

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 189**

51 Int. Cl.:

G21C 7/06 (2006.01)

G21C 7/24 (2006.01)

G21C 5/02 (2006.01)

G21C 11/02 (2006.01)

G21C 3/326 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2014 E 14198231 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2887357**

54 Título: **Sistemas y procedimientos de reducción de fluencia en reactor nuclear**

30 Prioridad:

17.12.2013 US 201314109461

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

12.12.2017

73 Titular/es:

**GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road Wilmington
North Carolina 28401, US**

72 Inventor/es:

REA, JOHN P.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 646 189 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

Sistemas y procedimientos de reducción de fluencia en reactor nuclear

Antecedentes

5 Como se muestra en la Figura 1, un puesto de energía nuclear incluye convencionalmente un recipiente 10 de presión del reactor con diversas configuraciones de elementos internos de combustible y reactor para la producción de energía nuclear. Por ejemplo, el recipiente 10 puede incluir una cubierta 30 del núcleo que rodea un núcleo 35 de combustible nuclear que aloja estructuras de combustible, tales como conjuntos 40 de combustible. Una guía 45 superior y un soporte 70 de combustible pueden soportar cada conjunto 40 de combustible. Una región 25 de tubo descendente anular se puede formar entre la cubierta 30 del núcleo y el recipiente 10, a través de la que el refrigerante fluido y moderador fluyen en el pleno 55 inferior del núcleo. Por ejemplo, en los tipos de reactores US LightWater, el fluido puede ser agua purificada, mientras que en reactores del tipo de uranio natural, el fluido puede ser agua purificada pesada. En los reactores refrigerados por gas, el refrigerante fluido puede ser un gas, tal como helio, con moderación proporcionada por otras estructuras. El fluido se puede hacer fluir hacia arriba desde el pleno 55 inferior del núcleo a través del núcleo 35. Después de calentarse en el núcleo 35, el fluido energético puede entrar en el pleno 60 superior del núcleo debajo del cabezal 65 de apantallamiento.

Una o más unidades 81 de accionamiento de barras de control se pueden situar por debajo del recipiente 10 y conectarse a las láminas 80 de las barras 80 de control (Figura 2) que se extienden entre los conjuntos 40 de combustible dentro del núcleo 35. El recipiente 10 se puede sellar y abrir a través del cabezal 95 superior en la brida 90. Con acceso a los componentes internos del reactor, algunos de los conjuntos 40 de haz de combustible se sustituyen y/o transportan dentro del núcleo 35, y el mantenimiento/instalación en otras estructuras internas y estructuras externas, incluyendo la cubierta 30 y el recipiente 10 de presión del reactor en sí se puede realizar dentro y fuera del reactor 10.

La Figura 2 es una ilustración de una porción del núcleo 35 de combustible de la Figura 1, que muestra varios conjuntos 40 de combustible situados sobre una barra 80 de control. Durante la operación, la unidad 81 de accionamiento de la barra de control maniobra la lámina 80 de la barra de control a una posición axial deseada entre los conjuntos 40 de combustible para obtener una densidad de potencia deseada. La lámina 80 de la barra de control tiene normalmente una sección transversal en cruz o cruciforme; sin embargo, barras y otras formas son elementos de control conocidos que se pueden utilizar en reactores nucleares. La lámina 80 de la barra de control incluye un material que absorbe neutrones de un espectro deseado, tales como boro, cadmio, etc., para reducir la fluencia de neutrones entre los conjuntos 40 y por lo tanto controlar la reacción nuclear en cadena. En la Figura 2, los conjuntos 40 de haces de combustible rodean la lámina 80 de la barra de control, que se sitúa en una intersección central rodeada por los cuatro conjuntos 40 de haces de combustible para maximizar la exposición a, y por tanto controlar, los conjuntos 40 de combustible, conjuntamente.

La Figura 3 es una ilustración de un conjunto 40 de combustible de la técnica relacionada, tal como los conjuntos 40 mostrado en las Figuras 2 y 3. Como se muestra en la Figura 3, el conjunto 40 de combustible incluye múltiples barras 14 de combustible cargadas con material fisiónable para la generación de energía. Las barras 14 de combustible se disponen en una rejilla uniforme lateralmente y se extienden en la dirección axial continuamente a lo largo del montaje 40. Las barras 14 de combustible se asientan en una placa 16 de anclaje inferior y se extienden hacia arriba en una placa 17 de anclaje superior en los extremos del conjunto 40 de combustible. Las barras 14 de combustible se delimitan por un canal 12 que forma un exterior del conjunto 40, manteniendo el flujo de fluido dentro del conjunto 40 a lo largo de la longitud axial del conjunto 40. El conjunto 40 de combustible convencional incluye también uno o más separadores 18 de combustible en varias posiciones axiales para alinear y separar las barras 14 de combustible.

Sumario

45 El alcance de la presente invención se define por la materia objeto de la reivindicación 1. Disposiciones ejemplares incluyen núcleos de combustible nuclear y estructuras circundantes, los conjuntos de combustible para su uso en los mismos, y estructuras de control de fluencia para su uso en los mismos. Los núcleos ejemplares incluyen conjuntos de combustible nuclear en combinación con un conjunto o conjuntos de combustible que tienen una estructura o estructuras de control de fluencia. Los conjuntos y estructuras limitantes de fluencia se pueden colocar fuera de o alrededor de los otros conjuntos de combustible nuclear en el núcleo para reducir el flujo de neutrones más allá de los conjuntos de combustible nuclear de fluencia controlada. La estructura de control de fluencia puede por sí misma colocarse en un borde exterior del núcleo para que exista un control de fluencia solamente más allá de los conjuntos de combustible nuclear y conjuntos limitantes de fluencia. Las estructuras de control de fluencia limitan el flujo de neutrones en posiciones particulares mediante el uso de material, dimensionamiento y colocación apropiadas en los conjuntos de combustible. En los procedimientos ejemplares, los ingenieros de núcleo pueden seleccionar y/o instalar conjuntos de combustible limitantes de fluencia con características limitantes de flujo en núcleos que tienen perfiles neutrónicos esperados para beneficiarse de dicha limitación de flujo.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención será más evidentes mediante la descripción, en detalle, de los dibujos adjuntos, en los que los elementos similares se representan con números de referencia similares, que se proporcionan a modo de ilustración solamente y, por lo tanto, no limitan los términos que ellos representan.

5 La Figura 1 es una ilustración de un recipiente de energía nuclear de la técnica relacionada y de sus componentes internos.

La Figura 2 es una ilustración de un grupo controlado de conjuntos de combustible de la técnica relacionada durante su uso con una lámina de barra de control.

La Figura 3 es una ilustración de un conjunto de combustible de la técnica relacionada.

10 La Figura 4 es una ilustración de un núcleo nuclear.

La Figura 5 es una ilustración de un conjunto de combustible de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada

15 Este es un documento de patente, y amplias reglas generales de construcción deben aplicarse cuando se lee y comprende el mismo. Todo lo descrito y mostrado en la presente memoria es un ejemplo de la materia comprendida dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Cualquier detalle estructural y funcional específico descrito en la presente memoria es meramente con fines de describir cómo hacer y utilizar las realizaciones o procedimientos ejemplares. Varias realizaciones diferentes no divulgadas específicamente en la presente memoria caen dentro del alcance de las reivindicaciones; como tal, las reivindicaciones se pueden realizar de muchas formas alternativas y no se deben interpretarse como limitadas solamente a las realizaciones ejemplares aquí establecidas.

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

25 Se entenderá que cuando un elemento se denomina como estando "conectado", "acoplado", "unido" o "fijado" a otro elemento, puede estar conectado o acoplado al otro elemento o pueden haber elementos intermedios presentes. Por el contrario, cuando un elemento se denomina como "estando directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otros términos utilizados para describir la relación entre los elementos se deben interpretar de una manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente a", etc.). De manera similar, una expresión tal como "conectado/a en comunicación con" incluye todas las variaciones de rutas de intercambio de información entre dos dispositivos, incluyendo dispositivos intermedios, redes, etc., conectados inalámbicamente o no.

30 Como se utiliza en la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el" pretenden incluir tanto las formas singular como plural, a menos que el lenguaje lo indique explícitamente de otra manera con palabras como "solamente", "individualmente", y/o "uno". Se entenderá además que los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye" y/o "incluyendo", cuando se utilizan aquí, especifican la presencia de características, etapas, operaciones, elementos, ideas, y/o componentes, pero no excluyen en sí la presencia o adición de una o más de otras características, etapas, operaciones, elementos, componentes, ideas, y/o grupos de los mismos.

40 También se debe observar que las estructuras y operaciones descritas a continuación pueden ocurrir fuera del orden descrito y/o indicado en las Figuras. Por ejemplo, dos operaciones y/o figuras que se muestran en sucesión pueden de hecho ejecutarse simultáneamente o, a veces pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos involucrados. Del mismo modo, las operaciones individuales dentro de los procedimientos ejemplares descritos a continuación pueden ejecutarse de forma repetitiva, individual o secuencialmente, para proporcionar un bucle u otra serie de operaciones aparte de las operaciones individuales que se describen a continuación. Se debe suponer que cualquier realización que presenta las características y funcionalidad descritas a continuación, en cualquier combinación viable, cae dentro del alcance de las realizaciones ejemplares.

45 El inventor ha reconocido los problemas derivados de las operaciones de potencia nuclear donde el flujo de neutrones con el tiempo, o la fluencia, causa la fragilización y/o fallo de un componente (por ejemplo, véase también el documento JPH06201876 o WO9600966). Este problema puede tener consecuencias particulares sobre los componentes nucleares especialmente sensibles al flujo, o grandes, no sustituibles, tal como una cubierta 30 del núcleo (Figura 1) o recipiente 10 del reactor a presión (Figura 1). El inventor ha descubierto además que la instalación de una estructura de reflector/absorbedor separada dentro de un reactor o el uso de núcleos más pequeños con perímetros de agua crea problemas adicionales. Una estructura de reflector/absorbedor separada requiere su propia instalación y mantenimiento separado y puede no encajar entre un núcleo y una cubierta, sin interferir con la hidrodinámica. Núcleos más pequeños generan menos energía y pueden tener perfiles de flujo

radiales más nítidos, que pueden acercarse o superar los márgenes de seguridad para las relaciones de potencia de los conjuntos de combustible. La siguiente divulgación supera únicamente estos y otros problemas reconocidos por el inventor en las operaciones del reactor nuclear. La presente invención es el control de fluencia basado en combustible nuclear. Las realizaciones ejemplares que se describen a continuación ilustran solo un subconjunto de la variedad de configuraciones diferentes que se pueden utilizar como y/o en conexión con la presente invención.

La Figura 4 es un mapa de cuadrante de un núcleo de reactor de la realización ejemplar que tiene estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible periféricas. En la Figura 4, cada cuadrado representa una ubicación del conjunto de combustible dentro de un cuarto del núcleo. Los núcleos de reactor pueden ser simétricos alrededor de al menos dos ejes perpendiculares, de manera que un mapa cuadrante como la Figura 4 puede transmitir una conformación de todo el núcleo. Si bien la Figura 4 ilustra un cuadrante 17x17 encontrado en algunos diseños de Reactor de Agua en Ebullición, otros tamaños de núcleo y formas son utilizables con disposiciones ejemplares. Como se muestra en la Figura 4, las ubicaciones pueden estar cargadas (línea continua) y vacías (línea discontinua) para crear un núcleo y perímetro más allá del que una cubierta y/o recipiente del reactor (por ejemplo, la cubierta 30 y/o recipiente 10 de la Figura 1) pueden unir el núcleo. Las ubicaciones del conjunto ocupadas pueden alojar haces de combustible de mayor (de líneas en diagonal o cruzadas) o menor (mostrados sin relleno) reactividad durante cualquier ciclo de combustible. La reactividad variable se puede lograr a través de la variación de diferentes enriquecimientos de combustible iniciales, el uso de conjuntos de combustible de diferentes exposiciones, el ajuste de los venenos de fisión, etc. Por ejemplo, el anillo de conjuntos de menor enriquecimiento alrededor de un perímetro exterior que se muestra en la Figura 4 pueden ser conjuntos de menor enriquecimiento que utilizan uranio natural o conjuntos quemados una vez, y los haces de mayor enriquecimiento en una porción interior del núcleo pueden utilizar uranio enriquecido o haces más nuevos. Otros patrones de reactividad, incluyendo núcleos con reactividad uniforme, se pueden utilizar como núcleos ejemplares.

Los elementos de control, tales las láminas 80 de las barras de control (Figura 2), se sitúan a lo largo de un interior del núcleo. Un subconjunto de tales elementos de control se puede utilizar durante la operación para control de potencia en el núcleo, y los conjuntos adyacentes para controlar elementos movidos regularmente para ajustar la reactividad se muestran como haces controlados en la Figura 4, indicándose en los cuadrados más pesados que contienen cuatro ubicaciones de conjunto. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, los conjuntos 10 situado alrededor de una barra 80 de control se pueden representar como conjuntos controlados en la Figura 4. Aunque no se muestran en la Figura 4, otros elementos de control y grupos de conjuntos controlados se pueden utilizar con realizaciones ejemplares, incluyendo elementos de control y conjuntos controlados más cerca de una periferia del núcleo. Como tal, se entiende que la forma, tamaño, patrón de montaje, patrón del elemento de control, y niveles de reactividad del conjunto de un núcleo de realización ejemplar pueden variar a través de diseños conocidos y futuros, basándose en los requisitos de generación de potencia, márgenes de seguridad, tipo de reactor, etc. Como se muestra en la Figura 4, las estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible se utilizan en conjuntos de combustible alrededor de un perímetro más exterior del núcleo de combustible ejemplar. Las estructuras de control de fluencia se muestran con un contorno más grueso en la Figura 4. Estas estructuras de control de fluencia no generan flujo pero tienen un efecto de absorción y/o reflexión sustancial en el flujo de neutrones para los espectros encontrados en una periferia de un conjunto de combustible. Por ejemplo, las estructuras de control de fluencia pueden incluir materiales que tienen secciones transversales de absorción de un barn o más para los neutrones térmicos y rápidos. De este modo, las estructuras de control de fluencia limitan el flujo de neutrones y por tanto la fluencia a lo largo del tiempo – más allá del núcleo.

Como se muestra en la Figura 4, las estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible se pueden utilizar en uno o más bordes exteriores de los conjuntos de combustible periféricos de tal manera que el control de fluencia puede ser continuo y exclusivamente en la periferia del núcleo, creando un límite de flujo en un perímetro exterior entero del núcleo. Esto puede reducir la fluencia para una cubierta del núcleo, recipiente de presión del reactor, y/u otros componentes internos del reactor que rodean el núcleo.

Las estructuras de control de fluencia se pueden extender axialmente completamente a través del núcleo o a elevaciones seleccionadas. Del mismo modo, las estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible se pueden utilizar de forma selectiva con menos de todas las superficies del conjunto de combustible periféricas para crear posiciones periféricas discontinuas que protegen solo determinadas ubicaciones. Por ejemplo, solo los conjuntos de esquina, tales como el conjunto en la posición 12-2 de la Figura 4, que tiene dos superficies expuestas pueden utilizar estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible, mientras que los conjuntos con una menor exposición carecen de tales estructuras, o as estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible se pueden utilizar solamente en ubicaciones con impacto de fluencia significativo en componentes vulnerables. Las estructuras de control de fluencia se pueden utilizar además en posiciones internas dentro de la periferia para simplificar la fabricación del conjunto, conformación de flujo, y/o protección de los componentes internos en el núcleo, por ejemplo. Las estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible pueden ser componentes de los conjuntos de combustible o de otro modo unirse directamente a los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares. De esta manera, el control de fluencia se puede situar basado en el posicionamiento del conjunto de combustible. Como se muestra en la Figura 4, al colocar y orientar selectivamente los conjuntos de combustible con una o dos caras de las estructuras de control de fluencia con un posicionamiento axial común, un perímetro continuo de control de fluencia se puede formar sobre un perímetro exterior del núcleo a través de toda la elevación del núcleo o en secciones axiales específicas. Mediante la instalación de estructuras de control de fluencia en los conjuntos de combustible individuales, se pueden crear, modificar y/o eliminar posiciones de control de fluencia mediante el movimiento o reorientación apropiada de los conjuntos de combustible, sin la necesidad de una instalación adicional en o cerca de un núcleo del reactor.

Las estructuras de control de fluencia del conjunto de combustible ejemplares pueden tener una variedad de formas y características. Por ejemplo, las estructuras de control de fluencia se pueden situar en una variedad de ubicaciones sobre las estructuras básicas y los conjuntos de combustible para proporcionar una protección en las posiciones deseadas. Del mismo modo, las estructuras de control de fluencia se pueden fabricar de una variedad de materiales limitantes de flujo para proporcionar una cantidad deseada de apantallamiento donde se colocan. Múltiples estructuras de control de fluencia se pueden utilizar juntas en cualquier combinación y en cualquier posición basándose en las características neutrónicas en el núcleo y en la limitación de fluencia deseada.

La Figura 5 es una ilustración de una estructura de control de fluencia durante su uso con un conjunto 110 de combustible de acuerdo con la presente invención. El conjunto 110 de combustible se puede configurar de manera muy similar a, y se utiliza de forma intercambiable con, los conjuntos de combustible convencionales, tales como el conjunto 10 de combustible de las figuras 1-3. El uso de la estructura o estructuras de control de fluencia en los conjuntos de acuerdo con la presente invención no reduce o destruye necesariamente la compatibilidad con una variedad de diferentes tipos de reactores. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5, el conjunto 110 de combustible se puede utilizar en una posición adyacente a una lámina 80 de control y alojar elementos convencionales como barras 14 de combustible, tanto completas ("T") como de longitud parcial ("P"), y barras 19 de agua, tal como, y en lugar de, un conjunto de combustible BWR convencional. El conjunto 110 de combustible incluye una cortina 120 de placa como una estructura de control de fluencia. La cortina 120 de placa puede estar en un interior o exterior del canal 112, fijada mediante soldadura, atornillado, formada como una pieza integral con el canal 112, y/o con cualquier otro mecanismo de unión. Por ejemplo, dos cortinas 120 de placa se pueden colocar ya sea en el exterior o en el interior de las caras más exteriores de canal 112 expuestas a un recipiente de apantallamiento del núcleo o recipiente de presión del reactor, si el conjunto 110 de combustible es un conjunto de esquina tal como la posición 6-6 de la Figura 4. La cortina 120 de placa se puede extender completa o sustancialmente sobre una cara interior o exterior del conjunto 110, o la placa 110 de cortina puede cubrir solo una porción lateral o axial de una cara de canal en el conjunto 110. La colocación y el tamaño de la cortina 120 de placa se pueden seleccionar basándose en sus propiedades de reducción de flujo y posición dentro de un núcleo. Por ejemplo, un flujo de neutrones en una posición particular del núcleo puede proyectarse para ser especialmente alta, excepto en las posiciones axiales inferiores, y la cortina 120 de placa se puede extender solamente alrededor de canal 112 para cubrir las porciones axiales superiores.

La cortina 120 de placa se fabrica de un material y espesor que tiene una característica de reducción de flujo de neutrones deseada. Por ejemplo, la cortina 120 de placa puede ser de acero inoxidable, con una sección transversal de absorción de neutrones más alta en las energías del reactor, o de circonio, con una sección transversal de absorción de neutrones inferior. Para un efecto aún más fuerte, la cortina 120 de placa se puede fabricar de manera similar a un brazo de una lámina 80 de control cruciforme y contiene un absorbente de neutrones más fuerte como hafnio, boro, gadolinio, cadmio, etc. La cortina 120 de placa puede tener cualquier espesor que no interfiera con otras estructuras de núcleo, incluyendo aproximadamente 65-200 mil (milésimas de pulgada). Del mismo modo para determinar la posición y la cobertura de la cortina 120 de placa, el material y el espesor de la cortina 120 de placa se pueden seleccionar basándose en la neutrónica y reducción de flujo esperados. Por ejemplo, si se utilizan haces de menor enriquecimiento alrededor de una periferia de un núcleo como se muestra en la Figura 4, las cortinas 120 de placa pueden ser más finas y se puede utilizar un material de absorción inferior como una aleación de circonio. En otras situaciones con flujos térmicos más altos y/o rápidos, una cortina 120 de placa de tipo lámina de control se puede utilizar. Como tal, las cortinas 120 de placa de material y espesor apropiado absorberán y/o reflejarán el flujo de neutrones de un perímetro de un núcleo y evitarán o reducirán la fluencia con el tiempo en las estructuras fuera de cortinas 120 de placa, como una cubierta del núcleo o recipiente del reactor, en el conjunto 110. El conjunto 110 de combustible incluye un canal 112 de apantallamiento como una estructura de control de fluencia. El canal 112 de apantallamiento puede ser idéntico a un canal 12 convencional (Figuras 1-3) en forma y tamaño. Por supuesto, en otros diseños de combustible, el canal 112 de apantallamiento puede asumir otras formas, tamaños, alineaciones, y puntos de conexión con el fin de preservar tal compatibilidad a través de varios otros tipos de combustible y reactores. El canal 112 de apantallamiento se puede fabricar de un material con una sección transversal de absorción y/o dispersión mayor o deseada de para flujos de neutrones que se esperan encontrar en una posición del conjunto 110 de combustible. Por ejemplo, el canal 112 de apantallamiento se puede fabricar de acero inoxidable en lugar de una aleación de circonio, o el canal 112 de apantallamiento se puede dopar con materiales como boro y hafnio que limitan el flujo de neutrones. El canal 112 de apantallamiento se puede fabricar de una manera compuesta seleccionando solamente lados/bordes que tienen un material de reducción de flujo de neutrones, el o canal 112 de apantallamiento se puede fabricar de un material uniforme.

El canal 112 de apantallamiento puede tener un efecto menor en la reducción del flujo de neutrones en el conjunto 110, debido a la delgadez relativa del canal 112 de apantallamiento. Por lo tanto, incluso si se fabrica de un material uniforme por simplicidad de fabricación, el canal 112 de apantallamiento no tendrá un efecto sustancialmente perjudicial en el flujo en el interior de un núcleo, donde se desea flujo. El canal 112 de apantallamiento fabricado con un absorbedor o reflector de neutrones apropiado reducirá también el flujo de neutrones de un perímetro de un núcleo y evitará o reducirá la fluencia con el tiempo a las estructuras fuera del conjunto 110 de combustible, tal como una cubierta del núcleo o recipiente del reactor, cuando se utiliza en conjuntos cerca de tales estructuras. El conjunto 110 de combustible incluye una barra 114 de combustible de apantallamiento como una estructura de control de fluencia. Como se muestra en la Figura 5, las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden ocupar una fila y/o columna exterior más próxima a un borde de un núcleo si el conjunto 110 de combustible se coloca en una esquina o posición exterior. Una fila exterior entero y columna exterior en el conjunto 110 se pueden

formar solamente por barras 114 de combustible de apantallamiento, o las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden colocarse a intervalos o en otros patrones o posiciones a lo largo de conjunto 110 que limitan el flujo de forma deseada. Las barras 114 de combustible de apantallamiento son compatibles con, y pueden reemplazar, las barras 14 de combustible convencionales, tanto de longitud T completa como de longitud P parcial, barras 114 de apantallamiento que pueden coincidir en diámetro, longitud, y/o características de revestimiento exterior. Por supuesto, en otros diseños, las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden asumir otras formas, tamaños, alineaciones, densidades, y puntos de conexión para conservar tal compatibilidad a través de varios tipos de combustibles y reactores.

Las barras 114 de combustible de apantallamiento reducen el flujo de neutrones de las energías esperadas a través de la absorción y/o dispersión en su ubicación dentro del conjunto 110 de combustible. Las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden asumir una variedad de configuraciones basadas en la cantidad y el tipo de efecto de reducción de flujo deseado. Por ejemplo, las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden ser un tubo revestido con circonio vacío, es decir, una barra de combustible sin pastillas de combustible, o un tubo revestido de acero inoxidable u otro metal vacío. O la barra 114 de combustible de apantallamiento puede ser una aleación sólida de circonio, acero inoxidable, u otra barra de metal sin ningún interior hueco o con gránulos de relleno del material elegido insertados en su interior. Estos ejemplos eliminan los elementos de combustible y/o el uso de materiales de mayor absorción y/o más gruesos que tienen un efecto modesto sobre flujo de neutrones, con materiales que tienen secciones transversales más grandes con mayor reducción de flujo y fluencia en el tiempo.

Aún más, las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden incluir incluso materiales de sección transversal más grandes, incluyendo venenos de fisión y otros reductores de flujo como el boro, gadolinio, cadmio, hafnio, etc., para una mayor reducción de flujo. Las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden incluir también dianas de irradiación como el cobalto-59 o iridio que producen isótopos deseados a medida que absorben flujo. Por ejemplo, las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden ser barras segmentadas como se divulga en las Solicitudes de Patente de Estados Unidos en co-propiedad 2007/0133731 de Fawcett *et al.*, 2009/0122946 de Fawcett *et al.*, 2009/0135983 de Russell, II *et al.*, 2009/0135988 de Russell, II *et al.*, 2009/0135990 de Fung Poon *et al.*, y/o 2013/0077725 de Bloomquist *et al.* En el ejemplo de una barra de combustible segmentada para las barras 114 de combustible de apantallamiento, la variación axial en la absorción y/o reflexión de flujo puede lograrse llenando diferentes segmentos axiales con diferentes materiales que tienen secciones transversales deseadas para un nivel axial particular. Las barras 114 de combustible de apantallamiento pueden por tanto reducir el flujo que se escapa más allá de conjunto 110 de combustible, mientras producen isótopos deseados para su cultivo y/o tener un efecto de veneno consumible donde la reducción de flujo puede variar a través de un único ciclo de combustible.

Aunque conjunto 110 de combustible de la Figura 5 se ilustra con las estructuras de control de fluencia como barras 114 de combustible de apantallamiento, el canal 112 de apantallamiento, y/o la cortina 120 de placa, se entiende que otras y cualquiera de las estructuras de control de fluencia se pueden utilizar con los conjuntos de combustible. Además, las estructuras de control de fluencia se pueden utilizar solas, en múltiplos, o en cualquier combinación, dependiendo de las necesidades de apantallamiento en una ubicación del núcleo donde se pueden colocar conjuntos de combustible.

Por ejemplo, en el ejemplo del núcleo de la Figura 4 con un anillo exterior de conjuntos de combustible de menor reactividad para permitir un perfil de potencia radial más plano, mientras se reduce de flujo de neutrones en los bordes del núcleo, un conjunto en la posición 5-9 (columna-fila) puede tener solo una única cara expuesta fuera del núcleo y estar rodeado por conjuntos de baja potencia. Un conjunto de combustible en la posición 5-9 de este tipo puede utilizar solamente una única cortina 120 de placa en la cara expuesta fabricada de acero inoxidable de solo 60 milésimas de pulgada de espesor o utilizar solamente un canal 112 de apantallamiento dopado con un absorbedor de neutrones y reducir satisfactoriamente fluencia en las estructuras de reactores adyacentes a la posición 5-9. Estas estructuras de control de fluencia ejemplares pueden ser relativamente simples de implementar a partir de un punto de vista de fabricación y punto de vista operativo.

O, por ejemplo, un conjunto de combustible se puede colocar en una posición de núcleo adyacente a un componente sensible al flujo, tal como una cubierta del núcleo del reactor que ha estado en uso durante décadas y está cerca de las limitaciones de fluencia máximas de su tiempo de vida. En un conjunto de combustible de este tipo, múltiples estructuras de control de fluencia con alta capacidad de reducción de flujo se pueden utilizar juntas. Por ejemplo, en un conjunto de combustible de esquina, toda una fila y columna más exteriores de las barras de combustible pueden ser barras 114 de combustible de apantallamiento fabricadas de acero inoxidable sólido. En combinación, una cortina 120 de placa de tipo brazo de lámina de control que tiene muy alta absorción de neutrones se puede instalar en las caras exteriores del conjunto más próximo a la cubierta. Esta combinación de estructura de control de fluencia ejemplar puede tener una capacidad de detención de flujo muy alta y apantalla el componente sensible al flujo sin la instalación de estructuras internas del reactor separadas.

Por supuesto, cualquier número de otras combinaciones de estructuras de control de fluencia se pueden utilizar en los conjuntos de combustible, basándose en las necesidades limitantes de fluencia en cualquier posición radial o axial en el interior del reactor y problemas de operación tales como la simplicidad de fabricación, los costes de combustible, tipo de reactor, conformación del núcleo y respuesta neutrónica, necesidades de producción de isótopos, y dimensiones de núcleo y combustible. Un ingeniero del reactor puede pronosticar las necesidades básicas y la respuesta de flujo para un ciclo particular y puede elegir y situar los conjuntos de combustible en consecuencia para su uso en futuras operaciones. Por lo tanto en las realizaciones y procedimientos descritos de

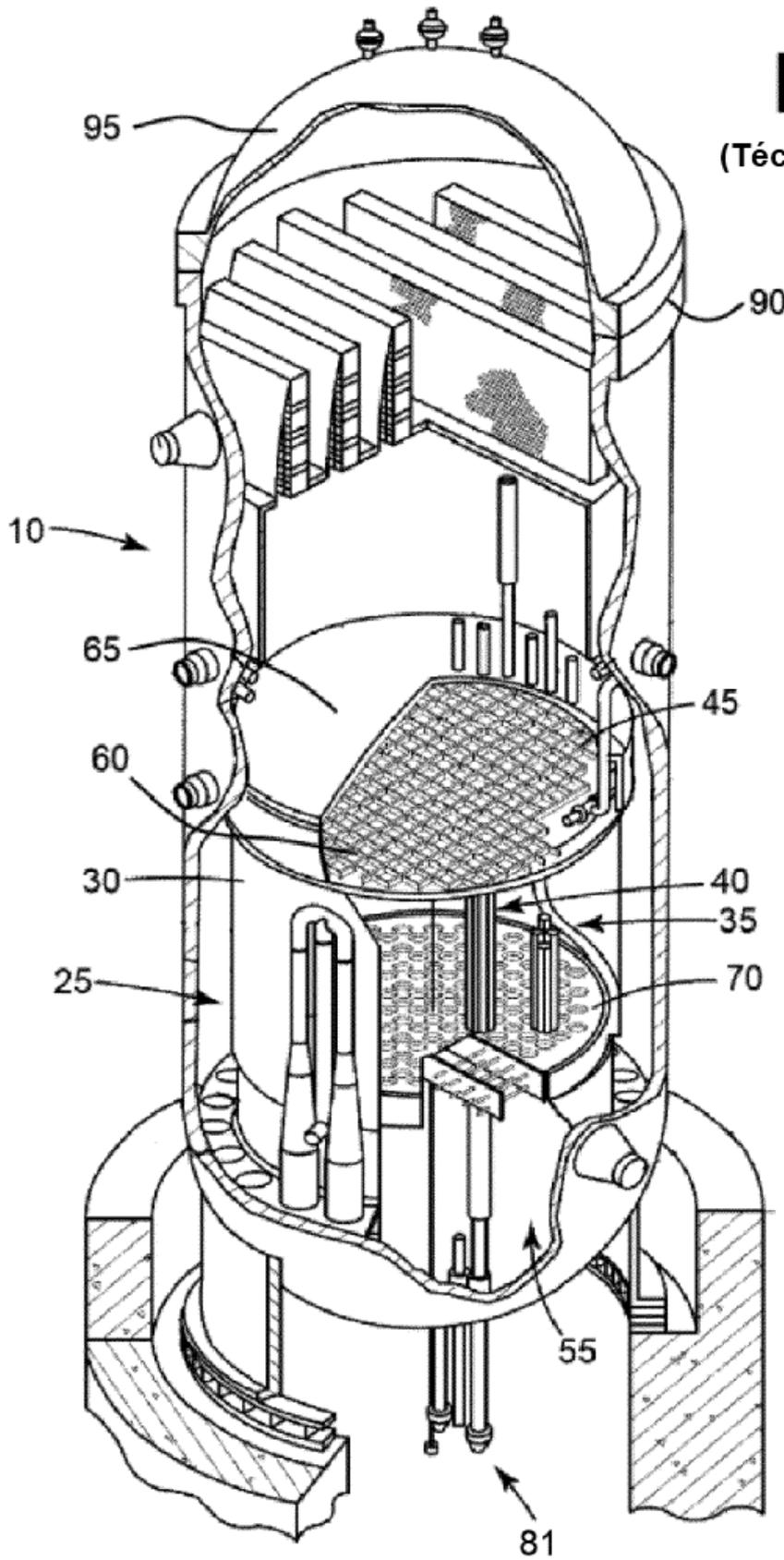
este modo se apreciará por un experto en la materia que las realizaciones se pueden variar y sustituirse a través de la experimentación de rutina siempre que estén comprendidas todavía dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, una variedad de diferentes diseños de reactores y núcleos son compatibles con las realizaciones simplemente a través del dimensionamiento adecuado de las realizaciones - y están comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones. Tales variaciones no han de considerarse como alejadas del alcance de estas reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un núcleo (35) para un reactor nuclear, en el que el núcleo comprende:
- 5 una pluralidad de conjuntos (110) de combustible nuclear; y
 un conjunto (112, 114, 120) de combustible nuclear de fluencia controlada situado en un perímetro más exterior
 del núcleo (35); en el que
 el conjunto de combustible nuclear de fluencia controlada incluye una pluralidad de estructuras de control de
 fluencia situadas en uno o más bordes exteriores del conjunto de combustible nuclear de fluencia controlada;
 la pluralidad de estructuras de fluencia controlada incluye la totalidad de, un canal de apantallamiento, una
 10 cortina de placa, y una pluralidad de barras de apantallamiento, para reducir de ese modo el flujo de neutrones
 del núcleo (35) en una dirección más allá del conjunto de combustible nuclear de fluencia controlada; y
 en el que la pluralidad de conjuntos de combustible nuclear carece de estas estructuras de control de fluencia.
2. El núcleo (35) de la reivindicación 1, en el que el núcleo es cilíndrico, y en el que la dirección es una dirección
 radial en el cilindro.
3. El núcleo (35) de la reivindicación 2, en el que el conjunto (112, 114, 120) de combustible nuclear de fluencia
 15 nuclear controlada está situado en un máximo radial del cilindro de manera que ocupa un perímetro más exterior del
 núcleo.
4. El núcleo (35) de cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3, que comprende además:
- 20 una cubierta del núcleo que rodea los conjuntos de combustible nuclear y el conjunto (112, 114, 120) nuclear de
 fluencia controlada, en el que el perímetro más exterior del núcleo (35) está dirigido hacia la cubierta del núcleo
 sin el conjunto de combustible nuclear intermedio.
5. El núcleo (35) de cualquier reivindicación anterior, en el que la pluralidad de estructuras (112, 114, 120) de control
 de fluencia comprende un material que tiene una sección transversal de absorción de neutrones térmicos de al
 menos 2 barns.
6. El núcleo (35) de la reivindicación 5, en el que el material es una aleación que contiene boro, hierro, hafnio,
 25 cadmio, gadolinio, o combinaciones de cualquiera de los mismos.
7. El núcleo (35) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que,
 el canal (112) de apantallamiento es un canal de combustible nuclear que rodea las barras de combustible en el
 conjunto de combustible nuclear de fluencia controlada,
 la cortina (120) de placa está unida a una cara de un canal del conjunto de combustible nuclear de fluencia
 30 controlada, y
 la barra (114) de apantallamiento define una cavidad interna, sellada que carece de combustible nuclear.
8. El núcleo de la reivindicación 7, en el que la barra (114) de apantallamiento es un miembro del grupo que incluye
 una barra segmentada que aloja una diana de irradiación no combustible, una barra vacía, y una barra sólida que no
 tiene cavidad interna.
- 35

FIG. 1

(Técnica Relacionada)



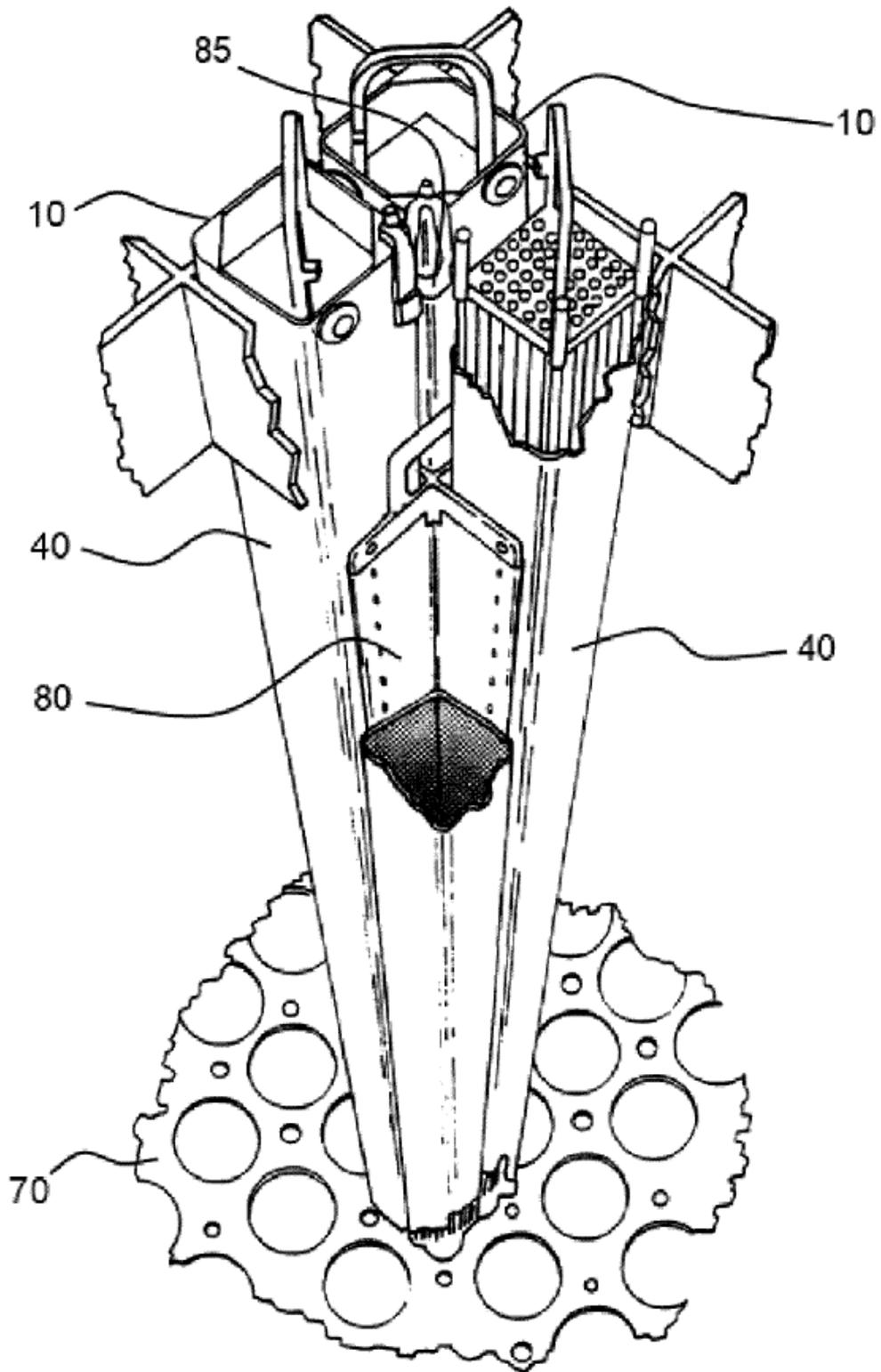
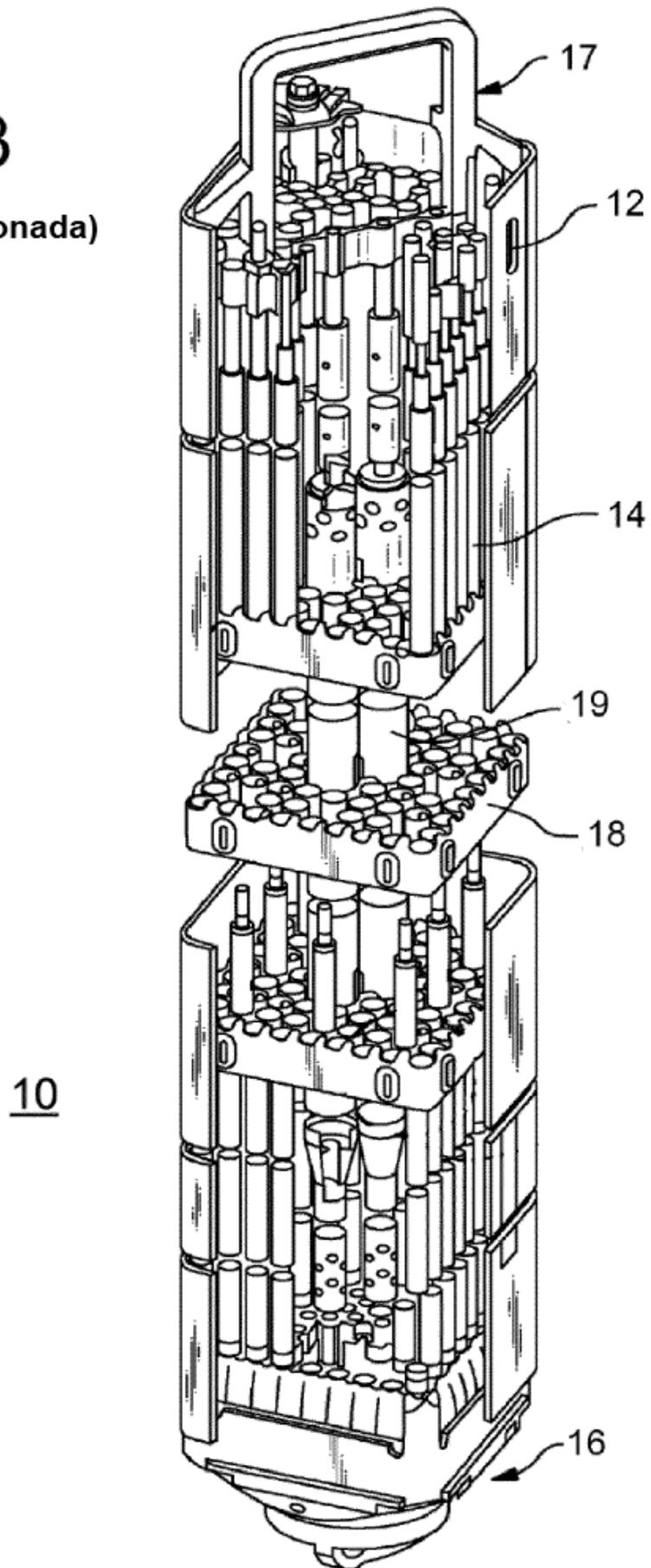


FIG. 2

(Técnica Relacionada)

FIG. 3
(Técnica Relacionada)



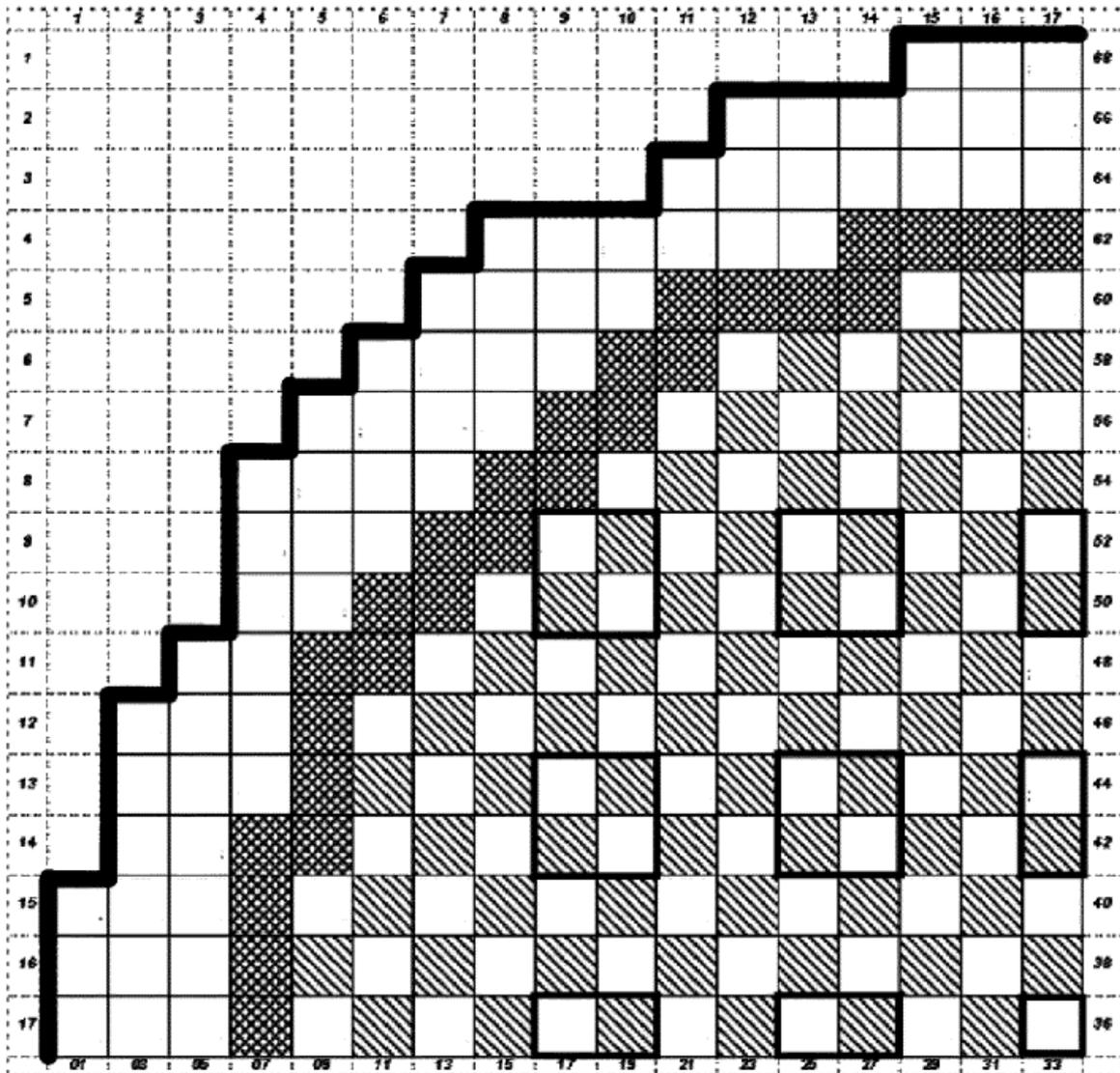


FIG. 4

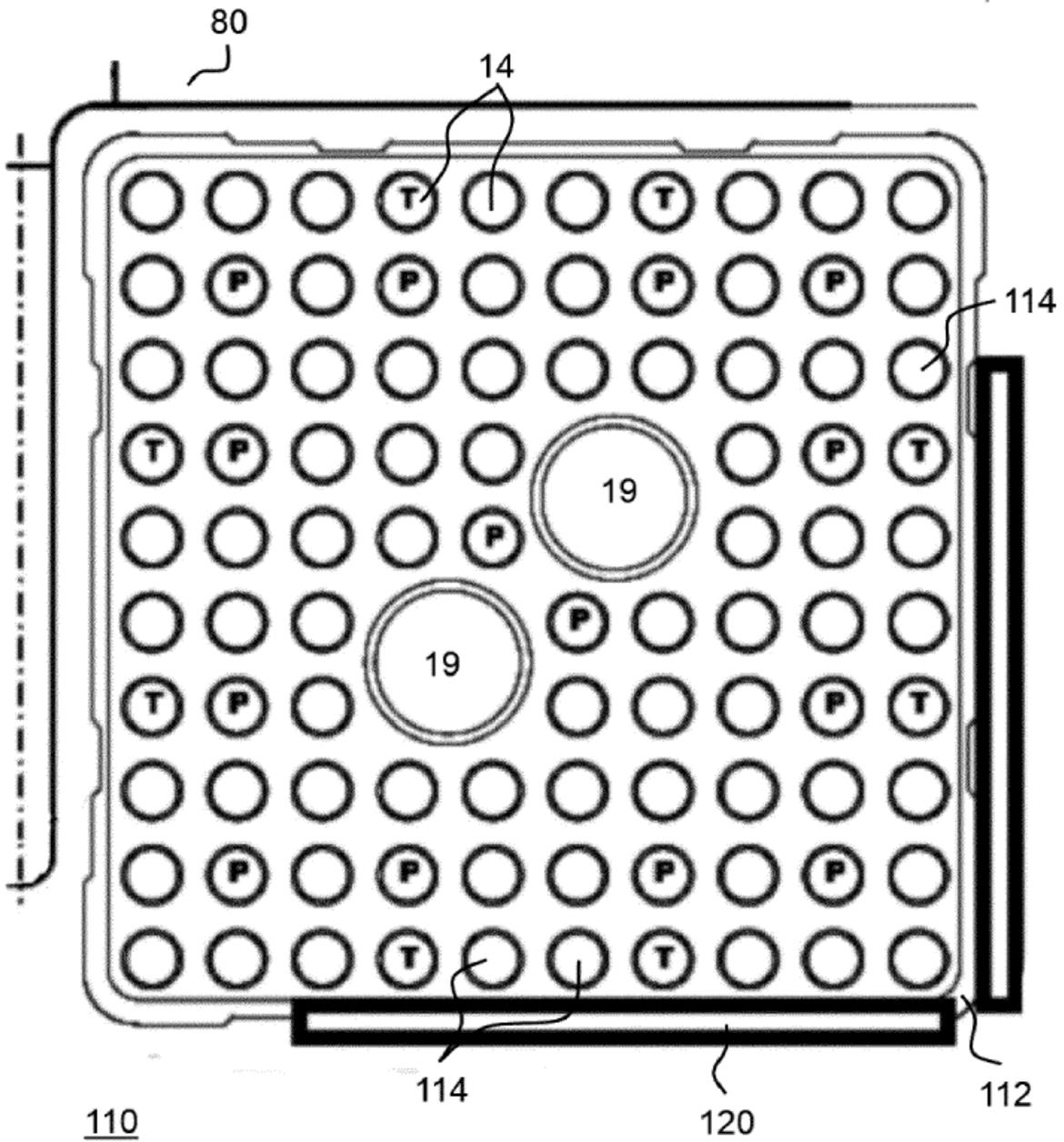


FIG. 5