

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 799 310**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/34** (2006.01)  
**B23K 1/00** (2006.01)  
**B23K 31/02** (2006.01)  
**G21C 21/00** (2006.01)  
**G21C 3/32** (2006.01)  
**G21C 3/33** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.08.2014 PCT/US2014/051197**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.04.2015 WO15050636**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.08.2014 E 14850753 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3053169**

54 Título: **Rejilla de conjunto de combustible nuclear con resistencia a altas temperaturas, resistente a la corrosión, y con tolerancia a accidentes**

30 Prioridad:

**04.10.2013 US 201314046012**

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

**16.12.2020**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC  
(100.0%)  
1000 Westinghouse Drive, Suite 141  
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

**XU, PENG y  
LAHODA, EDWARD J.**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 799 310 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

Rejilla de conjunto de combustible nuclear con resistencia a altas temperaturas, resistente a la corrosión, y con tolerancia a accidentes

### Antecedentes

#### 5 **1. Campo**

Esta invención se refiere en general a conjuntos de combustible de reactores nucleares y más en particular a conjuntos de combustible de reactores nucleares que emplean un espaciador o mezclador o rejilla de soporte construidos a partir de una composición resistente a altas temperaturas, resistente a la corrosión y tolerante a accidentes, y a procedimientos de fabricación del espaciador o mezclador o rejilla de soporte.

#### 10 **2. Descripción de la técnica relacionada**

En la mayoría de los reactores nucleares de agua a presión (PWR), reactores de agua en ebullición (BWR) y reactores de agua pesada (HWR), denominados colectivamente en la presente memoria reactores de agua, el núcleo del reactor está compuesto por un gran número de conjuntos de combustible alargados que generan la potencia reactiva del reactor. Estos conjuntos de combustible típicamente incluyen una pluralidad de barras de combustible sostenidas en un conjunto organizado por una pluralidad de rejillas espaciadas axialmente a lo largo de la longitud del conjunto de combustible y sujetadas a una pluralidad de tubos de dedal alargados u otra estructura de soporte del conjunto de combustible.

En particular es proporcionada una descripción de una estructura PWR, sin embargo, se entiende que la invención es aplicable a reactores de agua en general.

20 Los tubos de dedal típicamente reciben barras de control o instrumentación. Las boquillas superiores e inferiores están en los extremos opuestos del conjunto de combustible y están fijadas a los extremos de los tubos de dedal que se extienden ligeramente por encima y por debajo de los extremos de las barras de combustible.

25 Las rejillas, como es conocido en la técnica correspondiente, son usadas para mantener con precisión el espacio y soporte entre las barras de combustible en el núcleo del reactor, proporcionar soporte lateral a las barras de combustible, e inducir la mezcla del refrigerante. Un tipo de diseño de rejilla convencional incluye una pluralidad de correas intercaladas que en conjunto forman una configuración de caja de huevo que tiene una pluralidad de celdas aproximadamente cuadradas que individualmente aceptan las barras de combustible. Dependiendo de la configuración de los tubos de dedal, los tubos de dedal pueden ser recibidos en celdas que son de tamaño igual a las que reciben las barras de combustible, o en celdas de dedal relativamente más grandes definidas en las correas intercaladas. Las correas intercaladas proporcionan puntos de sujeción a los tubos de dedal, lo que permite colocar las rejillas en lugares espaciados a lo largo de la longitud del conjunto de combustible.

35 Las correas están configuradas de tal manera que las celdas a través de las cuales pasan las barras de combustible incluyan cada una uno o más resortes relativamente compatibles y una pluralidad de hoyuelos relativamente rígidos que cooperan para formar la característica de soporte de las barras de combustible de la rejilla. Las correas exteriores de la rejilla están unidas y encierran periféricamente las correas interiores de la rejilla para impartir fuerza y rigidez a la rejilla y definir las celdas de barras de combustible individuales alrededor del perímetro de la rejilla. Las correas interiores típicamente están soldadas o unidas por soldadura fuerte en cada intersección y las correas interiores también están soldadas o unidas por soldadura fuerte a las correas periféricas o exteriores que definen el perímetro exterior del conjunto.

40 En el nivel de celda individual, el soporte de las barras de combustible es normalmente proporcionado por la combinación de hoyuelos de soporte rígido y resortes flexibles como es mencionado anteriormente. Existen muchas variaciones de la geometría de soporte de los hoyuelos de resorte que han sido usados o son usados actualmente, incluidos los resortes diagonales, resortes en forma de "I", resortes en voladizo, hoyuelos horizontales y verticales, etc. El número de resortes por celda también varía. La disposición típica es de dos resortes y cuatro hoyuelos por celda. La geometría de los hoyuelos y los resortes debe ser determinada cuidadosamente para proporcionar un soporte adecuado de la barra durante la vida útil del conjunto.

45 Durante la irradiación, la fuerza inicial del resorte se relaja más o menos rápidamente, dependiendo del material del resorte y el entorno de la irradiación. El diámetro del revestimiento también cambia como resultado de la muy alta presión del refrigerante y las temperaturas de funcionamiento y los gránulos de combustible dentro de la barra también cambian su diámetro por densificación e hinchazón. El diámetro exterior del revestimiento también aumenta, debido a la formación de una capa de óxido. Como resultado de estos cambios dimensionales y de propiedades del material, mantener un soporte adecuado de la barra a lo largo de la vida útil del conjunto de combustible es muy difícil.

50 Bajo el efecto del flujo axial y el flujo cruzado inducido por los gradientes térmicos y de presión dentro del reactor y otras perturbaciones del flujo, tal como las ondas estacionarias y los remolinos, las barras de combustible, que son cuerpos delgados, están vibrando continuamente con amplitudes relativamente pequeñas. Si la barra no está bien

apoyada, esta amplitud de vibración muy pequeña puede dar lugar a un movimiento relativo entre los puntos de soporte y el revestimiento. Si la presión ejercida por la barra deslizante sobre las superficies de soporte relativamente pequeñas del hoyuelo y la rejilla es lo suficientemente alta, la pequeña capa de corrosión de la superficie del revestimiento puede ser eliminada por abrasión, exponiendo el metal base al refrigerante. Cuando es formada una nueva capa de corrosión en la superficie del revestimiento recién expuesta, también es eliminada por abrasión hasta que finalmente la pared de la barra es perforada. Este fenómeno es conocido como frotamiento por corrosión y en el año 2006 fue la causa principal de fallos de combustible en los reactores PWR.

Las rejillas de soporte también proporcionan otra función importante en el conjunto del combustible, la de mezclar el refrigerante para disminuir la temperatura máxima del mismo. Dado que el calor generado por cada barra de combustible no es uniforme, hay gradientes térmicos en el refrigerante. Un parámetro importante en el diseño de los conjuntos de combustible es mantener la transferencia eficiente de calor de las barras de combustible al refrigerante. Cuanto mayor sea la cantidad de calor extraído por unidad de tiempo, mayor será la potencia generada. A temperaturas del refrigerante suficientemente altas, la tasa de calor que puede ser eliminada por unidad de superficie de revestimiento en un tiempo determinado disminuye abruptamente de manera significativa. Este fenómeno es conocido como desviación de la ebullición del nucleado o DNB. Si dentro de los parámetros de funcionamiento del reactor, la temperatura del refrigerante alcanzara el punto de DNB, la temperatura de la superficie de revestimiento aumentaría rápidamente para evacuar el calor generado en el interior de la barra de combustible y la rápida oxidación del revestimiento llevaría a su fallo. Es evidente que hay que evitar la DNB para evitar los fallos de la barra de combustible. Dado que la DNB, si es producida, tiene lugar en el punto en que el refrigerante se encuentra a su máxima temperatura, se deduce que la disminución de la temperatura máxima del refrigerante mediante la mezcla de refrigerantes dentro del conjunto permite la generación de mayores cantidades de energía sin alcanzar las condiciones de la DNB. Normalmente, la mejora de la mezcla es lograda mediante el uso de paletas de mezcla en el lado de flujo descendente de la estructura de la rejilla. La eficacia de la mezcla depende de la forma, el tamaño y la ubicación de las paletas de mezcla con relación a la barra de combustible.

Otras funciones importantes de la rejilla son la capacidad de sostener la manipulación y el funcionamiento normal en las cargas previstas en caso de accidente sin perder la función y evitar "puntos calientes" en las barras de combustible debido a la formación de bolsas de vapor entre las barras de combustible y los puntos de soporte, lo que puede ocurrir cuando no se dispone localmente de suficiente refrigerante para evacuar el calor generado en la barra de combustible. Las bolsas de vapor provocan el sobrecalentamiento de la barra de combustible hasta el punto de fallo por la rápida corrosión ubicada del revestimiento.

Las rejillas, correas de rejilla y mezcladores de flujo integral, por ejemplo, paletas de mezcla, típicamente han sido construidas a partir de aleación de circonio porque estos materiales exhiben una baja sección transversal de adsorción de neutrones y propiedades mecánicas y químicas adecuadas. De manera similar, los materiales de revestimiento de combustible también han sido construidos a partir de aleación de circonio. Sin embargo, se están considerando materiales alternativos de revestimiento de combustible para el diseño y el funcionamiento de futuros reactores nucleares. Tales materiales nuevos y diferentes incluyen materiales composite de matriz cerámica de carburo de silicio (SiC), que demuestran propiedades que pueden proporcionar un mejor margen de seguridad y tolerancia a los accidentes. Sin embargo, los beneficios de la aplicación de nuevos materiales de revestimiento de combustible, tal como SiC, pueden verse compensados porque las rejillas, correas y/o paletas de mezcla del interior del núcleo contienen una cantidad significativa de circonio. Por lo tanto, es conveniente sustituir las rejillas, correas y paletas de mezcla que contienen circonio por otros materiales que tengan una mejor estabilidad de estructura, sean más resistentes, y tengan resistencia a oxidación a temperaturas superiores a las del funcionamiento normal y a accidentes relacionados con el diseño de un reactor nuclear. El documento US 6 226 342 B1 generalmente desvela un conjunto de combustible que comprende una pluralidad de elementos alargados llenados con combustible nuclear y al menos un componente para retener los elementos alargados, en el que el componente de retención está total o parcialmente fabricado con un material cerámico.

El documento US 5 026 517 A desvela un revestimiento dispuesto en las superficies de los componentes metálicos de una central nuclear, tal como tubos de revestimiento de barras de combustible o rejillas espaciadoras. El revestimiento está formado por carburo de titanio, nitruro de titanio, nitruro de circonio, carburo de cromo, nitruro de vanadio y aluminio titanio, nitruro de tántalo, carburo de circonio o carburo de tungsteno.

El documento WO 2011/042 406 A1 desvela un cuerpo para un conjunto de combustible nuclear que tiene un eje longitudinal, e incluye primeros y segundos segmentos tubulares fabricados con un material metálico y que forman los extremos longitudinales del cuerpo del conjunto; un marco fabricado con un material metálico y que conecta los primeros y segundos segmentos, en el que el marco está perforado; y una estructura tubular interior de cerámica dispuesta entre los primeros y segundos segmentos dentro del marco.

Por lo tanto, es deseado proporcionar un material mejorado (por ejemplo, que contenga poco o nada de circonio) que muestre resistencia a altas temperaturas, sea resistente a la corrosión, y muestre tolerancia a accidentes para uso en la construcción de rejillas para los conjuntos de combustible de reactores nucleares.

**Sumario**

Los objetos anteriores son logrados por el conjunto de combustible del reactor nuclear, como es reivindicado en la reivindicación 1, el conjunto de combustible tiene un conjunto paralelo y espaciado de una pluralidad de barras de combustible nuclear alargadas apoyadas entre una boquilla inferior y una boquilla superior y una pluralidad de rejillas espaciadas dispuestas en tándem a lo largo de la longitud axial de las barras de combustible entre la boquilla superior y la boquilla inferior. La pluralidad de rejillas espaciadas o porciones o partes de la misma están construidas a partir de una composición que incluye compuestos ternarios de la fórmula general I:



en los que M es un metal de transición, A es un elemento seleccionado del grupo A de la Tabla Periódica Química, X es seleccionado del grupo que consiste en carbono y nitrógeno, y n es un número entero de 1 a 3.

En ciertas realizaciones, M es seleccionado del grupo que consiste en titanio, circonio y niobio. Además, A puede ser seleccionado del grupo que consiste en aluminio, silicio y estaño.

En ciertas realizaciones, uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I son seleccionados del grupo que consiste en  $Ti_2AlC$ ,  $Ti_3AlC_2$ ,  $Ti_4AlN_3$ ,  $Ti_2SiC$ ,  $Ti_3SiC_2$ ,  $Ti_3SnC_2$ ,  $Zr_2AlC$ ,  $Zr_2TiC$ ,  $Zr_2SnC$ ,  $Nb_2SnC$ ,  $Nb_3SiC_2$ ,  $(Zr_xNb_{1-x})_2AlC$ , en los que x es mayor que cero y menor que 1.

La relación molar del componente M al componente A al componente X de uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I puede ser seleccionada del grupo que consiste en 2:1:1, 3:1:2 y 4:1:3.

Cada uno de los compuestos ternarios de la fórmula general I puede tener una densidad mayor que 85% de su densidad teórica, y preferentemente mayor que 95% de su densidad teórica.

En ciertas realizaciones, una o más de la pluralidad de rejillas espaciadas tiene un patrón estampado en la superficie del material.

Además, una o más de la pluralidad de rejillas espaciadas pueden incluir correas de rejilla, mezcladores de flujo integral y sus combinaciones.

El conjunto de combustible puede ser empleado en un reactor de agua seleccionado del grupo que consiste en un reactor de agua a presión, un reactor de agua en ebullición y un reactor de agua pesada.

En otro aspecto, la invención proporciona un procedimiento de preparación de un artículo como el expuesto en la reivindicación 11 seleccionado del grupo que consiste en una rejilla de soporte, una correa de rejilla y un mezclador de flujo integral para un conjunto de combustible de reactor nuclear que incluye obtener en una composición forma de polvo que incluye uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I:



en los que M es un metal de transición, A es un elemento seleccionado del grupo A de la Tabla Periódica Química, X es seleccionado del grupo que consiste en carbono y nitrógeno, y n es un número entero de 1 a 3, y someter la composición a un proceso seleccionado del grupo que consiste en prensado en caliente uniaxial o isostático, técnicas de fabricación aditivas, sinterización asistida por campo eléctrico y prensado en frío seguido de sinterización convencional.

De acuerdo con la invención, el artículo es preparado al obtener una primera composición de polvo que incluye un compuesto ternario de la fórmula I y una segunda composición de polvo que incluye un segundo compuesto ternario diferente de la fórmula I, depositar una primera porción de la primera composición de polvo sobre un área objetivo, barrer una fuente de energía dirigida que emite un haz sobre una superficie del área objetivo, sinterizar una primera capa de la primera porción de composición de polvo que corresponde a una primera región transversal del artículo, depositar una segunda porción de la segunda composición de polvo sobre la primera capa sinterizada, barrer la fuente de energía dirigida sobre la primera capa sinterizada, sinterizar una segunda capa de la segunda porción de la composición de polvo correspondiente a una segunda región transversal del artículo, unir las primeras y segundas capas durante la sinterización de la segunda capa, y depositar porciones alternadas sucesivas de la primera y la segunda composición de polvo sobre las capas sinterizadas anteriores y sinterizar cada porción sucesiva para producir capas sinterizadas sucesivas unidas en una capa sinterizada anterior y el artículo incluyendo una pluralidad de capas sinterizadas

El procedimiento puede incluir además emplear un archivo CAD tridimensional que es matemáticamente cortado en secciones transversales bidimensionales.

En ciertas realizaciones, el artículo incluye una o más correas de rejilla que están unidas mediante un proceso seleccionado del grupo que consiste en soldadura, soldadura fuerte y fusión. La fusión puede ser realizada mediante un láser o un haz de electrones y los materiales para soldadura fuerte son seleccionados del grupo que consiste en cobre, cobre-cinc, cobre-cinc-níquel, níquel-cromo-fósforo, níquel-plata y aleación de plata.

**Breve descripción de los dibujos**

Una mayor comprensión de la invención puede ser obtenida de la siguiente descripción de las realizaciones preferentes cuando sea considerada en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

- 5 La FIG. 1A es una vista en elevación, parcialmente en sección, de un conjunto de combustible ilustrado en forma acortada verticalmente, con partes separadas para mayor claridad;
- La FIG. 1B es una vista detallada de una porción del conjunto de combustible mostrado en la FIG. 1A;
- La FIG. 2 es una vista en planta de una rejilla de soporte de caja de huevos convencional para su aplicación a un conjunto de combustible PWR tradicional mostrado en la FIG. 1A;
- 10 La FIG. 3 es una vista superior de otro conjunto de marco que muestra las correas "verticales" y "horizontales";
- La FIG. 4 es una vista isométrica del conjunto de marco mostrado en la FIG. 3;
- La FIG. 5 es una vista detallada de una rejilla de soporte de un conjunto de marco que se muestra en la FIG. 3;
- 15 La FIG. 6 es una vista isométrica de un elemento tubular con cuatro porciones de contacto de la barra de combustible;
- La FIG. 7 es una vista isométrica de un elemento tubular con cuatro porciones de contacto de la barra de combustible dispuestas en una celda con una barra de combustible;
- La FIG. 8 es una vista isométrica de un elemento tubular con una sola porción de contacto adyacente a una celda;
- 20 La FIG. 9 es una vista isométrica de un elemento tubular con dos porciones de contacto de la barra de combustible;
- La FIG. 10 es una vista isométrica alternativa de un elemento tubular con dos porciones de contacto de la barra de combustible;
- 25 La FIG. 11 es una vista superior de una porción de un conjunto de marco fabricado con miembros de marco tubulares;
- La FIG. 12 es una vista superior de una porción de un conjunto de marco fabricado con miembros de marco tubulares alineados;
- La FIG. 13 es una vista superior detallada de un miembro tubular en un miembro de marco tubular;
- 30 La FIG. 14 es una vista superior detallada de un conjunto de marco fabricado con miembros de marco helicoidales;
- La FIG. 15 es una vista superior detallada de un miembro tubular que tiene plataformas en las porciones de contacto de la celda;
- La FIG. 16 es una vista superior detallada de un miembro tubular que tiene plataformas en las porciones de contacto de la barra de combustible;
- 35 La FIG. 17 es una vista superior detallada de un miembro tubular que tiene plataformas en la porción de contacto de la celda y en la porción de contacto de la barra de combustible, y con una porción de transición plana;
- La FIG. 18 es una representación esquemática de un aparato de sinterización conocido en la técnica anterior; y
- 40 La FIG. 19 es un esquema que muestra una porción de la acumulación de capas de una parte producida de acuerdo con ciertas realizaciones de la invención.

**Descripción de la realización preferente**

La invención se refiere a compuestos ternarios sinterizados para uso en la construcción de artículos, tal como rejillas o porciones o partes de las rejillas, tal como correas de rejilla y mezcladores de flujo integral, para conjuntos de combustible de reactores nucleares. Históricamente, las rejillas, correas de rejilla y mezcladores de flujo integral son construidos a partir de circonio y/o aleación de circonio. Es un objeto de esta invención reemplazar estos materiales convencionales con composiciones que incluyen uno o más compuestos ternarios sinterizados que tengan una o más propiedades de estabilidad de estructura mejorada, sean resistentes, y tengan resistencia a la oxidación en temperaturas que exceden la operación normal. Está contemplado que las composiciones de acuerdo con la invención estén sustancialmente compuestas con los uno o más compuestos ternarios, sin embargo, las composiciones pueden incluir materiales diferentes de los uno o más compuestos ternarios.

Para facilitar la descripción, la divulgación proporcionada en la presente memoria está dirigida a un diseño de reactor nuclear a presión (PWR), sin embargo, se entiende que la invención es igualmente aplicable a diversos diseños de reactores de agua, incluyendo reactores de agua en ebullición (BWR) y reactores de agua pesada (HWR).

Cuando ocurren Accidentes con Pérdida de Refrigerante (LOCA) la temperatura del revestimiento del combustible puede llegar a ser de hasta 1204,44°C, y la temperatura de las rejillas, correas de las rejillas y mezcladores de flujo integral que están en contacto con las barras de combustible puede ser la misma alta temperatura. En caso de accidentes que no estén relacionados con el diseño, la temperatura del revestimiento y de la rejilla puede ser mayor que 1204,44°C durante un período de tiempo prolongado. Ha sido demostrado que las rejillas, correas de las rejillas y mezcladores de flujo integral fabricados con material convencional, tal como aleación de circonio, pueden tener una oxidación "de fuga" cuando son expuestos a vapor a temperaturas de 1204,44°C o mayores y, como resultado, pierden fuerza e integridad de estructura, y producen gas hidrógeno. Los fallos de las rejillas, correas de las rejillas y mezcladores de flujo integral pueden tener consecuencias más significativas, tal como la pérdida de la geometría refrigerable o incluso la fusión del núcleo.

De este modo, uno de los objetos de la invención es desarrollar artículos, tal como rejillas, correas de rejilla y mezcladores de flujo integral, por ejemplo, paletas de mezcla, para conjuntos de combustible de reactores nucleares construidos con composiciones que contengan compuestos ternarios que demuestren una excelente resistencia a la oxidación y que puedan evitar la oxidación "descontrolada" a temperaturas de LOCA.

La FIG. 1A es una vista en elevación, representada en forma acortada verticalmente, de un conjunto de combustible designado generalmente con el carácter de referencia 110. El conjunto de combustible 110 es el tipo usado en un reactor de agua a presión y tiene un esqueleto estructural que, en su extremo inferior, incluye una boquilla inferior 112. La boquilla inferior 112 soporta el conjunto de combustible 110 sobre una placa central inferior 114 en una región de núcleo del reactor nuclear. Además de la boquilla inferior 112, el esqueleto estructural del conjunto de combustible 110 también incluye una boquilla superior 116 en su extremo superior y diversos tubos guía o de dedal 118 alineados con los tubos guía en las partes internas superiores del reactor. Los tubos guía o de dedal 118 se extienden longitudinalmente entre las boquillas inferiores y superiores 112 y 116 y en los extremos opuestos están rígidamente unidos a estas.

El conjunto de combustible 110 incluye además una pluralidad de rejillas transversales 120 espaciadas axialmente y montadas en los dedales guía 118 y un conjunto organizado de barras de combustible alargadas 122 espaciadas transversalmente y soportadas por las rejillas 120. Una vista en planta de una rejilla convencional 120 sin los dedales guía 118 y las barras de combustible 122 es mostrada en la FIG. 2. Los dedales guía 118 pasan a través de las celdas etiquetadas como 124 y las barras de combustible 122 ocupan las celdas restantes 126, excepto la celda central que está reservada para un dedal de instrumento 138 (mostrado en la FIG. 1A). Como puede ser observado en la FIG. 2, las rejillas 120 están formadas convencionalmente a partir de un conjunto de correas ortogonales 128 y 130 que están intercaladas en un patrón de caja de huevos con la interfaz adyacente de cuatro correas que definen las celdas de soporte aproximadamente cuadradas a través de las cuales las barras de combustible 122 están apoyadas en las celdas 126 en relación transversal y espaciada entre sí. En muchos diseños, los resortes 132 y hoyuelos 134 están estampados en las paredes opuestas de las correas 128 y 130 que forman las celdas de soporte 126. Los resortes y hoyuelos se extienden radialmente en las celdas de soporte y capturan las barras de combustible 122 entre estas; ejerciendo presión sobre el revestimiento de las barras de combustible para mantener las barras en posición. El conjunto ortogonal de correas 128 y 130 está soldado en cada extremo de la correa a una correa periférica 136 para completar la estructura de la rejilla 120. En la realización de la técnica anterior mostrada en la FIG. 2, la correa periférica 136 está formada por cuatro correas separadas soldadas entre sí en las esquinas. También, como es mencionado anteriormente, el conjunto 110, como es mostrado en la FIG. 1A, tiene un tubo de instrumentación 138 ubicado en su centro que se extiende entre y es capturado por las boquillas inferiores y superiores 112 y 116. Con tal disposición de partes, el conjunto de combustible 110 forma una unidad integral capaz de ser manipulada convenientemente sin dañar el conjunto de partes.

Como es mencionado anteriormente, las barras de combustible 122 en su conjunto en el conjunto 110 se mantienen en relación espaciada entre sí por las rejillas 120 espaciadas a lo largo de la longitud del conjunto de combustible. Como es mostrado en la FIG. 1A, cada barra de combustible 122 incluye la pluralidad de gránulos de combustible nuclear 140 y está cerrada en sus extremos opuestos por los tapones de los extremos superiores e inferiores 142 y 144. Comúnmente, un resorte de cámara 150 está dispuesto entre el tapón del extremo superior 142 y las gránulos 140 para mantener los gránulos en una relación apilada apretada dentro de la barra 122. Los gránulos de combustible

140, compuestos por material fisión, son las responsables de crear la potencia reactiva del reactor nuclear. Un moderador/refrigerante líquido, tal como agua o agua que contiene boro y otros aditivos refrigerantes, es bombeado hacia arriba a través de los conjuntos de combustible del núcleo a fin de extraer el calor generado en estos para la producción de trabajo útil. El revestimiento 146 que rodea a los gránulos 140 funciona como una barrera para impedir que los subproductos de la fisión entren en el refrigerante y contaminen aún más el sistema del reactor.

Para controlar el proceso de fisión, un número de barras de control 148 son móviles recíprocamente en los dedales guía 118 situados en posiciones predeterminadas en el conjunto de combustible 110. Las ubicaciones de celda del dedal guía 124 pueden ser específicamente observadas en la FIG. 2, excepto la ubicación central que está ocupada por el tubo de instrumentación 138. Específicamente, el mecanismo de control del conjunto de barras 152, posicionado sobre la boquilla superior 116, soporta una pluralidad de las barras de control 148. El mecanismo de control tiene un miembro de núcleo cilíndrico internamente roscado 154 con una pluralidad de barras o brazos que se extienden radialmente 156 que forman una configuración comúnmente conocida como araña. Cada brazo 156 está interconectado a una barra de control 148 de manera tal que el mecanismo de barra de control 152 sea operable para mover las barras de control verticalmente en los dedales guía 118 para así controlar el proceso de fisión en el conjunto de combustible 110, bajo el poder motriz de un eje de transmisión de barra de control que está acoplado al cubo de barra de control 154, todo en una manera bien conocida.

La FIG. 1B muestra una porción del conjunto de combustible 110 en la FIG. 1A en la que las barras de combustible 122 son mantenidas en relación espaciada entre sí por las rejillas 120. Como es mostrado en la FIG. 1B, las paletas de mezcla 89 están instaladas en una superficie superior de una de la pluralidad de rejillas 120. Las paletas de mezcla 89 crean turbulencias, por ejemplo, en la región 91.

Diversos diseños de rejillas de soporte, espaciadores y mezcladores son conocidos en la técnica. La invención no está limitada por estos diseños particulares y, por lo tanto, la invención es igualmente aplicable a los diversos diseños. Por ejemplo, un diseño alternativo de rejilla de soporte es ilustrado en las FIGS. 3 a 17.

Como es mostrado en las FIGS. 3 y 5, la rejilla de soporte 26 incluye un conjunto de marco 40 y al menos un miembro tubular generalmente cilíndrico 50. El conjunto de marco 40 incluye una pluralidad de celdas 42 definidas por las paredes de celdas 43. Cada celda 42 tiene un ancho como indica la letra "w". En una realización, las celdas 42 y las paredes de celda 43 están formadas por una pluralidad de miembros de correa alargados sustancialmente planos 44 dispuestos en dos conjuntos intercalados, un conjunto vertical 46 y un conjunto horizontal 48. Los miembros de correa 44 en los conjuntos verticales y horizontales 48 de los miembros de correa 44 son generalmente perpendiculares entre sí. Además, los miembros de correa 44 en cada conjunto generalmente están espaciados uniformemente. En esta configuración, los miembros de correa 44 generalmente forman celdas cuadradas 42A. De este modo, cada celda 42A tiene dos ejes diagonales "d1" y "d2", que son perpendiculares entre sí y se extienden a través de las esquinas de la celda 42A, así como dos ejes normales "n1" y "n2", que son perpendiculares entre sí y se extienden a través del centro de la celda 42A y que intersecan perpendicularmente con las paredes de celda 43. Los puntos de la pared de celda 43 por los que pasan los dos ejes normales son el punto más cercano, "cp", entre la pared de celda 43 y el centro de la celda 42. Como es mostrado en la FIG. 4, el conjunto de marco 40 también tiene una altura, indicada por la letra "h", en la que la altura es sustancialmente menor que el ancho o el largo del conjunto de marco 40. Además, el conjunto de marco 40 tiene un lado superior 47 y un lado inferior 49. Es notable que los miembros de correa 44 de la presente invención no incluyan protuberancias, tal como resortes y hoyuelos. La falta de estructuras de soporte adicionales hace que la construcción del conjunto de marco 40 sea muy fácil.

El miembro tubular 50 de la rejilla de soporte 26 es mostrado en las FIGS. 5 y 6. El miembro tubular 50 incluye al menos una porción acanalada helicoidal o la porción de contacto de la barra de combustible 52, una porción de contacto de celda 54, y una porción de transición 56 dispuesta entre estas. Como es mostrado en las FIGS. 5-7, el miembro tubular 50 tiene cuatro porciones de contacto de la barra de combustible 52, que es la realización preferente. Otras configuraciones son discutidas a continuación. La porción de contacto de la celda 54 tiene un diámetro mayor que es generalmente equivalente al ancho de dicha celda y está estructurado para engranar ceñidamente la celda 46. La porción de contacto de la barra de combustible 52 tiene un diámetro menor, siendo generalmente equivalente al dicho diámetro de barra de combustible 28. De este modo, el miembro tubular 50 puede ser colocado en una celda 42 y una barra de combustible 28 puede ser colocada en el miembro tubular 50. En una realización preferente, el miembro tubular 50 está fabricado con un material que tiene un espesor uniforme. De este modo, la porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52 define un pasaje exterior 60 entre el lado exterior del miembro tubular 50 y la pared de celda 43. Además, la porción de contacto de la celda 54, que está espaciada de la barra de combustible 28, define un pasaje interior 62. El agua que fluye a través de los pasajes exteriores o interiores 60, 62 está influenciada por la forma de la porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52, lo que resulta en la mezcla del agua.

El miembro tubular 50 puede ser construido con cualquier número de porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 que pueden tener cualquier grado de inclinación. Por ejemplo, como es mostrado en la FIG. 8, un miembro tubular 50 tiene una sola porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52 que se extiende 360 grados alrededor del miembro tubular 50. Como es mostrado en la FIG. 9, un miembro tubular 50 tiene dos porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 extendiéndose cada una 180 grados alrededor del miembro tubular 50. Como es mostrado en la FIG. 10, un miembro tubular 50 tiene dos porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 extendiéndose cada una 360 grados alrededor del miembro tubular 50. Como ha sido

señalado anteriormente, la FIG. 6 muestra un miembro tubular 50 que tiene cuatro porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 extendiéndose cada una 90 grados sobre el miembro tubular 50. Preferentemente, las porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 están espaciadas uniformemente sobre el miembro tubular 50, pero esto no es necesario.

5 En estos ejemplos ha sido usado un número (N) de porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 y un desplazamiento angular (A) que equivale a 360 grados o un múltiplo de 360 grados. Esta configuración está especialmente adaptada para uso en una celda cuadrada 42A. Es decir, la porción de contacto de la celda 54 sólo es puesta en contacto con la pared de la celda 43 en el punto más cercano de la pared de celda 43. En otros puntos, por ejemplo, la esquina de la celda 42A, el miembro tubular de mayor diámetro 50, es decir, la porción de contacto de la celda 54, no entra en contacto con la pared de la celda 43. De este modo, como es mostrado mejor en la FIG. 7, en la que hay cuatro porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52, espaciadas uniformemente, extendiéndose cada una 90 grados alrededor del miembro tubular 50, hay cuatro porciones correspondientes de contacto de la celda 54, cada una de estas dispuesta entre las porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52. Para asegurar la mayor cantidad de área de superficie de contacto entre el miembro tubular 50 y la pared de la celda 43, el miembro tubular 50 está dispuesto con cada porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52 generalmente alineada con un eje diagonal en el lado superior 47 de la celda y alineada con un eje diagonal diferente en el lado inferior 49 de la celda. En esta orientación, la porción de contacto de la celda 54 está alineada con un punto más cercano de la pared de la celda 43 en el lado superior 47 y en el lado inferior 49. Se puede hacer una configuración similar con las celdas 42 de cualquier forma. Es decir, el número (N) de porciones helicoidales de contacto de la barra de combustible 52 es preferentemente igual al número de lados (S) de la celda 42, y el desplazamiento angular (A) es preferentemente de 360 grados/S. De este modo, el miembro tubular puede ser posicionado con cada porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52 generalmente alineado con un eje que pasa por la esquina de la celda 42 en el lado superior 47 de la celda y alineado con un eje diferente que pasa por la esquina de la celda 42 en el lado inferior 49 de la celda. De este modo, la porción de contacto de la celda 54 está alineada con el punto más cercano de la pared de la celda 43 en el lado superior 47 y en el lado inferior 49.

En otra realización, el conjunto de marco 40 incluye una pluralidad de celdas cilíndricas 42B definidas por una pluralidad de miembros de marco tubular conectados 70. Como es mostrado en la FIG. 11, el conjunto de marco 40 puede tener una pluralidad de miembros de marco tubular densamente empaquetados 70, sin embargo, como es mostrado en la FIG. 12, un patrón de miembros de marco tubular alineados 70 es preferente. Es decir, los miembros de marco tubular 70 están acoplados entre sí a intervalos de 90 grados sobre el perímetro de cada miembro del marco tubular 70. El miembro tubular 50 está dispuesto dentro de las celdas cilíndricas 42B. Como es mostrado en la FIG. 13, la combinación del miembro tubular 50 y la celda cilíndrica 42B crea nuevamente un pasaje interior 62 entre la barra de combustible 28 y el miembro tubular 50 y un pasaje exterior 60 entre el miembro tubular 50 y el miembro de marco tubular 70. La celda cilíndrica 42B del miembro de marco tubular 70 tiene la ventaja adicional de que toda la porción de contacto de la celda 54 colinda con la pared de la celda 43. Es decir, el diámetro de la celda cilíndrica 42B es igual al ancho de la celda, que también es igual que el punto más cercano, y, como tal, la porción de contacto de la celda 54 engrana la pared de la celda 43 a lo largo de la totalidad de la altura de la pared de la celda 43. Esto es diferente a una celda cuadrada 42A en la que la porción de contacto de la celda 54 no contacta con la pared de la celda 43 en las esquinas.

40 En otra realización, mostrada en la FIG. 14, las funciones del miembro tubular 50 y el miembro de estructura tubular 70 han sido combinadas en un miembro de marco helicoidal 80. Es decir, el conjunto de marco 40 incluye una pluralidad de miembros de marco helicoidal 81 dispuestos en un patrón de matriz. El miembro de marco helicoidal 80, como el miembro tubular 50, incluye al menos una porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52, sin embargo, en lugar de una porción de contacto de celda 54, el lado exterior del miembro de marco helicoidal 80 es una porción de contacto 55 estructurada para ser directamente acoplada a la porción de contacto 55 de un miembro de marco helicoidal adyacente 80. Como en la realización del miembro de marco tubular 70 del conjunto de marco 40, los miembros de marco helicoidal 80 están acoplados entre sí a intervalos de 90 grados sobre el perímetro de cada miembro de marco helicoidal 80. Además, en esta realización el conjunto de marco 40 preferentemente incluye una pluralidad de correas exteriores 82 estructuradas para extenderse sobre el perímetro de la pluralidad de miembros de marco helicoidal 81. Las correas exteriores 82 están acopladas a la porción de contacto 55 de los miembros de marco helicoidal 80 dispuestos en el borde exterior de la pluralidad de miembros de marco helicoidal 81. Una barra de combustible 28 está dispuesta a través de al menos un miembro de marco helicoidal 80.

Como es mostrado mejor en la FIG. 13, observado como una sección transversal, los componentes de miembro tubular 50, es decir, la porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52, la porción de contacto de la celda 54, y la porción de transición 56, preferentemente, tienen forma de curvas suaves. Esta configuración da al miembro tubular 50 una calidad comprimible, como un resorte. Sin embargo, como es mostrado en la FIG. 15, la porción de contacto de la celda 54 puede incluir una longitud plana extendida o una plataforma 90. La plataforma 90 está estructurada para proporcionar una mayor área de superficie que engrana la pared de la celda 43. La mayor longitud de la plataforma 90 requiere que la porción de transición 56 tenga una curva pronunciada. De manera similar, como es mostrado en la FIG. 16, la porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52 puede incluir una plataforma cóncava 92 adaptada para extenderse radialmente alrededor de la barra de combustible 28. Como antes, la mayor longitud de la plataforma cóncava 92 requiere que la porción de transición 56 tenga una curva pronunciada. Un

miembro tubular 50 también puede incluir tanto una plataforma 90 en la porción de contacto de la celda 54 como una plataforma cóncava 92 en la porción helicoidal de contacto de la barra de combustible 52. Finalmente, el miembro tubular 50 también puede ser construido con una porción de transición generalmente plana 56 con extremos angulados 94. Como es mostrado en la FIG. 17, en esta realización la porción de transición 56 es generalmente plana en una vista transversal superior. Se entiende que, debido a la naturaleza helicoidal de la porción de contacto de la barra de combustible 52, la porción de transición 56 no es plana en la dirección de la altura del conjunto de marco 40.

Las composiciones de la invención incluyen uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I:



en los que M es un metal de transición, A es un elemento seleccionado del grupo A de la Tabla Periódica Química, X es carbono (C) o nitrógeno (N), y n es un entero de 1 a 3. Estos compuestos ternarios son denominados compuestos de fase MAX. En ciertas realizaciones, M incluye titanio (Ti), circonio (Zr), niobio (Nb) y sus mezclas y combinaciones. Además, en ciertas realizaciones, A incluye aluminio (Al), silicio (Si), estaño (Sn) y sus mezclas y combinaciones. De este modo, en ciertas realizaciones, los compuestos ternarios de acuerdo con la invención incluyen  $Ti_2AlC$ ,  $Ti_3AlC_2$ ,  $Ti_4AlN_3$ ,  $Ti_2SiC$ ,  $Ti_3SiC_2$ ,  $Ti_3SnC_2$ ,  $Zr_2AlC$ ,  $Zr_2TiC$ ,  $Zr_2SnC$ ,  $Nb_2SnC$ ,  $Nb_3SiC_2$ ,  $(Zr_xNb_{1-x})_2AlC$ , en los que x es mayor que cero y menor que 1 y sus mezclas y combinaciones.

Los compuestos adecuados de la fórmula general I para uso en la invención tienen una densidad mayor que 85% de su densidad teórica, y preferentemente una densidad mayor que 95% de su densidad teórica. Además, en ciertas realizaciones la estequiometría de los compuestos ternarios es tal que la relación molar del componente M al componente A al componente X (M:A:X) es 2:1:1 o 2:1:2 o 4:1:3. Es decir, n es igual a 1, 2 o 3.

En ciertas realizaciones, las composiciones de la invención pueden incluir carburo (en las que X es carbono), nitruro (en las que X es nitrógeno) o una mezcla o combinación de carburo y nitruro (en la que X es una mezcla de combinación de carbono y nitrógeno).

Los compuestos ternarios de acuerdo con la fórmula general I muestran una resistencia material (por ejemplo, módulos de Young) similar a la resistencia material de las aleaciones de circonio y pueden mantener la resistencia a temperaturas elevadas. Por ejemplo, el límite de elasticidad de  $Ti_2AlC$  es de aproximadamente 700 MPa, que es aproximadamente la mitad del límite de elasticidad de Inconel 718 pero el doble del límite de elasticidad de las típicas aleaciones de circonio con 1% de Sn y 0,7% de Nb. Además, los compuestos ternarios adecuados de acuerdo con la invención demuestran al menos una de las siguientes propiedades: ductilidad adecuada, elasticidad y sección transversal de baja adsorción de neutrones. Además, el uso de los compuestos ternarios de acuerdo con la invención da lugar a que se produzca menos hidrógeno y, por lo tanto, los compuestos ternarios y los artículos construidos con estos no son tan susceptibles a la fragilización inducida por el hidrógeno como la aleación de circonio. Además, se contempla que la máxima tensión o alargamiento de los compuestos ternarios sea incrementada debido a la presencia de los elementos M y A en la fórmula general I, que forman intermetálicos en la matriz.

En el núcleo de un reactor nuclear, una combinación de revestimientos construida a partir de SiC y artículos, por ejemplo, rejillas, correas de rejilla y mezcladores de flujo integral, construidos a partir de compuestos de fase MAX, permite una eliminación al menos sustancial, y en algunos casos completa, del circonio del núcleo, con lo que aumenta aún más la tolerancia a accidentes del combustible nuclear.

Los artículos para conjuntos de combustible de reactores nucleares, tal como rejillas, correas de rejilla y paletas de mezcla, construidos a partir de composiciones que contienen compuestos ternarios de acuerdo con la invención, pueden ser fabricados usando técnicas convencionales conocidas en la técnica. Los ejemplos no limitativos de tales técnicas incluyen prensado en caliente uniaxial o isostático, técnicas de fabricación aditiva, sinterización asistida por campo eléctrico y prensado en frío seguido por sinterización convencional.

En ciertas realizaciones, por ejemplo, los artículos pueden ser fabricados usando sinterización convencional sin presión, empleando un aparato que incluye un láser u otra fuente de energía dirigida que puede ser seleccionado para emitir un rayo en un área objetivo, un sistema dispensador de polvo para depositar polvo en el área objetivo y un mecanismo de control de láser para mover el objetivo del rayo láser y modular el láser para sinterizar selectivamente una capa de polvo dispensado en el área objetivo. El mecanismo de control funciona para sinterizar selectivamente sólo el polvo dispuesto dentro de límites definidos para producir la capa deseada del artículo. El mecanismo de control opera el láser para sinterizar selectivamente capas secuenciales de polvo, produciendo un artículo completo que incluye una pluralidad de capas sinterizadas en conjunto.

Los compuestos ternarios pueden ser pulverizados de manera convencional, por ejemplo, mediante trituración mecánica.

Preferentemente, el mecanismo de control incluye un ordenador, por ejemplo, un sistema CAD/CAM, para determinar los límites definidos para cada capa. Es decir, dadas las dimensiones generales y la configuración del artículo, por ejemplo, rejilla, correa de rejilla o mezclador de flujo integral, el ordenador determina los límites definidos para cada capa y opera el mecanismo de control del láser de acuerdo con los límites definidos. Alternativamente, el ordenador puede ser programado inicialmente con los límites definidos de cada capa. Los aparatos y procedimientos de

sinterización son generalmente conocidos en la técnica. Un aparato y procedimiento adecuado para uso en la invención es desvelado en la Patente de Estados Unidos 4.863.538, que está incorporada en la presente memoria en su totalidad por referencia.

5 De acuerdo con ciertas realizaciones de la invención, son usados uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I (por ejemplo, en capas) en un proceso de sinterización para producir un artículo, por ejemplo, rejilla, correa de rejilla o mezclador de flujo integral. Uno o más compuestos ternarios son presentados en forma de polvo y depositados en el área objetivo como ha sido descrito anteriormente. El proceso es controlado de manera que el láser sinteriza selectivamente una capa que consiste en un primer polvo de compuesto ternario (de la fórmula general I) y el láser luego sinteriza selectivamente capas secuenciales de polvo, produciendo un artículo completo que comprende  
10 una pluralidad de capas sinterizadas en conjunto. Cada una de las capas secuenciales puede incluir capas alternadas de un primer compuesto ternario en polvo y un segundo compuesto ternario en polvo diferente (de la fórmula general I).

Pueden ser mezclados o combinados materiales o polvos adicionales con uno o más compuestos ternarios para formar composiciones de acuerdo con la invención.

15 En una realización, puede ser fabricada una rejilla mediante el uso de rayos láser o de electrones para la sinterización, en la que el proceso es iniciado con un archivo CAD 3D que es cortado matemáticamente en secciones transversales 2D y la rejilla es construida de una capa a la vez hasta que es completada. De este modo, la rejilla puede ser construida en un proceso de capa por capa. Es decir, la rejilla puede ser considerada una pluralidad de regiones de secciones transversales discretas que concluyen de manera acumulativa la configuración tridimensional de la rejilla. Cada región  
20 transversal separada tiene límites bidimensionales definidos.

La FIG. 18 ilustra a grandes rasgos un aparato de sinterización 210 que incluye un láser 212, un dispensador de polvo 214 y un medio de control láser 216. Más detalladamente, el dispensador de polvo 214 incluye una tolva 220 para recibir el polvo 222 y que tiene una salida 224. La salida 224 está orientada para dispensar el polvo a un área objetivo 226, que en la FIG. 18 está definida generalmente por la estructura de confinamiento 228. Está contemplado y se  
25 entiende que existen muchas alternativas para dispensar el polvo 222. De acuerdo con la invención, el polvo 222 incluye una combinación de uno, dos o más carburos y/o nitruros de la fórmula general I.

Los componentes del láser 212 son mostrados de forma ligeramente esquemática en la FIG. 18 e incluyen una cabeza de láser 230, un obturador de seguridad 232, y un conjunto de espejo frontal 234. El tipo de láser usado depende de muchos factores, y en particular del tipo de polvo 222 que se va a sinterizar. Generalmente, la salida del rayo láser del  
30 láser 212 tiene una longitud de onda cercana a la infrarroja. En modo pulsado o continuo, el láser 212 puede ser modulado para producir selectivamente un rayo láser que se desplaza generalmente a lo largo de la trayectoria que muestran las flechas de la FIG. 18.

Para enfocar el rayo láser, una lente divergente 236 y una lente convergente 238 están dispuestas a lo largo de la trayectoria del rayo láser como es mostrado en la FIG. 18. La lente divergente 236 colocada entre el láser 212 y la  
35 lente convergente 238 crea un punto focal virtual entre la lente divergente 236 y el láser 212. La variación de la distancia entre la lente convergente 238 y el punto focal virtual, permite el control del punto focal real a lo largo de la trayectoria de desplazamiento del rayo láser en el lado de la lente convergente 238 alejada del láser 212. Ha habido muchos avances en el campo de la óptica, y es reconocido que existen numerosas alternativas para enfocar eficientemente el rayo láser en una ubicación conocida.

40 Los medios de control de láser 216 incluyen el ordenador 240 y el sistema de barrido 242. En una realización preferente, el ordenador 240 incluye un microprocesador para controlar el láser 212 y un sistema CAD/CAM para generar los datos. En la realización ilustrada en la FIG. 18, es usado un ordenador personal.

Como es mostrado en la FIG. 18, el sistema de barrido 242 incluye un prisma 244 para redirigir la trayectoria de desplazamiento del rayo láser. El sistema de barrido 242 también incluye un par de espejos 246, 247 accionados por  
45 los respectivos galvanómetros 248, 249. Un conductor generador de funciones 250 controla el movimiento del galvanómetro 248 para que el blanco del rayo láser (representado por las flechas de la FIG. 18) pueda ser controlado en el área objetivo 226. El conductor 250 está acoplado operativamente al ordenador 240 como es mostrado en la FIG. 18. Se apreciará que existen procedimientos de barrido alternativos para ser usados como el sistema de barrido 242, incluyendo dispositivos de barrido acústicos-ópticos, espejos poligonales giratorios, y dispositivos de barrido de  
50 espejos resonantes.

En la FIG. 19, una porción de 252 está ilustrada esquemáticamente y muestra cuatro capas 254-257. El blanco del rayo láser 212 está dirigido en un patrón de barrido de trama como en 266. Como es usado en la presente memoria, "blanco" es usado como un término neutro que indica la dirección, pero no implica el estado de modulación del láser  
55 212. De acuerdo con la invención, la capa 254 puede incluir un primer polvo compuesto ternario (de la fórmula general I), la capa 255 puede incluir un segundo polvo compuesto ternario diferente (de la fórmula general I), la capa 256 puede incluir el primer polvo compuesto y la capa 257 puede incluir el segundo polvo compuesto ternario diferente.

- Una primera porción de polvo 222 está depositada en el área objetivo 226 y es sinterizada selectivamente por el rayo láser 212 para producir una primera capa sinterizada 254 (FIG. 19). La primera capa sinterizada 254 corresponde a una primera región transversal de la rejilla deseada. El rayo láser sinteriza selectivamente sólo el polvo depositado 222 dentro de los confines de los límites definidos. Este proceso es repetido capa por capa con las capas individuales sinterizadas en conjunto para producir una rejilla cohesiva, por ejemplo, la parte 252 de la FIG. 19.
- 5 En general, las dimensiones del artículo pueden variar. En ciertas realizaciones, el espesor (por ejemplo, las capas sucesivas en el proceso de sinterización) de la rejilla o correa de rejilla puede estar entre aproximadamente 0,38 mm y aproximadamente 0,89 mm. La altura puede estar entre aproximadamente 11,43 mm y aproximadamente 57,15 mm. El ancho puede estar entre aproximadamente 175 mm y aproximadamente 381 mm.
- 10 En ciertas realizaciones, las rejillas o correas de rejilla fabricadas de acuerdo con la invención pueden estar estampadas usando matrices personalizadas para crear patrones que pueden ser usados para ensamblar las rejillas de combustible. El estampado puede ser realizado usando aparatos, técnicas y procedimientos convencionales conocidos en la técnica.
- 15 Además, las correas de rejilla producidas de acuerdo con la invención pueden ser unidas por soldadura o soldadura fuerte usando aparatos, técnicas y procedimientos convencionales conocidos los expertos en la técnica. Los materiales de soldadura fuerte incluyen, pero no están limitados a, cobre, cobre-cinc, cobre-cinc-níquel, níquel-cromo-fósforo, níquel-plata, y aleación de plata. Además, pueden ser usados rayos láser o de electrones para fusionar en conjunto las correas de rejilla.
- 20 Si bien han sido descritas en detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán que pueden ser desarrolladas diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la divulgación. En consecuencia, las realizaciones particulares desveladas tienen por objeto ser únicamente ilustrativas y no limitar el ámbito de la invención otorgado por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de combustible (110) para un reactor nuclear que comprende:

5 un conjunto paralelo y espaciado de una pluralidad de barras de combustible nuclear alargadas (122) que tienen una longitud axial;

una boquilla inferior (112);

una boquilla superior (116),

en el que la pluralidad de barras de combustible nuclear alargadas están apoyadas entre la boquilla inferior y la boquilla superior; y

10 una pluralidad de rejillas espaciadas (120) dispuestas en tándem a lo largo de la longitud axial de las barras de combustible (122) entre la boquilla superior (116) y la boquilla inferior (112), la pluralidad de rejillas espaciadas (120) o porciones o partes de las mismas construidas a partir de una composición, que comprende:

una pluralidad de capas sinterizadas que comprenden uno o más compuestos ternarios de la fórmula general:



en los que M es un metal de transición, A es un elemento seleccionado del grupo A de la Tabla Periódica Química, X es seleccionado del grupo que consiste en carbono y nitrógeno, y n es un número entero de 1 a 3, y

20 en los que una primera capa sinterizada de la pluralidad de capas sinterizadas comprende uno o más compuestos ternarios diferentes de la fórmula general I, en comparación con una segunda capa sinterizada de la pluralidad de capas sinterizadas.

2. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que M es seleccionado del grupo que consiste en titanio, circonio y niobio.

3. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que A es seleccionado del grupo que consiste en aluminio, silicio y estaño.

4. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que los uno o más compuestos ternarios son seleccionados del grupo que consiste en  $Ti_2AlC$ ,  $Ti_3AlC_2$ ,  $Ti_4AlN_3$ ,  $Ti_2SiC$ ,  $Ti_3SiC_2$ ,  $Ti_3SnC_2$ ,  $Zr_2AlC$ ,  $Zr_2TiC$ ,  $Zr_2SnC$ ,  $Nb_2SnC$ ,  $Nb_3SiC_2$ ,  $(Zr_xNb_{1-x})_2AlC$  en el que x es mayor que cero y menor que 1.

5. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que una relación molar de M a A a X puede ser seleccionada del grupo que consiste en 2:1:1, 3:1:2 y 4:1:3.

6. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que cada uno de los uno o más compuestos ternarios tiene una densidad mayor que 85% de su densidad teórica.

7. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que cada uno de los uno o más compuestos ternarios tiene una densidad mayor que 95% de su densidad teórica.

8. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que una o más de la pluralidad de rejillas espaciadas (120) tiene un patrón estampado en la superficie.

9. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que una o más de la pluralidad de rejillas espaciadas (120) ha sido unida a una parte seleccionada del grupo que consiste en una correa de rejilla (128, 130), un mezclador de flujo integral (89) y sus combinaciones.

10. El conjunto de combustible (110) de la reivindicación 1, en el que el conjunto de combustible (110) es empleado en un reactor de agua seleccionado del grupo que consiste en un reactor de agua a presión, un reactor de agua en ebullición y un reactor de agua pesada.

11. Un procedimiento de preparación de un artículo seleccionado del grupo que consiste en una rejilla de soporte (120), una correa de rejilla (128, 130) y un mezclador de flujo integral (89) para un conjunto de combustible de reactor nuclear, el procedimiento comprende:

obtener una composición en forma de polvo, que comprende uno o más compuestos ternarios de la fórmula general I:



en los que M es un metal de transición, A es un elemento seleccionado del grupo A de la Tabla Periódica Química, X es seleccionado del grupo que consiste en carbono y nitrógeno, y n es un número entero de 1 a 3;

- 5 depositar en un área objetivo una primera porción de la composición;  
sinterizar la primera porción para formar una primera capa sinterizada;  
depositar sucesivamente en el área objetivo una o más porciones adicionales de la composición en la primera capa sinterizada;
- 10 sinterizar cada una de las una o más porciones adicionales para formar una o más capas sinterizadas sucesivas junto con la primera capa sinterizada; y  
formar el artículo incluyendo una pluralidad de capas sinterizadas juntas,  
en el que la primera capa sinterizada comprende uno o más compuestos ternarios diferentes de la fórmula general I, en comparación con una segunda capa sinterizada de una o más capas sinterizadas sucesivas.

**12.** El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además:

- 15 obtener una primera composición de polvo que comprende un primer compuesto ternario de la fórmula I y una segunda composición de polvo que comprende un segundo compuesto ternario diferente de la fórmula I;  
depositar una primera porción de la primera composición de polvo (222) en un área objetivo (226);  
20 barrer una fuente de energía dirigida que emite un rayo de un láser (212) sobre una superficie del área objetivo (226);  
sinterizar una primera capa (254) de la porción de la primera composición de polvo (222) correspondiente a una primera región transversal del artículo;  
depositar una segunda porción de la segunda composición de polvo sobre la primera capa sinterizada (254);  
barrer la fuente de energía dirigida (212) sobre la primera capa sinterizada (254);  
25 sinterizar una segunda capa (255) de la segunda porción de composición de polvo correspondiente a una segunda región transversal del artículo;  
unir las primeras y segundas capas (254, 255) durante la sinterización de la segunda capa (255); y  
30 depositar las porciones alternadas sucesivas de las primeras y segundas composiciones de polvo sobre las capas sinterizadas anteriores y sinterizar cada porción sucesiva para producir capas sinterizadas sucesivas unidas a una capa sinterizada anterior y el artículo incluyendo una pluralidad de capas sinterizadas.

**13.** El procedimiento de la reivindicación 12, que comprende además emplear un archivo CAD tridimensional que es cortado matemáticamente en secciones transversales bidimensionales.

- 35 **14.** El procedimiento de la reivindicación 12, en el que las correas de rejilla (128, 130) están unidas mediante un proceso de soldadura fuerte y los materiales para la soldadura fuerte son seleccionados del grupo que consiste en cobre, cobre-cinc, cobre-cinc-níquel, níquel-cromo-fósforo, níquel-plata, y aleación de plata.

**15.** El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la correa de rejilla (128, 130) es producida mediante un proceso seleccionado del grupo que consiste en sinterización sin presión, prensado en caliente y sus combinaciones.

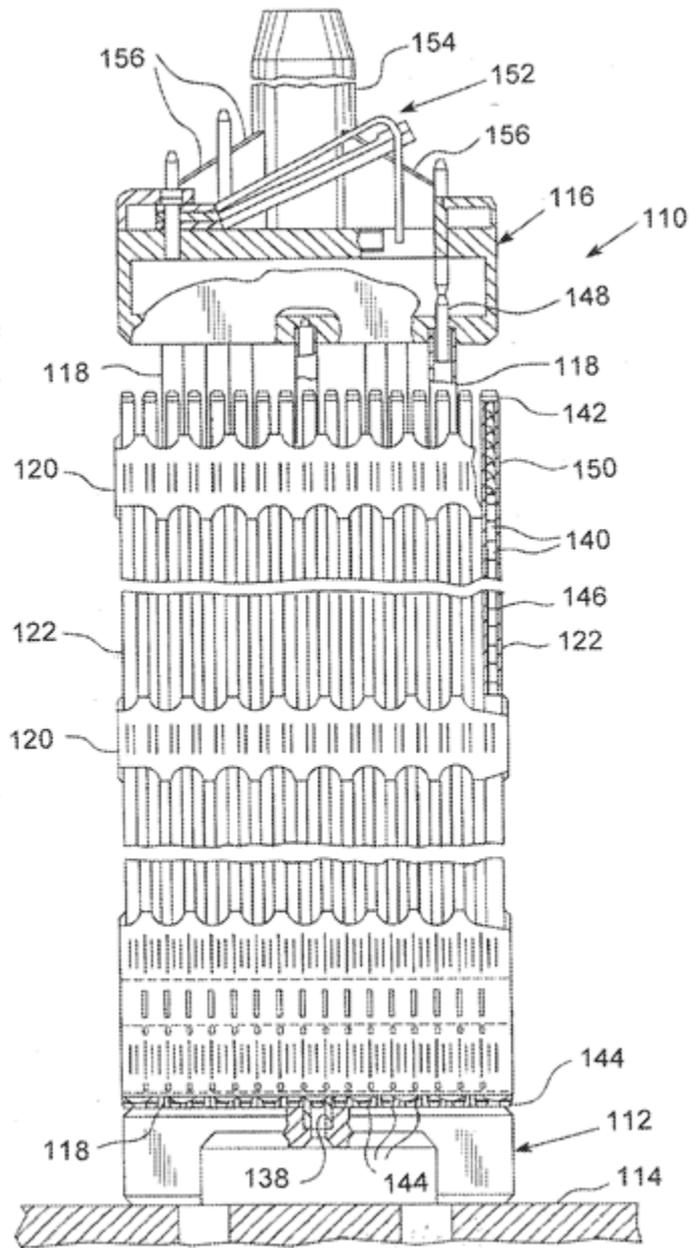


FIG. 1A Técnica Anterior

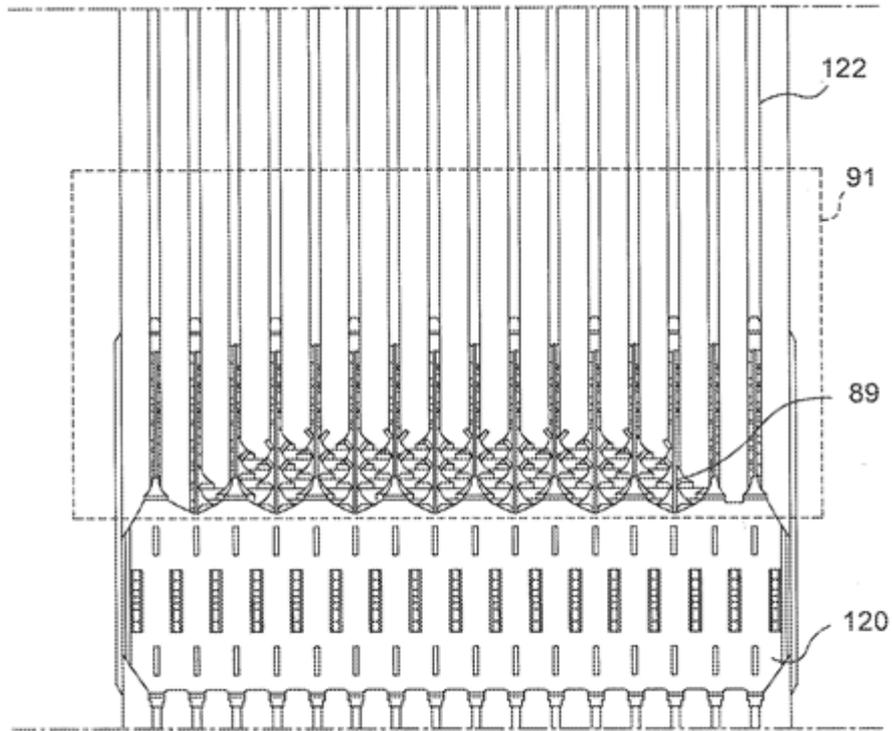


FIG. 1B Técnica Anterior

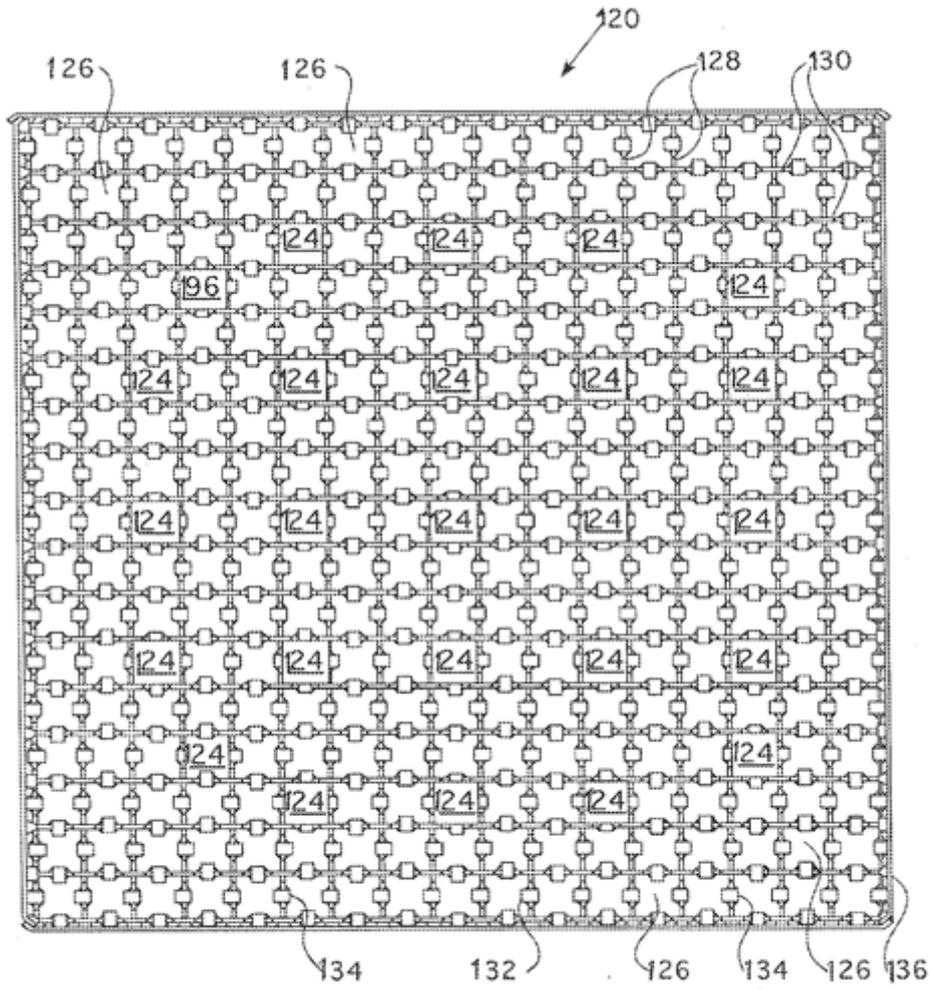


FIG. 2 Técnica Anterior

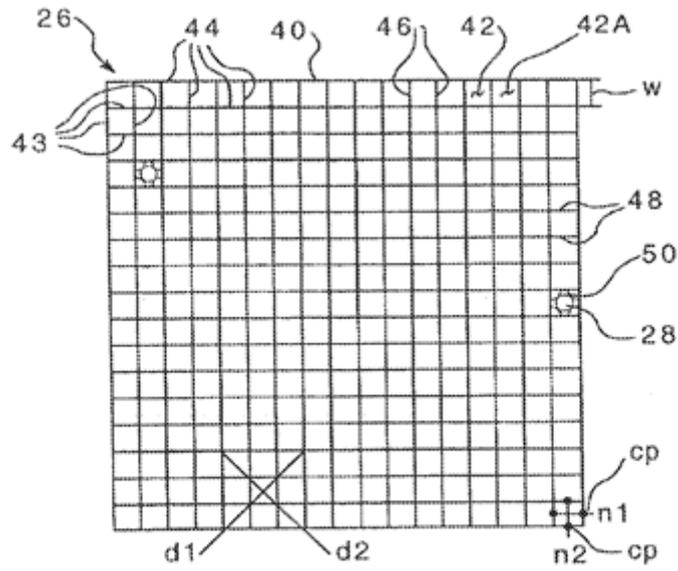


FIG. 3 Técnica Anterior

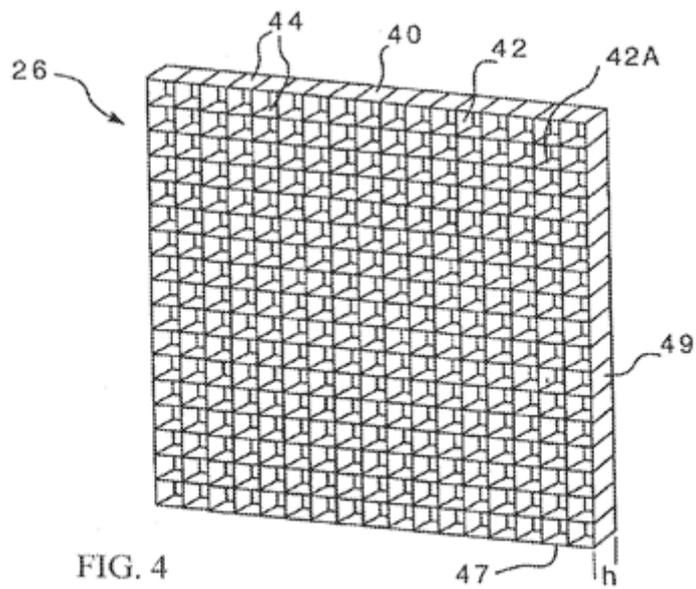


FIG. 4 Técnica Anterior

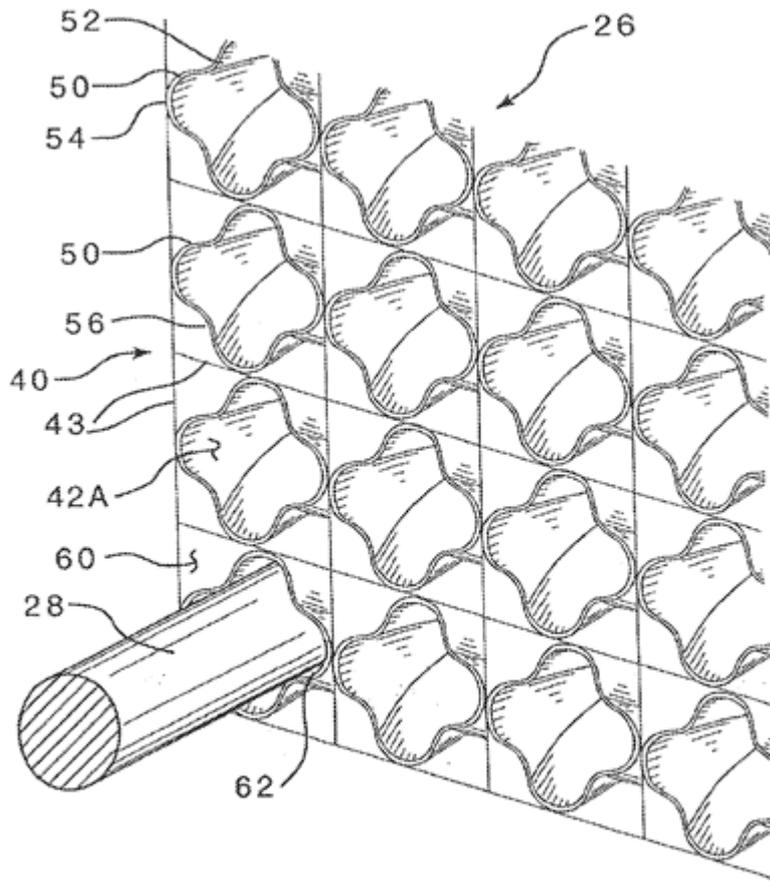


FIG. 5

Técnica Anterior

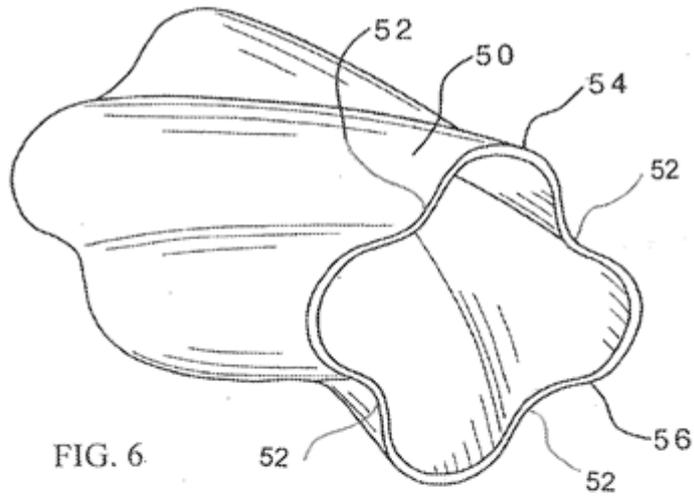


FIG. 6

Técnica Anterior

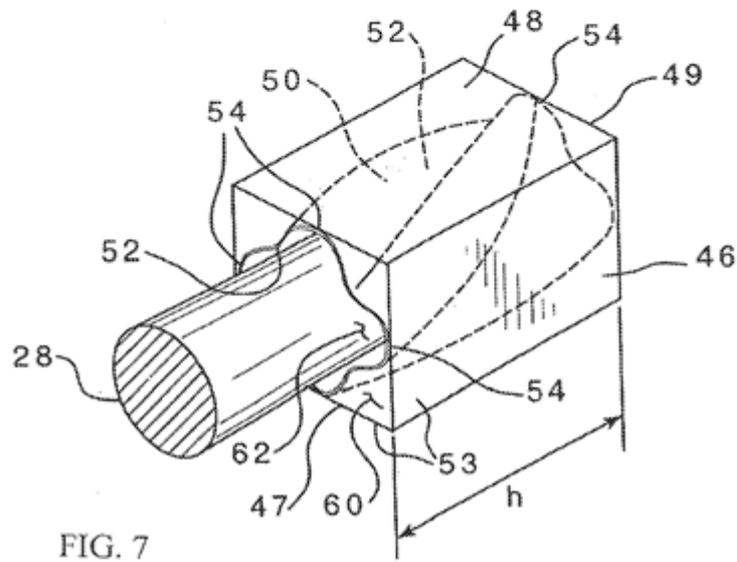


FIG. 7

Técnica Anterior

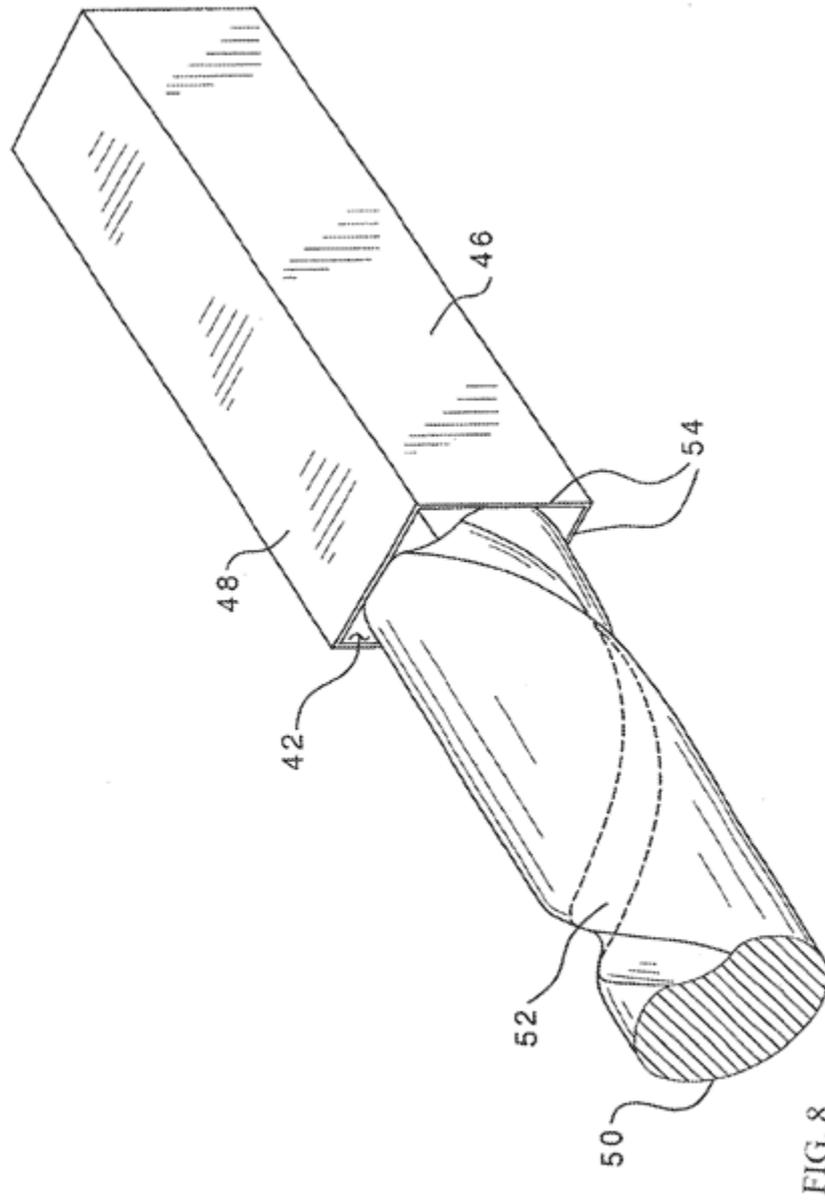


FIG. 8

Técnica Anterior

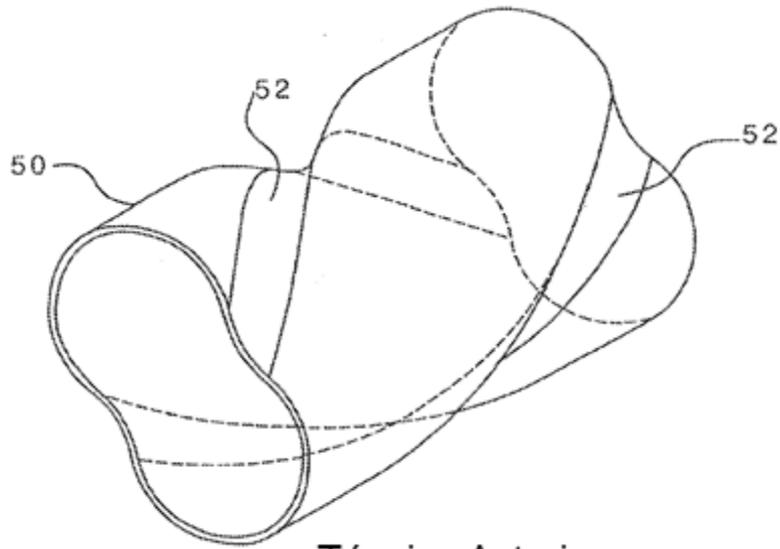


FIG. 9

Técnica Anterior

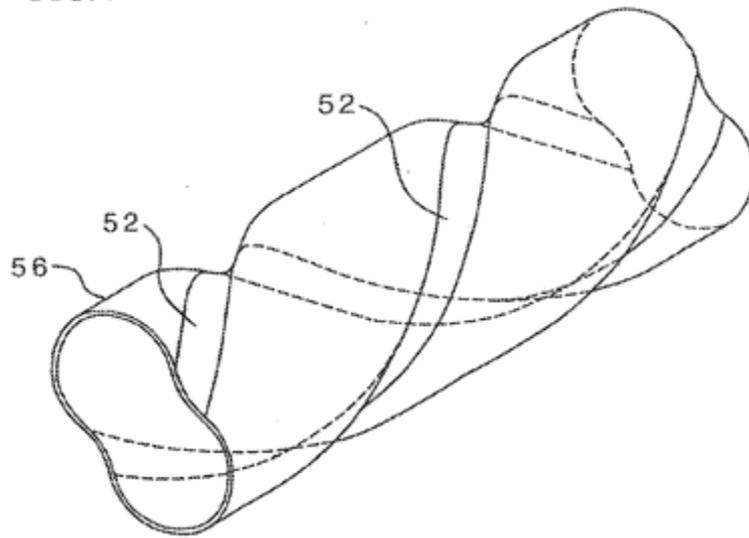


FIG. 10

Técnica Anterior

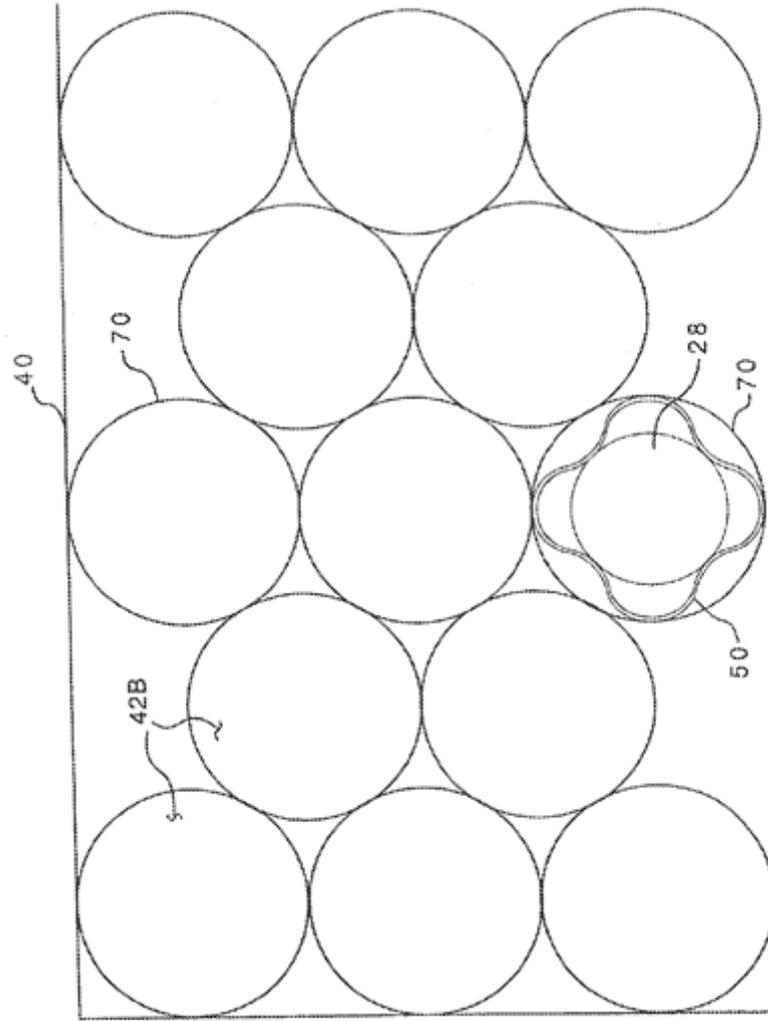


FIG. 11

Técnica Anterior

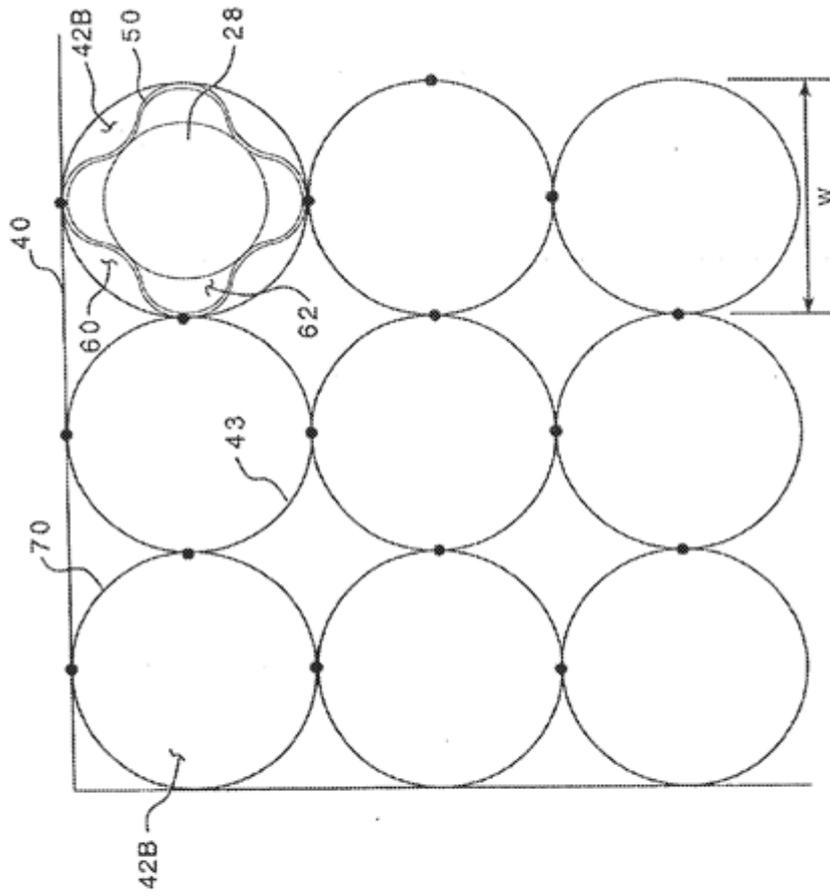


FIG. 12

Técnica Anterior

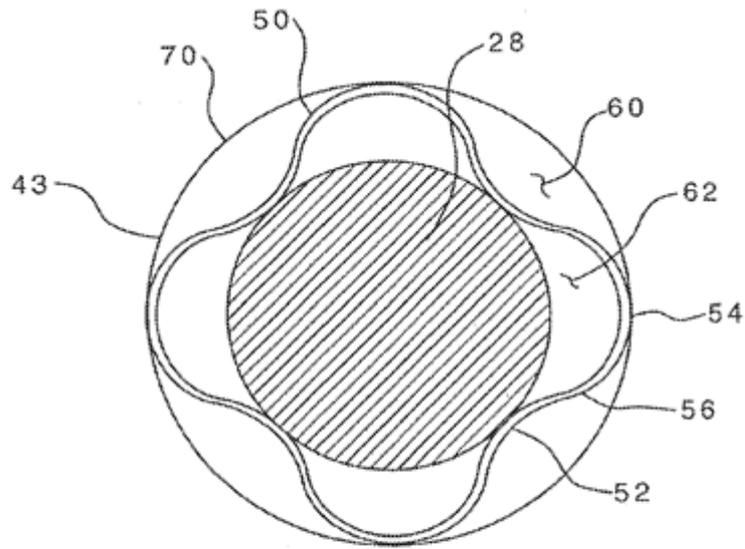


FIG. 13

Técnica Anterior

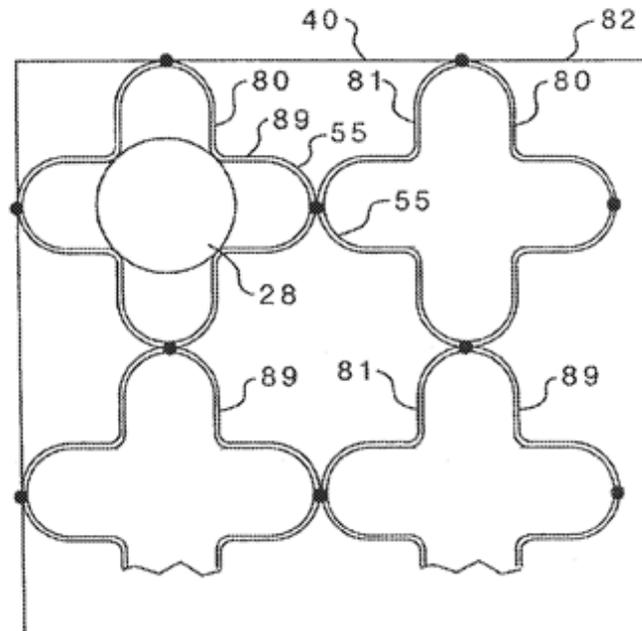


FIG. 14

Técnica Anterior

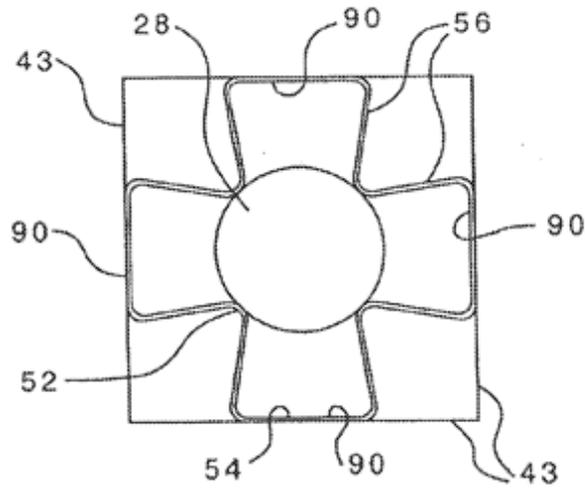


FIG. 15

Técnica Anterior

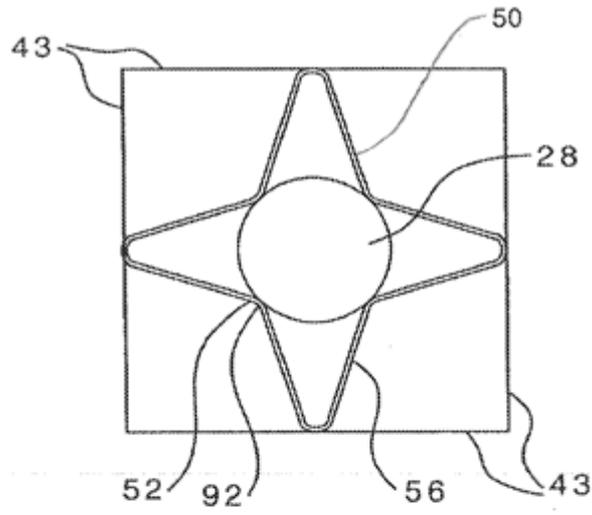


FIG. 16 Técnica Anterior

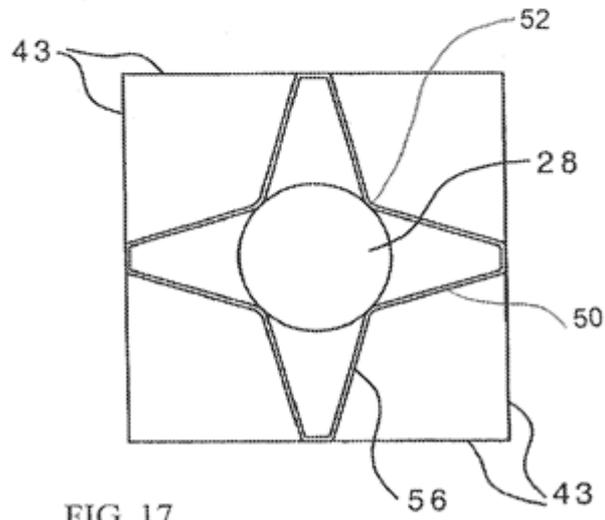


FIG. 17

Técnica Anterior

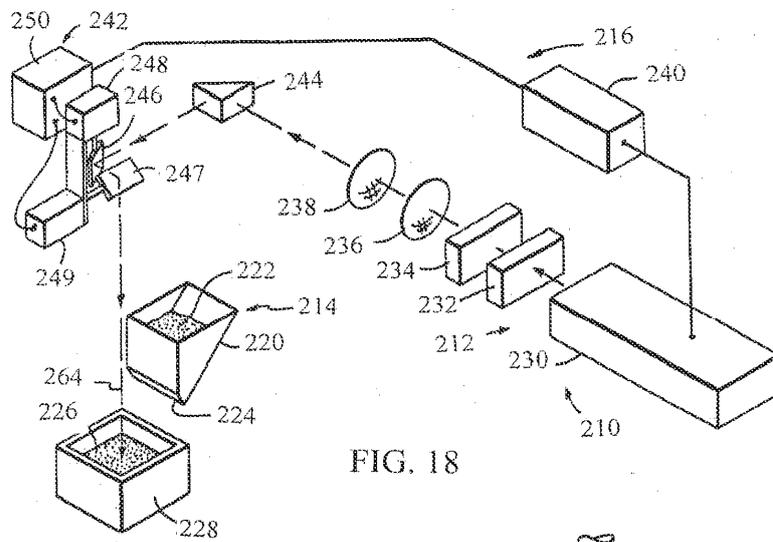


FIG. 18

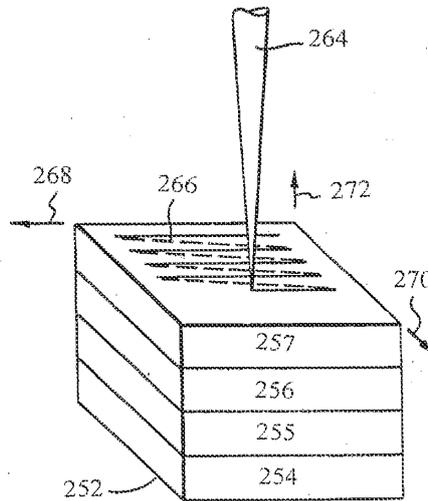


FIG. 19