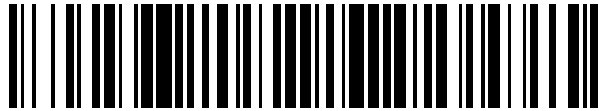


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 245**

51 Int. Cl.:

G21C 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2006 E 06788540 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 1908080**

54 Título: **Conjunto avanzado de control de barras grises**

30 Prioridad:

26.07.2005 US 189472

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

28.08.2015

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)**

**4350 NORTHERN PIKE
MONROEVILLE, PA 15146-2866, US**

72 Inventor/es:

**FETTERMAN, ROBERT J. y
SPARROW, JAMES A.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 544 245 T3

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

DESCRIPCIÓN

Conjunto avanzado de control de barras grises

Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

5 La presente invención versa acerca de un diseño avanzado de conjuntos de control de barras grises (GRCA).

Información sobre antecedentes

En general, la potencia producida por el reactor de una central de energía nuclear está controlada por la elevación o el descenso de conjuntos de barras de control en el núcleo del reactor nuclear, y se hace referencia comúnmente al cambio en la potencia de salida del reactor requerido para acomodar un cambio en la demanda de energía eléctrica de la central de energía eléctrica como seguimiento de carga. Como se describe, por ejemplo, en la patente U.S. nº 10 4.079.236, el seguimiento de carga presenta muchos problemas operativos. Por ejemplo, en un reactor de agua a presión (PWR) durante el seguimiento de carga, se deben controlar la reactividad y se deben abordar los cambios en distribución de potencia axial en el núcleo en respuesta al cambio de nivel de potencia.

15 Los conjuntos de combustible de núcleos de reactores nucleares modernos normalmente emplean dos tipos de conjuntos de control de barras para controlar la reactividad, conjuntos de barras de control (RCCA) y conjuntos de control de barras grises (GRAC; véase, por ejemplo, el documento US5064607). Ambos consisten en una pluralidad de barras absorbentes de neutrones fijadas en sus extremos superiores a un cubo común o conjunto de tipo araña. El cuerpo de las barras comprende, en general, un tubo de acero inoxidable que encapsula un material absorbente de neutrones, tal como un material absorbente de plata-indio-cadmio, y se deslizan las barras en el interior de tubos 20 guía tubulares del conjunto de combustible con un mecanismo de control cerca de la parte superior del conjunto de tipo araña que opera para controlar el movimiento de las barras en el interior de las envolturas. De esta forma, la inserción y extracción controladas de las barras controla, en general, la tasa de potencia producida del reactor nuclear.

Normalmente, se utilizan GRCA en una maniobra de seguimiento de carga debido a que comprenden barras de control de poco valor, denominadas habitualmente en la técnica barras "grises". Se conoce que las barras grises proporcionan un mecanismo compensador mecánico (MSHIM) de reactividad a diferencia de un compensador químico, lo que requiere cambiar la concentración de boro soluble en el refrigerante del reactor nuclear. Por lo tanto, el uso de barras grises minimiza la necesidad de procesamiento del refrigerante primario del reactor nuclear a diario y, por lo tanto, simplifica enormemente las operaciones. Más específicamente, los diseños existentes de GRCA consisten, normalmente, en 24 varillas fijadas en sus extremos superiores a la araña. De las 24 varillas en el haz, solo cuatro barras son barras absorbentes, y el material absorbente de neutrones encapsulado en las barras absorbentes consiste, normalmente, en aproximadamente un 85% de plata, aproximadamente un 10% de indio y 30 aproximadamente un 5% de cadmio. Tal diseño supone varias desventajas.

Entre las desventajas de los diseños conocidos de GRCA, existe el hecho de que el indio y el cadmio tienen cortes transversales relativamente grandes de neutrones, lo que tiene como resultado su agotamiento durante un periodo de tiempo relativamente reducido. Como resultado, se reduce el valor de las barras de tal diseño de GRCA hasta aproximadamente un 80% de su valor inicial en menos de aproximadamente cinco años, o tres ciclos de combustible de 18 meses, y una reducción continua en el valor de las barras tiene como resultado que los GRCA se vuelven ineficaces para el control del reactor nuclear durante un seguimiento de carga. Esto da lugar, de forma no deseable, a una sustitución frecuente de GRCA. Una segunda desventaja tiene que ver con cambios en la potencia local de las barras de combustible que son adyacentes a los cuatro tubos guía que contienen las barras absorbentes. Específicamente, debido a que el material absorbente está localizado en cuatro varillas, se produce un cambio rápido en potencia, denominado habitualmente potencia delta de las barras de combustible, por ejemplo, durante una tracción de las barras. Una tracción de las barras es el procedimiento de extraer el GRCA del conjunto de combustible, y en los diseños conocidos de GRCA tiene como resultado un pico en la potencia delta. Específicamente, con la cantidad relativamente grande de material absorbente limitado únicamente a cuatro barras, se genera una cantidad significativa de calor en el interior de esas barras durante tales condiciones (por ejemplo, una tracción de las barras) de densidad elevada de potencia local. Esto puede provocar una ebullición nucleada saturada, un hinchamiento de la plata y desventajas relacionadas. El hinchamiento de la plata, que ha sido un problema de larga data en la industria durante muchos años, se produce con frecuencia debido a que, aunque la plata se agota más lentamente que el cadmio y el indio, también tiene la mayor influencia, o absorción, de los tres materiales absorbentes, haciendo que sea, por lo tanto, más susceptible a un calentamiento y un hinchamiento excesivo. Demasiado hinchamiento del absorbente puede tener como resultado que el absorbente contacte y agriete potencialmente la vaina que lo rodea.

55 Por lo tanto, existe espacio para la mejora de GRCA en reactores nucleares.

Sumario de la invención

Se satisfacen estas necesidades y otras por medio de la presente invención, que está dirigida a un diseño avanzado de conjunto de control de barras grises (GRCA) que proporciona un material mejorado absorbente de neutrones, un conjunto mejorado de barras grises y una distribución de conjuntos de barras grises que está adaptada para acomodar un seguimiento de carga.

Como un aspecto de la invención, se proporciona un conjunto de combustible según la reivindicación 1.

Breve descripción de los dibujos

Se puede obtener una comprensión completa de la invención a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferentes cuando sea leída junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- La Figura 1 es una vista en alzado de un conjunto de combustible, ilustrado de forma acortada verticalmente, y un conjunto de control para el mismo, mostrado parcialmente en trazo discontinuo; la Figura 2A es una vista en alzado cortada parcialmente del conjunto de control de la Figura 1, que ha sido retirado del conjunto de combustible; la Figura 2B es una vista en planta desde arriba del conjunto de tipo araña de barras de control para el conjunto de control de la Figura 2A; la Figura 3 es un gráfico que traza, con fines comparativos, las tasas de agotamiento de diversos materiales absorbentes de neutrones; la Figura 4 es un gráfico que traza, con fines comparativos, la tasa de agotamiento de un absorbente de plata sustancialmente pura según la invención en comparación con la tasa de agotamiento de un material absorbente de Ag-In-Cd de la técnica anterior; la Figura 5 es una vista en alzado cortada parcialmente de un conjunto avanzado de barras grises según la invención; la Figura 6 es una vista en corte transversal tomada a lo largo de la línea 6-6 de la Figura 5; la Figura 7 es un diagrama esquemático de un octavo de un conjunto de combustible de la técnica anterior, que muestra el cambio en la potencia de las barras después de que se ha retirado el GRCA de la técnica anterior del núcleo durante una tracción de barras; y la Figura 8 es un diagrama esquemático de un octavo de un conjunto de combustible que muestra el cambio en la potencia de las barras del conjunto de combustible, que emplea el GRCA avanzado de la invención, mostrado después de que se ha retirado el GRCA del núcleo.

Descripción de las realizaciones preferentes

En aras de la sencillez de la divulgación, se describirá la invención con referencia al diseño del núcleo del reactor de agua a presión (PWR) que es conocido comercialmente con la designación AP1000. El AP1000 es un diseño de reactor nuclear de Westinghouse Electric Company LLC. Westinghouse Electric Company LLC tiene una sede en Monroeville, Pensilvania, EE. UU. Se proporciona la referencia al AP1000 únicamente con fines ilustrativos ejemplares y no es limitante del alcance de la invención. Por lo tanto, se apreciará que el diseño ejemplar de GRCA de la invención tiene una aplicación en una amplia variedad de otros diseños de reactor nuclear.

Las frases direccionales utilizadas en la presente memoria, tales como, por ejemplo, superior, inferior, arriba, abajo, izquierda, derecha y derivados de las mismas, tienen que ver con la orientación de los elementos mostrados en los dibujos y no son limitantes de las reivindicaciones, a no ser que se especifique expresamente en las mismas.

Según se emplea en la presente memoria, la declaración de que dos partes o más están “acopladas” entre sí significará que las partes están unidas entre sí directamente o están unidas por medio de una o más partes intermedias.

Según se emplea en la presente memoria, el término “número” hará referencia a uno y a más de uno (es decir, a una pluralidad).

Conjunto de combustible

Con referencia ahora a los dibujos y, en particular, a la Figura 1, se muestra una vista en alzado de un conjunto de combustible de reactor nuclear, representado de forma acortada verticalmente y que está designado, en general, mediante el número 10 de referencia. El conjunto 10 de combustible es el tipo utilizado en un reactor de agua a presión (PWR) y tiene un armazón estructural que, en su extremo inferior, incluye una tobera inferior 12 para soportar el conjunto 10 de combustible sobre una placa inferior 14 de soporte del núcleo en la región del núcleo del reactor nuclear (no mostrado), una tobera superior 16 en su extremo superior, y un número de tubos o manguitos guía 18 que se extienden longitudinalmente en los extremos opuestos a las toberas inferior y superior 12 y 16, y están fijados rígidamente a las mismas.

El conjunto 10 de combustible incluye, además, una pluralidad de rejillas transversales 20 separadas axialmente a lo largo de los tubos guía 18, y montadas en los mismos, y una matriz organizada de barras alargadas 22 de

combustible soportadas y separadas transversalmente por medio de las rejillas 20. El conjunto 10 también tiene un tubo 24 de instrumentación ubicado en el centro del mismo y que se extiende entre las toberas inferior y superior 12 y 16, y está montado en las mismas. En vista de la anterior disposición de partes, se comprenderá que el conjunto 10 de combustible forma una unidad integral con capacidad para ser manipulada convenientemente sin dañar las partes de montaje.

Como se ha descrito anteriormente, la matriz de barras 22 de combustible en el conjunto 10 de combustible se mantiene en relación separada entre sí por medio de las rejillas 20 que están separadas a lo largo de la longitud del conjunto de combustible. Cada barra 22 de combustible incluye pastillas 26 de combustible nuclear y está cerrada en sus extremos opuestos por medio de tapones extremos superior e inferior 28 y 30 de cierre. Se mantienen las pastillas 26 en una pila por medio de un resorte 32 del plenum dispuesto entre el tapón extremo superior 28 de cierre y la parte superior de la pila de pastillas. Las pastillas 26 de combustible, compuestas de material físil, son responsables de crear la potencia reactiva del reactor nuclear. Se bombea ascendentemente un moderador/refrigerante líquido tal como agua o agua que contiene boro a través de una pluralidad de aberturas de flujo en la placa inferior 14 del núcleo hasta el conjunto de combustible. La tobera inferior 12 del conjunto 10 de combustible deja pasar el refrigerante ascendentemente a través de los tubos guía 18 y a lo largo de las barras 22 de combustible del conjunto para extraer el calor generado en las mismas para la producción de trabajo útil. Para controlar el procedimiento de fisión, son amovibles con movimiento de vaivén un número de barras 34 de control en los tubos guía 18 ubicados en posiciones predeterminadas en el conjunto 10 de combustible. Un conjunto 39 de tipo araña colocado por encima de la tobera superior 16 soporta las barras 34 de control.

Las Figuras 2A y 2B muestran el conjunto 36 de barras de control después de que ha sido retirado del conjunto 10 de combustible de la Figura 1. En general, el conjunto 36 de control tiene un miembro cilíndrico 37 roscado internamente con una pluralidad de uñas o brazos 38 que se extienden radialmente, que comprenden el conjunto 39 de tipo araña, mostrado de forma óptima en la Figura 2B. Como se ha expuesto anteriormente, cada brazo 38 está interconectado con las barras 34 de control, de forma que el conjunto 36 de barras de control es operable para mover las barras 34 de control verticalmente en el interior de los tubos guía 18 (Figura 1) para controlar, de ese modo, el procedimiento de fisión en el conjunto 10 de combustible (Figura 1), todo ello de una forma bien conocida. Con la excepción del conjunto ejemplar de barras de control que comprende un conjunto avanzado 36 de barras grises de control (GRCA) que tiene conjuntos mejorados 34 de barras grises, que se expondrán ahora, todo lo anterior es antiguo y bien conocido, en general, en la técnica.

GRCA avanzado

Con referencia continua a las Figuras 2A y 2B, se describirá ahora la configuración general de barras de control. Como se ha indicado anteriormente, para aprovechar las capacidades MSHIM permitidas por las barras grises o de poco valor, los conjuntos conocidos de barras de control, tales como los conjuntos existentes de control para el reactor nuclear AP1000 de Westinghouse Electric Company LLC, emplean GRCA. Sin embargo, aunque el diseño de GRCA para el diseño actual del reactor nuclear AP1000 tiene 24 varillas que están configuradas, en general, como se muestra en la Figura 2B, como se ha mencionado anteriormente en la presente memoria, 20 de las 24 barras son barras de acero inoxidable (por ejemplo, sin limitación, SS-304) para el desplazamiento del agua y solo cuatro de las barras son barras absorbentes de neutrones. Por lo tanto, esencialmente todo el material absorbente de neutrones está localizado y aislado en solo cuatro ubicaciones de barras en el GRCA.

Además, en el diseño existente del AP1000, el material absorbente comprende un absorbente de Ag-In-Cd que consiste en aproximadamente 85% de plata, aproximadamente 10% de indio y aproximadamente 5% de cadmio. Este material absorbente es coherente con los conjuntos estándar conocidos de barras de control (RCCA) de plena intensidad, en los que las 24 barras son de Ag-In-Cd. Como se ha hecho notar, y como se expondrá en la presente memoria con referencia a la Figura 3, se conoce que el indio y el cadmio se agotan rápidamente. Los RCCA pasan una cantidad mínima de tiempo en el núcleo durante la operación a potencia. Por lo tanto, tal agotamiento no es un problema. Sin embargo, para la operación del compensador mecánico (MSHIM) del AP1000, por ejemplo, se prevé que los GRCA residan en el núcleo hasta la mitad del ciclo operativo. En estas condiciones de operación, el diseño existente de GRCA necesitaría ser sustituido aproximadamente cada cinco años debido a un agotamiento rápido del absorbente. Como se expondrá con detalle en la presente memoria, entre otros beneficios, el diseño avanzado de GRCA de la invención supera esta desventaja de agotamiento rápido y también evita sustancialmente el pico de potencia local no deseable experimentado cuando el GRCA tradicional tiene cuatro barras RCCA traccionadas del núcleo.

Con referencia a la Figura 3 se tendrá una mayor comprensión del problema mencionado anteriormente del agotamiento del absorbente. La Figura 3 muestra un gráfico de las tasas de agotamiento de dos isótopos distintos de plata, dos isótopos distintos de indio y la tasa de agotamiento de cadmio. Más específicamente, se trazan conjuntamente los agotamientos de la plata-107 (Ag-107), de la plata-109 (Ag-109), de indio-113 (In-113), de indio-115 (In-115) y de cadmio (Cd), con fines comparativos, como las líneas 100, 102, 104, 106 y 108, respectivamente. Según se muestra, ambos isótopos de plata 100, 102 tienen tasas lineales de agotamiento relativamente lento, mientras que el indio-115, 106 y el cadmio 108 tienen tasas no lineales de agotamiento rápido. Específicamente, el agotamiento rápido de indio-115, 106 y de cadmio 108 tiene como resultado una pérdida de fuerza de absorción de

aproximadamente un 20% después de únicamente cinco años de operación. Como se ha hecho notar anteriormente en la presente memoria, esto tiene como resultado de forma no deseable una capacidad reducida de que los GRCA controlen el reactor durante un seguimiento de carga, y da lugar, en último término, a una sustitución frecuente de GRCA. La invención supera estas desventajas empleando un diseño mejorado de conjunto de barras grises que, entre otros ajustes, emplea un distinto material absorbente de neutrones que tiene un agotamiento mejorado en comparación con el absorbente existente de Ag-In-Cd.

Específicamente, la Figura 4 muestra un trazado de la tasa de agotamiento del material absorbente ejemplar 110 de la invención en comparación con el absorbente existente 112 de Ag-In-Cd. Como el gráfico de la Figura 3, los agotamientos están trazados mostrando el valor relativo en función del tiempo de vida del absorbente 110, 112, en años. Específicamente, la invención sustituye el absorbente existente 112 de Ag-In-Cd por un absorbente 110 que comprende plata sustancialmente pura. Según se utilizan en la presente memoria, se utilizan las frases “plata sustancialmente pura” y “plata pura” de forma intercambiable para hacer referencia a un absorbente que está compuesto casi por entero del elemento plata, en el que cualquier impureza que haya presente en el absorbente está en cantidades tan bajas que es generalmente insignificante. Como se muestra en la Figura 4, el uso de plata pura reduce de forma significativa la tasa de agotamiento del absorbente, extendiendo el tiempo de vida nuclear útil del GRCA mejorado 36 (Figura 2A) a entre aproximadamente 15-20 años o entre aproximadamente 10-13 ciclos de 18 meses. No solo es esta mejora espectacular en el tiempo de vida útil mencionado anteriormente de solo aproximadamente cinco años o tres ciclos de 18 meses para el absorbente existente de Ag-In-Cd, sino que el absorbente ejemplar 110 de plata pura también se agota, de forma ventajosa, de forma sustancialmente lineal relativamente progresiva a diferencia del agotamiento exponencial rápido del absorbente 110 de Ag-In-Cd. La vida útil extendida del absorbente ejemplar 112 permite que el GRCA mejorado 36 (Figura 2A) cumpla con los exigentes requisitos del tiempo de vida para las barras de control. Por ejemplo, permite que el GRCA 36 opere durante periodos prolongados de tiempo en el núcleo del reactor nuclear, hasta aproximadamente la mitad del ciclo operativo, o más.

Para adoptar con éxito el absorbente ejemplar 110 de plata pura de la invención, se tuvo que superar un número de obstáculos. De hecho, en vista de ciertas cualidades de la plata que se sabe que producen resultados no deseables cuando se expone a radiación, tal como, por ejemplo, una fluencia elevada y un hinchamiento de la plata asociado, el uso de un absorbente de plata pura es algo contrario a la lógica con respecto a lo que se conoce y se practica en la técnica. Más específicamente, como se ha expuesto anteriormente, debido a que la plata tiene una fluencia más elevada (por ejemplo, capacidad de absorción) que el cadmio y que el indio, cabría esperar que se produjese el mayor hinchamiento cuando se encuentre insertada en el núcleo y expuesta a radiación y, como se ha mencionado anteriormente, tal hinchamiento de la plata produce una deformación no deseable sobre la vaina hasta que finalmente se agrieta. Esto puede tener como resultado, entre otros problemas, la contaminación del fluido refrigerante del reactor. En consecuencia, como se expondrá ahora, como otro aspecto del GRCA avanzado 36 de la invención, los conjuntos 34 de barras grises del GRCA 36 fueron rediseñados, y se revisó la disposición de los absorbentes ejemplares 110 en el conjunto 36 para abordar y resistir las características no deseables mencionadas anteriormente de la plata mientras se aprovechan simultáneamente los beneficios (por ejemplo, una tasa mejorada de agotamiento) que otorga.

Las Figuras 5 y 6 muestran el conjunto mejorado 34 de barras grises de la invención. Según se muestra en la Figura 5, el conjunto 34 de barras grises incluye, en general, un primer extremo 40 que, según está orientado en el núcleo (Figura 1), es el extremo inferior, y un segundo extremo 42 (por ejemplo, extremo superior desde la perspectiva de la Figura 1). El extremo inferior o primero 40 tiene un tapón extremo ahusado 44 de cierre. Tal diseño ahusado facilita la inserción guiada de la barra 34 en el tubo guía 18 (Figura 1) del conjunto 10 de combustible (Figura 1). El extremo superior o segundo 42 tiene un tapón extremo superior 46 que está estructurado para acoplarse y fijarse al conjunto 39 de tipo araña (mostrado de forma óptima en la Figura 2A) de una forma conocida (por ejemplo, sin limitación, una disposición complementaria de fijación roscada macho/hembra). Un miembro tubular alargado 48 se extiende entre los tapones extremos superior e inferior 46, 44 de cierre. El miembro tubular ejemplar es un tubo 48 de acero inoxidable fabricado de acero inoxidable 304, aunque se contemplan tubos fabricados de otros materiales alternativos conocidos o adecuados. En el ejemplo mostrado y expuesto en la presente memoria, el diámetro externo 50 del tubo 48 es de aproximadamente 0,97 centímetros y la longitud total 52 de la barra 34, desde la parte superior del tapón extremo inferior 44 de cierre hasta la parte inferior del tapón extremo superior 46 de cierre, es de aproximadamente 436,49 centímetros. Sin embargo, se apreciará que los conceptos de la invención son aplicables igualmente para barras que tengan cualquier longitud y anchura adecuadas para ser utilizadas en una amplia variedad de reactores nucleares.

El material absorbente 110 (por ejemplo, plata pura) está dispuesto, en general, en la mitad inferior del tubo 48 de forma que el área superficial del absorbente 110 se reduzca en comparación con los absorbentes conocidos, tal como el absorbente de Ag-In-Cd expuesto anteriormente en la presente memoria. Específicamente, como se muestra de forma óptima en la vista en corte transversal de la Figura 6, el diámetro 54 del absorbente ejemplar 110 de plata pura es sustancialmente menor que el diámetro externo 50 del tubo 48 de barra, mientras que el diámetro del absorbente existente (no mostrado) de Ag-In-Cd es relativamente equivalente en diámetro al diámetro interior (no marcado) del tubo 48 de barra. Tal reducción en el diámetro 54 del absorbente proporciona una reducción sustancial en área superficial expuesta del absorbente 110. Esto es cierto a pesar de cualquier aumento potencial, si lo hay, en

la longitud 56 (Figura 5) del absorbente (en comparación con el absorbente existente (no mostrado) de Ag-In-Cd), debido a que la reducción significativa en el diámetro 54 del absorbente 110 tiene más importancia que cualquier aumento mínimo en la longitud 56, gobernado por la relación de área superficial de $\Pi \times d \times L$, en la que d es el diámetro 54 del absorbente 110 y L es la longitud 56 del absorbente 110. La longitud 56 del absorbente 110 en el ejemplo de la Figura 5 es de aproximadamente 421,64 centímetros, aunque como con las otras dimensiones de la barra gris 34, esta medición podría variar sin alejarse del alcance de la invención. El área superficial reducida del absorbente 110 de la invención sirve de medio para resistir los efectos secundarios adversos (por ejemplo, sin limitación, hinchamiento de la plata y agrietamiento resultante del manguito) de la plata cuando se expone a radiación.

Una segunda medida para proteger, por ejemplo, contra un hinchamiento excesivo de la plata, es la adición de una vaina de protección o tubo 58 de soporte que encapsula, en general, el absorbente 110, como se muestra. Específicamente, el tubo 58 de soporte tiene un espesor relativamente grueso 60 de pared que es mayor que el grosor de la pared del tubo 48. En consecuencia, el tubo 58 de soporte tiene una resistencia relativamente elevada asociada con capacidad para resistir una expansión hacia fuera del absorbente 110 y para resistir una deformación resultante sobre la vaina. En cambio, el tubo ejemplar 58 de soporte proporciona una fuerza hacia dentro de compresión sobre el absorbente 110, o lo contiene, resistiendo, de ese modo, el hinchamiento del mismo. El tubo ejemplar 58 de soporte está fabricado de acero inoxidable, tal como acero inoxidable 304, aunque se podría emplear cualquier otro material conocido o adecuado. En vista de lo anterior, el absorbente ejemplar 110 y los conjuntos 34 de barras grises proporcionan tanto una ventaja mecánica, mediante la resistencia añadida del tubo ejemplar 58 de soporte, como la ventaja nuclear adicional de minimizar el área superficial del absorbente 110 y, por lo tanto, la cantidad de plata expuesta a radiación, lo que tiene como resultado que se produce menos calor para un nivel particular de potencia. A su vez, esto resiste una ebullición nucleada saturada (como se expondrá).

En consecuencia, los conjuntos ejemplares 34 de barras grises de la invención proporcionan un tiempo de vida nuclear extendida mediante el uso del absorbente 110 de plata sustancialmente pura. Además de la resistencia mencionada anteriormente a la ebullición nucleada saturada durante condiciones de densidad elevada de potencia local, y del hinchamiento del absorbente y del agrietamiento resultante de la vaina, el diseño general 36 del GRCA de la invención también mejora, en general, los márgenes del rendimiento térmico lineal durante las maniobras de las barras. Específicamente, el GRCA ejemplar distribuye el absorbente 110 sobre la totalidad de las 24 barras 34 del conjunto 36 de control, en vez de localizar el absorbente solo en cuatro barras, como en el diseño existente del AP100 expuesto anteriormente en la presente memoria. La distribución del absorbente 110 entre todas las barras 34 del GRCA reduce el cambio en la potencia local (potencia delta) de las barras de combustible cuando se retira el GRCA 36 del núcleo, lo que a su vez mejora los márgenes de operación. Específicamente, la distribución del material absorbente 110 en la totalidad de las 24 barras reduce la cantidad de absorbente 110 en cada barra 34, lo que reduce la cantidad de calor generado en cada barra 34 y resiste el riesgo de ebullición nucleada saturada en los manguitos 18 en condiciones de densidad elevada de potencia local. No se pretende que la cantidad exacta de la reducción en la cantidad de material absorbente 110, en comparación con los cuatro absorbentes de Ag-In-Cd del diseño actual, sea limitante de la invención.

En vista de lo anterior, los conjuntos ejemplares 34 de barras grises han sido rediseñados para incluir una combinación de características mejoradas tales como un tubo 58 de soporte, un material absorbente 110 completamente distinto que comprende plata sustancialmente pura, un diámetro significativamente menor (por ejemplo, el diámetro 54) y la cantidad reducida de absorbente 110, y la distribución del absorbente 110 entre todas las barras 34. En consecuencia, el GRCA 36 de la invención aborda y supera sustancialmente las desventajas mencionadas anteriormente conocidas en la técnica al reducir la cantidad de material 110 absorbente de neutrones por barra 34, y al distribuir de forma sustancialmente uniforme el material absorbente 110 entre todas las barras grises 34 del conjunto 36. Se comprenderán y se apreciarán adicionalmente las ventajas del diseño ejemplar avanzado 36 de GRCA con referencia a las Figuras 7 y 8.

La Figura 7 es una vista esquemática o simplificada de un octavo de un conjunto convencional 10' de combustible que muestra, para fines comparativos con el diseño ejemplar de la Figura 8, el aumento relativamente grande en potencia local experimentado por las barras 22' de combustible que rodean el manguito 18' que contenía anteriormente las barras absorbentes (no mostradas en la Figura 7), cuando se retira el GRCA convencional (no mostrado) del conjunto 10' de combustible. Los números mostrados en la Figura 7 representan el cambio porcentual en la potencia de las barras en respuesta a la tracción del GRCA del conjunto 10' de combustible. Se muestran los efectos adversos del absorbente localizado conocido. Específicamente, según se muestra, las barras 22' de combustible adyacentes al manguito 18' que alojan el absorbente de Ag-In-Cd experimentan un pico aislado o localizado de cambio de potencia. Como se ha expuesto anteriormente, no es deseable tal cambio espectacular en potencia dado que produce un calor excesivo y, por lo tanto, una ebullición nucleada saturada, y problemas de hinchamiento y de agrietamiento de la vaina.

La Figura 8 confirma que el diseño 36 de GRCA (Figura 2) de la invención supera estos problemas. Específicamente, una comparación de la Figura 8 y de la Figura 7 muestra la misma sección de un octavo del conjunto 10 de combustible después de una operación de tracción de barra en la que se han traccionado el GRCA ejemplar 36 (Figura 2) y las barras grises 34 (Figuras 2, 5 y 6) del conjunto 10 de combustible. Según se muestra, se

5 reduce sustancialmente el cambio en la potencia de las barras que rodea a los manguitos 18 que alojan las barras
absorbentes (no mostradas en la Figura 8) en comparación con los valores del ejemplo de la Figura 7.
Específicamente, según se muestra en el ejemplo de la Figura 8, el mayor cambio porcentual en la potencia de las
barras para el GRCA 36 de la invención es de aproximadamente 8,9%. Esta es una mejora significativa con respecto
al cambio porcentual en la potencia de las barras de aproximadamente un 22% para el diseño convencional de
GRCA mostrado en la Figura 7. Como se ha expuesto anteriormente en la presente memoria, esta mejora es
atribuible, en gran parte, a la distribución ejemplar de las barras absorbentes 34 (no mostradas en la Figura 8) entre
la totalidad de las 24 ubicaciones de manguitos 18, a diferencia de solo cuatro ubicaciones de manguitos 18' en
total. Por ejemplo, solo se muestra una ubicación de absorbente 18' en la porción de un octavo del conjunto 10' de
10 combustible de la Figura 7, mientras que se muestran las ubicaciones de absorbente 18 en el diseño ejemplar de la
Figura 8. En resumen, la combinación del absorbente 110 de plata sustancialmente pura, el tamaño reducido de
absorbente por barra 34, el blindaje absorbente o el tubo 58 de soporte, y la distribución del absorbente 110 en
todas las barras 34 del GRCA 36 de la invención, tiene como resultado la reducción de la capacidad de absorción de
neutrones de cada barra 34 del GRCA 36 en aproximadamente un sexto, lo que reduce, de ese modo, el cambio en
15 el la potencia local de las barras (potencia delta) cuando se tracciona, por ejemplo, el GRCA 36 del conjunto 10. Se
apreciará que se pueden emplear las características avanzadas del GRCA 36 de la invención individualmente o en
cualquier combinación conocida o adecuada. Por ejemplo, sin limitación, se podría emplear un material absorbente
alternativo aparte del absorbente ejemplar 10 de plata sustancialmente pura expuesto en la presente memoria en la
configuración distribuida ejemplar de tamaño reducido de la invención, sin alejarse del alcance de la invención.

20 En consecuencia, la invención proporciona un GRCA avanzado 36 que, entre otros beneficios, exhibe una tasa de
agotamiento y una resistencia mejoradas a la ebullición nucleada saturada, y al hinchamiento de la plata y al
agrietamiento de la vaina.

Aunque se han descrito con detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán
que se podrían desarrollar diversas modificaciones y alternativas a esos detalles en vista de la enseñanza general
de la divulgación. En consecuencia, las disposiciones particulares están concebidas para que sólo sean ilustrativas
y no limitantes del alcance de la invención, al que se debe dar la amplitud completa de las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (10) de combustible para un reactor nuclear, comprendiendo dicho conjunto (10) de combustible:
- una pluralidad de barras alargadas (22) de combustible nuclear, teniendo cada una una longitud axial extendida;
- 5 un número de rejillas (20) de soporte sustancialmente transversales separadas a lo largo de la longitud axial de dichas barras (22) de combustible para mantener dichas barras (22) de combustible en una matriz organizada;
- una pluralidad de tubos guía (18) dispuestos a través de dichas rejillas (20) de soporte y a lo largo de dichas barras (22) de combustible y
- 10 un conjunto (36) de control de barras grises que incluye un conjunto (39) de tipo araña que tiene una pluralidad de uñas (38) que se extienden de forma radial y una pluralidad de conjuntos (34) de barras grises acoplados a dichas uñas (38), estando estructurado dicho conjunto (36) de control de barras grises para mover cada uno de dichos conjuntos (34) de barras grises en el interior de uno de dichos tubos guía (18) para controlar la tasa de potencia producida por dicho reactor nuclear, en el que cada uno de dichos conjuntos (34) de barras grises comprende:
- 15 un miembro tubular alargado (48) que tiene un primer extremo, un segundo extremo, un diámetro externo y una longitud, un primer tapón extremo (44) de cierre acoplado al primer extremo de dicho miembro tubular alargado (48),
- 20 estando ahusado dicho primer tapón extremo (44) de cierre para facilitar la inserción de dicho miembro tubular alargado (48) en uno de dichos tubos guía (18) de dicho conjunto (10) de combustible, un segundo tapón extremo (46) de cierre acoplado en un extremo al segundo extremo de dicho miembro tubular alargado (48), y en el otro extremo a una de dichas uñas (38) que se extienden de forma radial de dicho conjunto (39) de tipo araña,
- 25 un absorbente (110) de neutrones dispuesto en dicho miembro tubular alargado (48) generalmente hacia el primer extremo del mismo, comprendiendo dicho absorbente (110) de neutrones un material absorbente de plata sustancialmente pura y que tiene un diámetro que es sustancialmente menor que el diámetro de dicho miembro tubular alargado (48), y una longitud que es sustancialmente más corta que la longitud del miembro tubular alargado (48), y
- 30 un tubo (58) de soporte dispuesto entre dicho absorbente (110) de neutrones y que encapsula dicho miembro tubular alargado (48) dicho absorbente (110) de neutrones en dicho miembro tubular (48) para resistir el hinchamiento de dicho absorbente (110).
2. El conjunto (10) de combustible de la reivindicación 1, en el que dicho absorbente (110) de neutrones está distribuido entre todos los referidos conjuntos (34) de barras grises de dicho conjunto (36) de control de barras grises.
- 35 3. El conjunto de combustible de la reivindicación 2, en el que dicha pluralidad de conjuntos (34) de barras grises comprende 24 conjuntos (34) de barras grises, y en el que dicho absorbente (110) de neutrones está distribuido de forma generalmente uniforme entre la totalidad de los 24 conjuntos de barras grises de dicho conjunto (36) de control de barras grises.
- 40 4. El conjunto (10) de combustible de la reivindicación 1, en el que dicho absorbente (110) de neutrones está dispuesto de forma sustancialmente concéntrica en dicho miembro tubular alargado (48), y en el que dicho tubo (58) de soporte tiene un grosor de pared que está definido sustancialmente por el espacio entre el diámetro externo de dicho absorbente (110) y el diámetro interno de dicho miembro tubular alargado (48).
- 45 5. El conjunto (10) de combustible de la reivindicación 4, en el que dicho tubo (58) de soporte está fabricado de acero inoxidable.

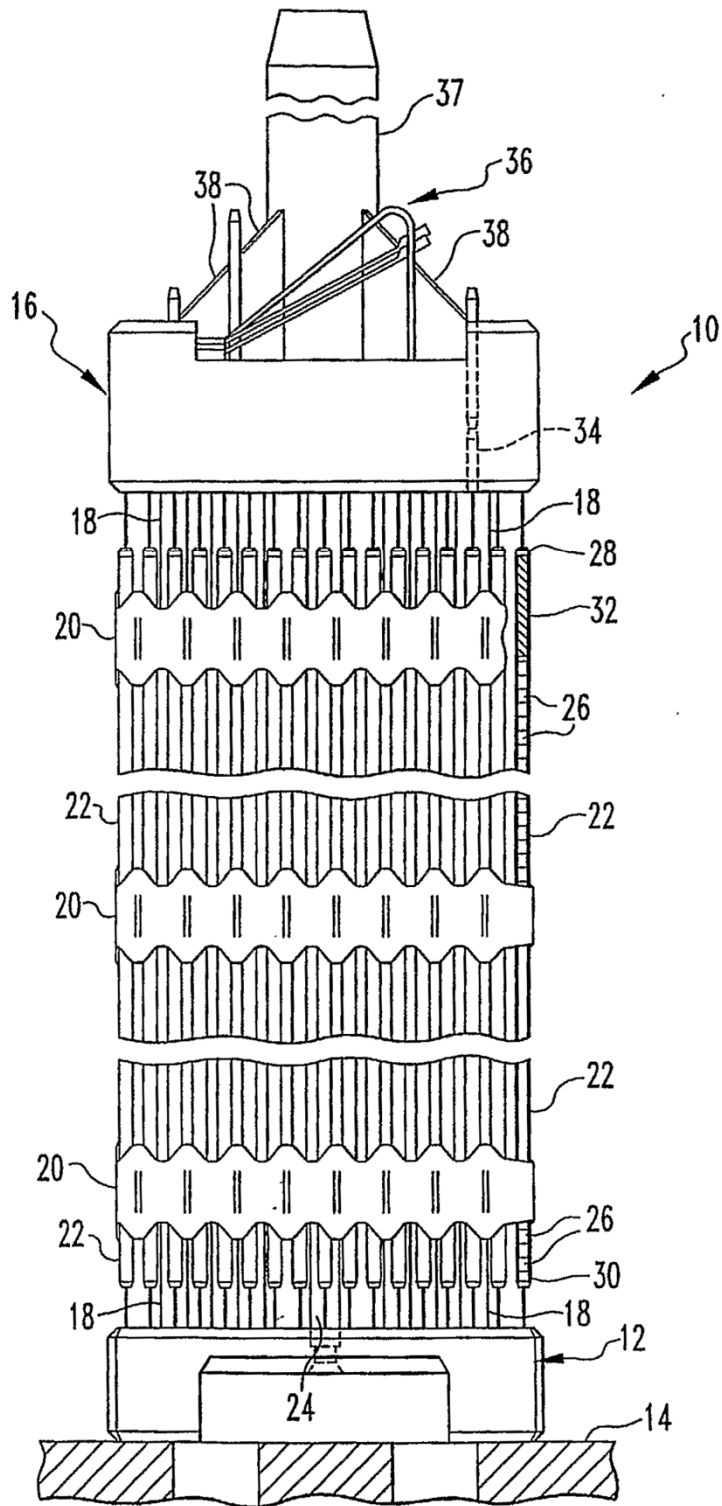
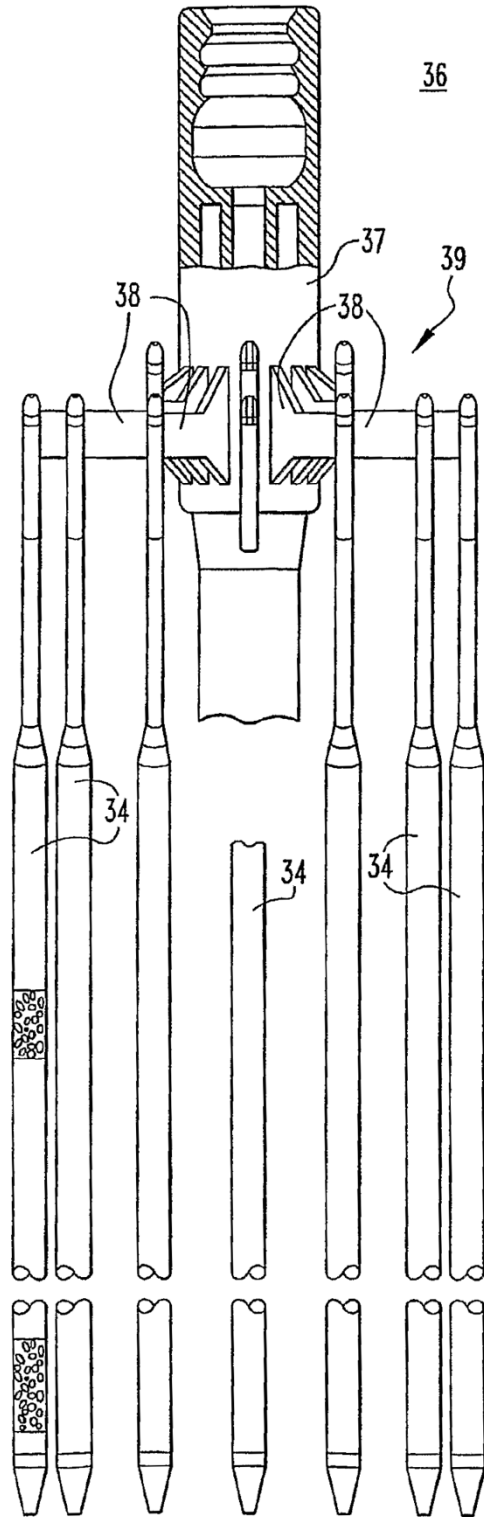
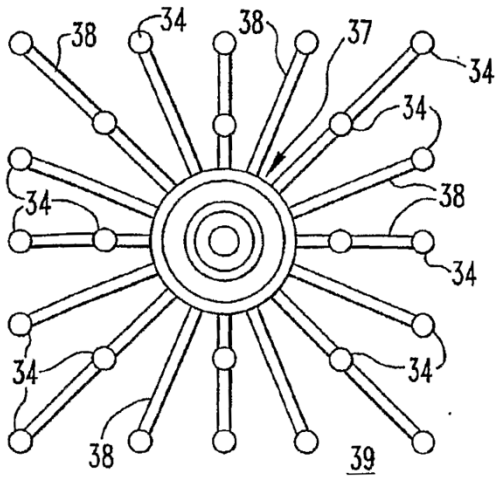
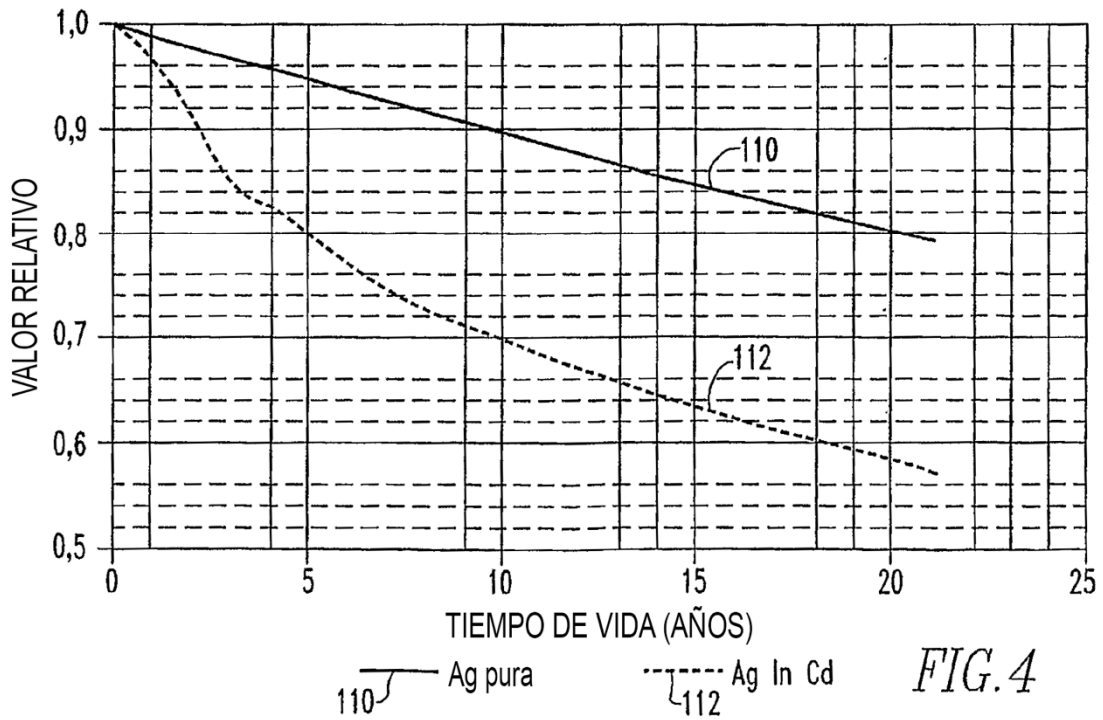
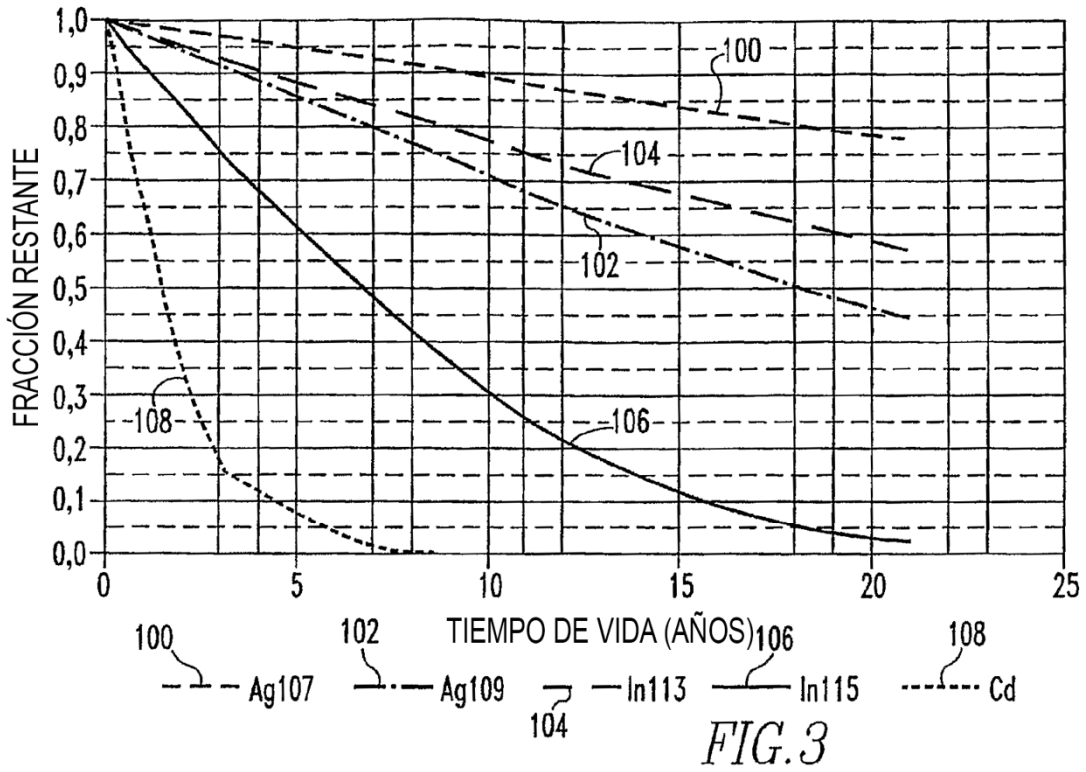
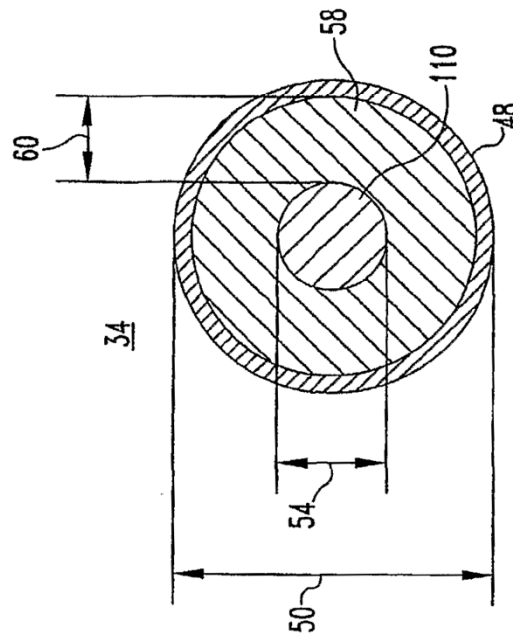
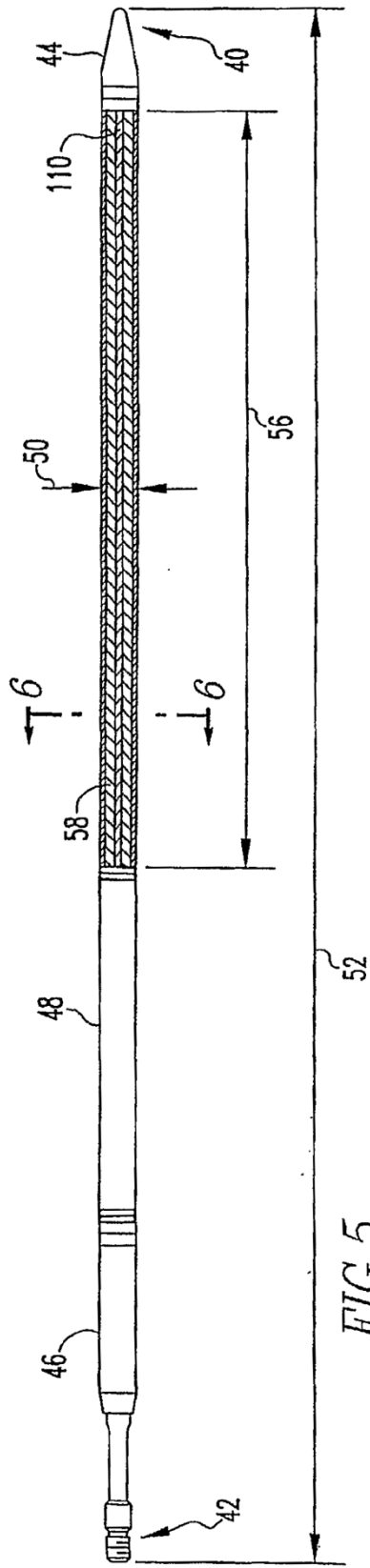


FIG.1







CAMBIO PORCENTUAL EN EL GRCA
DE LA POTENCIA DE LAS VARILLAS ACTUAL

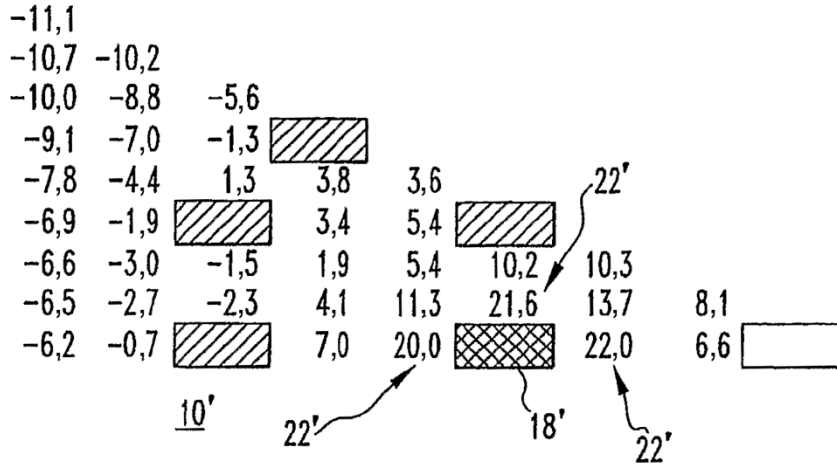


FIG. 7
TÉCNICA ANTERIOR

CAMBIO PORCENTUAL EN EL GRCA
DE LA POTENCIA DE LAS VARILLAS AVANZADO DE LA INVENCION

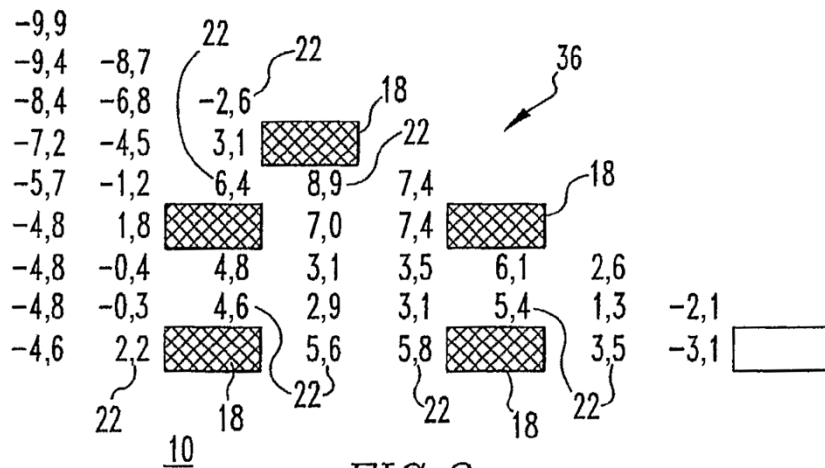


FIG. 8