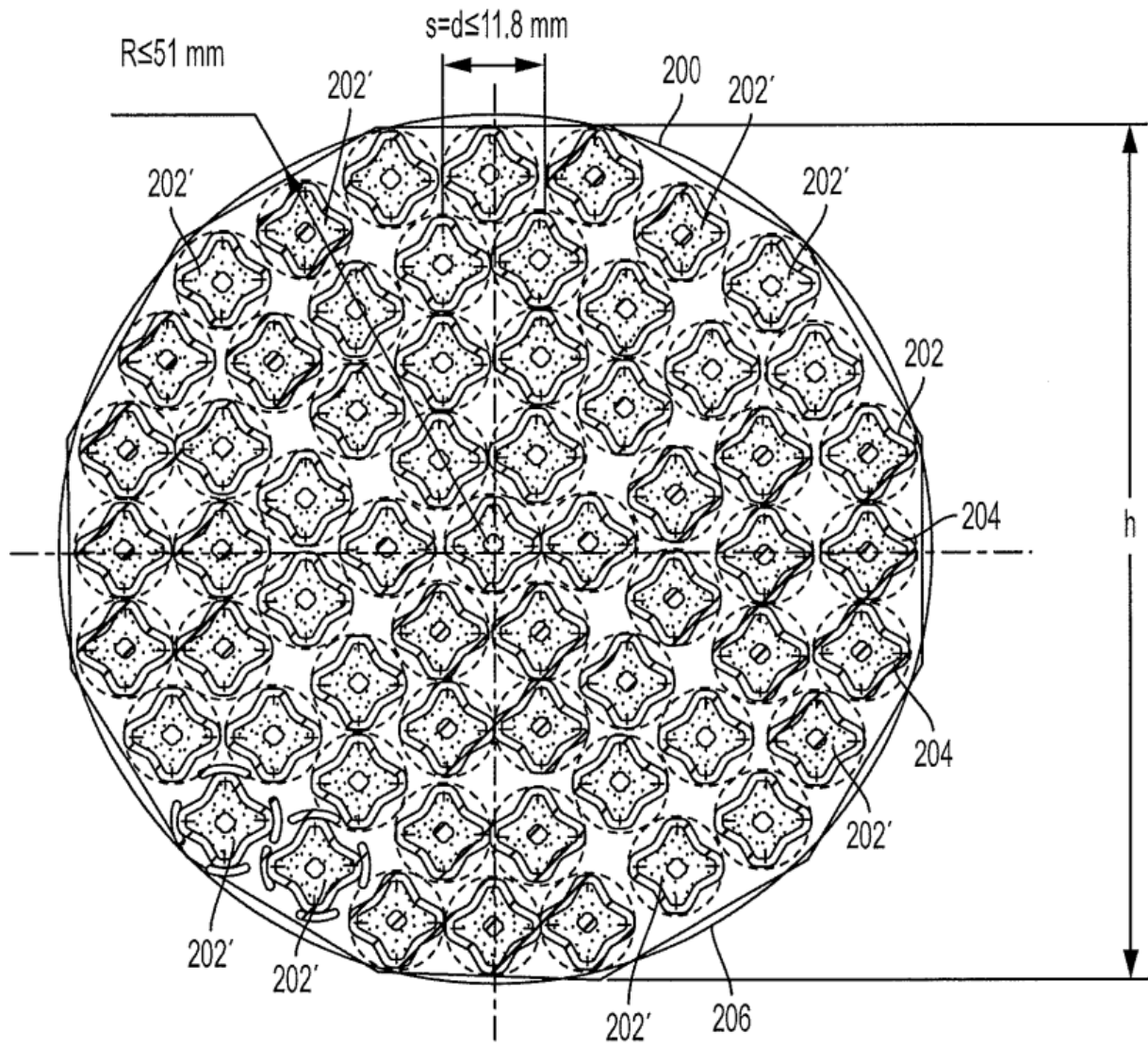


FIG. 4

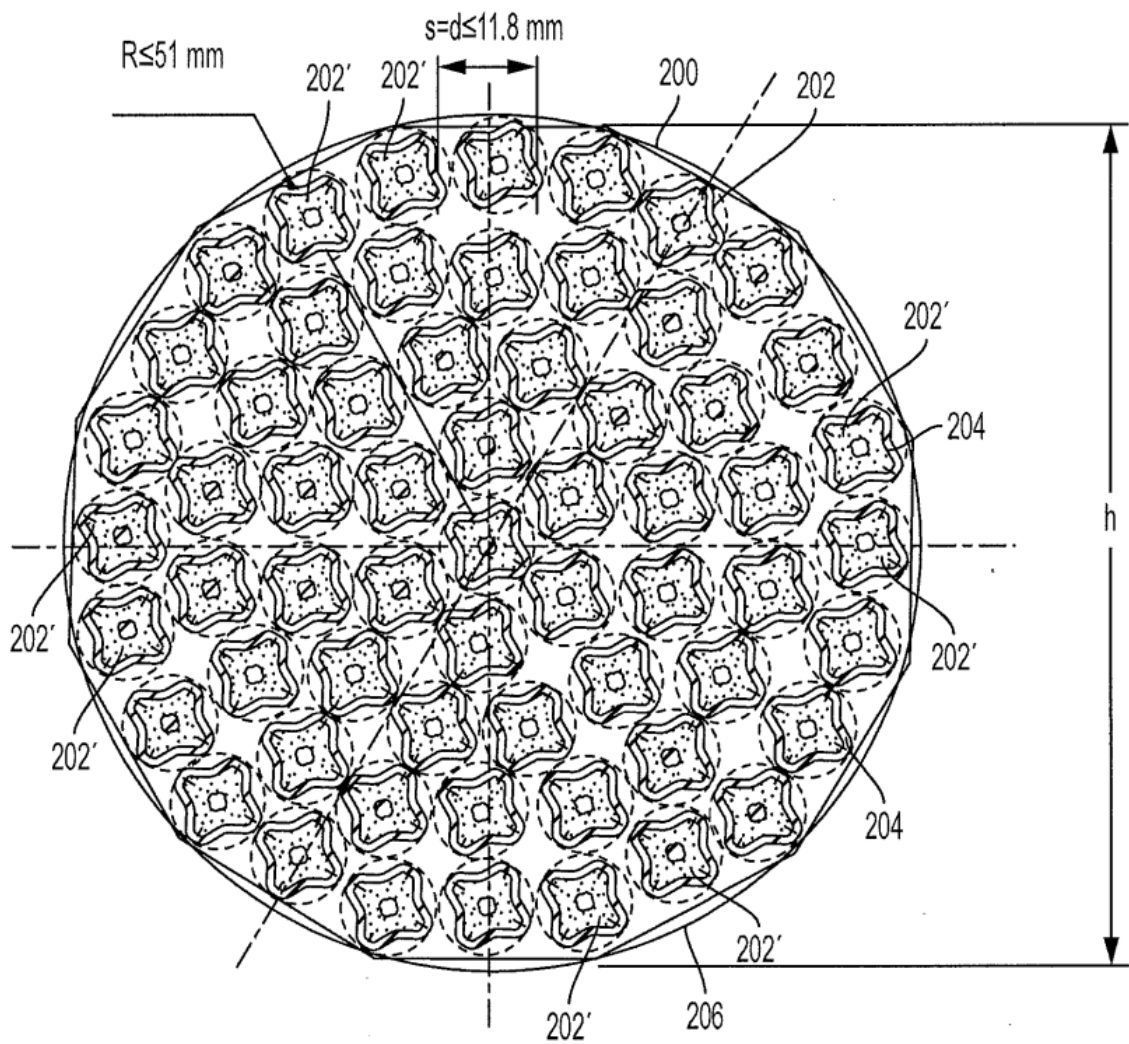


FIG. 5

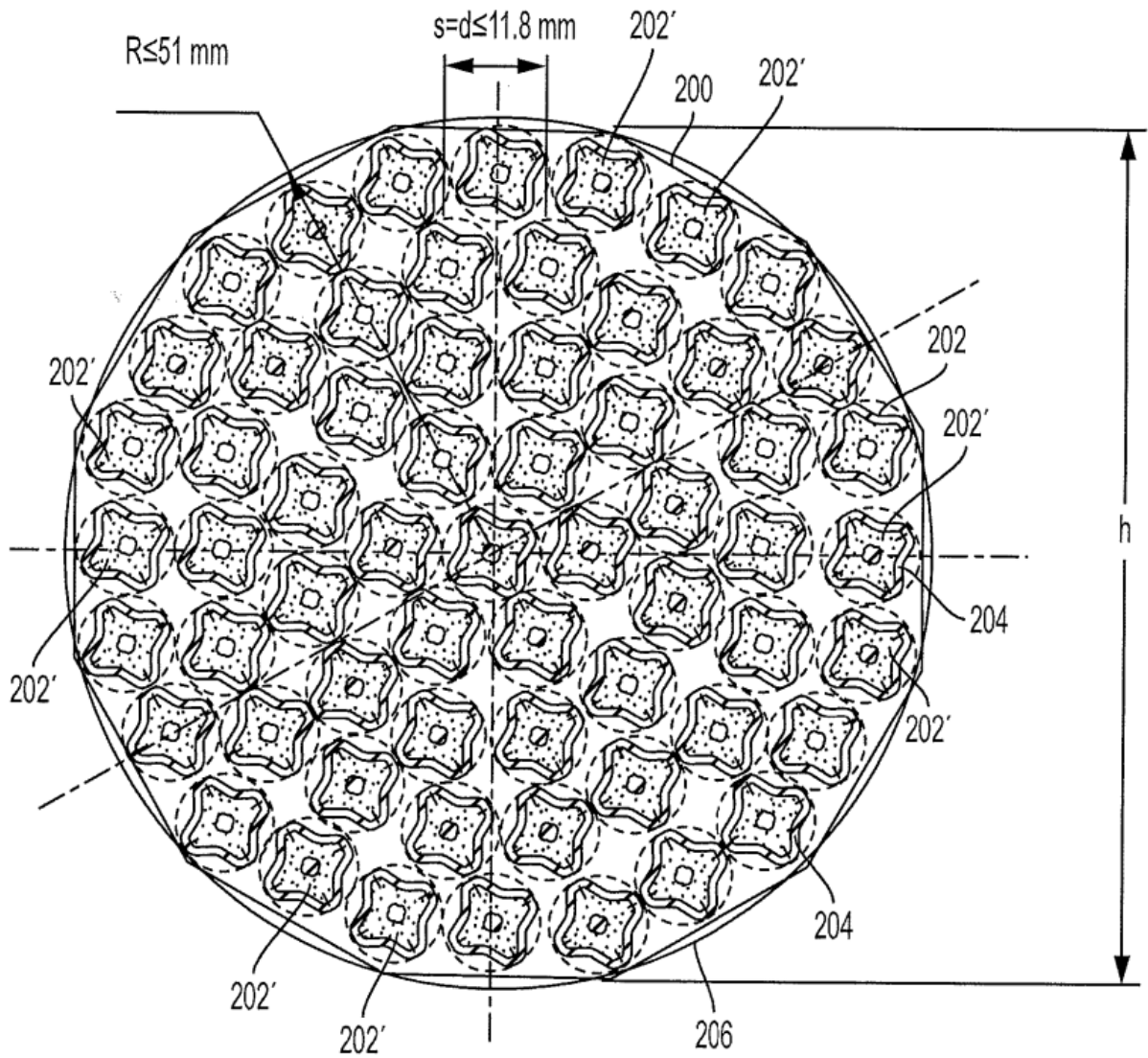


FIG. 6