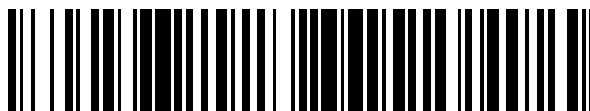


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 461 890**

51 Int. Cl.:

G21C 17/108 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2008 E 08169347 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2014 EP 2077562**

54 Título: **Aparato axial de termómetros gamma y procedimiento para monitorizar el núcleo del reactor en una planta de energía nuclear**

30 Prioridad:

26.11.2007 US 944971

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

21.05.2014

73 Titular/es:

**GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC
(100.0%)
3901 CASTLE HAYNE ROAD WILMINGTON
NORTH CAROLINA 28401, US**

72 Inventor/es:

**FAWKS, JAMES EDWARD y
CUEVAS-VIVAS, GABRIEL FRANCISCO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 461 890 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

Aparato axial de termómetros gamma y procedimiento para monitorizar el núcleo del reactor en una planta de energía nuclear

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a la monitorización del núcleo del reactor en una planta de energía nuclear y, en particular, a la disposición de termómetros gamma en el núcleo de los reactores nucleares de agua en ebullición (BWR).

10 Una planta de energía nuclear de BWR típica incluye instrumentos nucleares que monitorizan la condición del núcleo del reactor. Las señales generadas por estos instrumentos se utilizan para mantener el núcleo del reactor dentro de las condiciones de operación admisibles. Las señales de los instrumentos pueden ser procesadas por un software de monitorización del núcleo que determina las potencias nodales en 3 dimensiones (3D) y los flujos de los haces en 2 dimensiones (2D). Las potencias nodales en 3D y los flujos de los haces en 2D pueden ser utilizados entonces para determinar los márgenes térmicos dentro del núcleo del reactor. Los operadores pueden utilizar los márgenes térmicos determinados para hacer ajustes en las condiciones de operación del núcleo de manera que no excedan las condiciones de operación permitidas. Además, las potencias nodales en 3D y los flujos de haces en 2D pueden ser utilizados por los operadores de la planta para confirmar que el núcleo del reactor está operando dentro de las condiciones de operación admisibles.

15 Los instrumentos para un reactor nuclear BWR típico incluyen un sistema de Sonda Transversal en el Núcleo (TIP) y sistemas de Monitor de Rango de Potencia Local (LPRM) y / o de Monitor de Rango de Neutrones de Arranque (SRNM). Los tipos disponibles de los instrumentos de TIP que comprenden instrumentos para medir el flujo térmico de neutrones y los instrumentos LPRM para medir el flujo gamma. genéricamente miden el flujo térmico de neutrones.

20 El documento US 2003/0128793 describe un procedimiento de monitorización en el núcleo de un reactor nuclear. Los niveles de flujo de neutrones se miden en los niveles de paso correspondientes a los sensores del monitor de rango de potencia local dispuestos a lo largo de una dirección axial dentro de un conjunto detector instalado en el reactor nuclear. Los cálculos de la potencia se hacen, incluyendo el cálculo de las características térmicas, de un grupo de conjunto de combustible que consiste en conjuntos de combustible adyacentes al conjunto detector correspondiente. Los cálculos se basan en los valores indicados de los sensores del monitor de rango de la potencia local del conjunto detector correspondiente en un primer momento. Las características térmicas se realizan en un segundo momento, posterior, en el que no se realiza el cálculo de la potencia, en base a los valores indicados por los sensores del monitor de rango de potencia local y las características térmicas calculadas en el primer momento y los valores indicados por los correspondientes sensores del monitor de rango de potencia local en el segundo momento. Las características térmicas calculadas son monitorizadas.

25 El documento JP 2001 042083 describe un dispositivo de calibración automática para un dispositivo de medición de flujo de neutrones en el núcleo, en el que la calibración es posible en el caso de pérdida de un sensor.

30 El documento US 2001/026603 describe un sistema de instrumentación del reactor nuclear que comprende una pluralidad de conjuntos de instrumentación nuclear en el núcleo dispuestos en un hueco entre un número de conjuntos de combustible cargados en un núcleo del reactor, incluyendo cada uno de los conjuntos de instrumentación nuclear en el núcleo un conjunto detector de neutrones de tipo fijo que comprende una pluralidad de detectores de neutrones de tipo fijo dispuestos dispersivamente en una dirección axial del núcleo y un conjunto de termómetros gamma de tipo fijo que comprende una pluralidad de detectores de calor de rayos gamma de tipo fijo dispuestos al menos en la misma dirección axial del núcleo que los detectores de neutrones de tipo fijo; un dispositivo de procesamiento de la señal del detector de rango de potencia conectado operativamente a los conjuntos detectores de neutrones de tipo fijo por medio de cables de señal; y un dispositivo de procesamiento de la señal de los termómetro gamma conectado operativamente al conjunto de termómetros gamma de tipo fijo del conjunto de instrumentación nuclear en el núcleo por medio de un cable de señal.

35 Los instrumentos de TIP y de LPRM están dispuestos en un núcleo para tomar mediciones axiales en emplazamientos radiales fijos en el núcleo. Convencionalmente, las TIP se mueven mecánicamente dentro y fuera del núcleo para calibrar los LPRM y, en particular, para calibrar los detectores individuales en cada LPRM. Durante el proceso de calibración, una TIP se posiciona al lado de un detector de un LPRM y la electrónica de ganancia del LPRM se ajusta para hacer que el detector de LPRM genere una señal de salida equivalente a una señal de salida de la TIP adyacente. Además, las TIP pueden proporcionar señales de salida procesadas que indican el flujo térmico de neutrones y el flujo gamma a diferentes elevaciones en el núcleo del reactor, tales como en elevaciones a intervalos de 15 centímetros. Las mediciones de flujo tomadas a diferentes elevaciones del núcleo proporcionan información axial con respecto a la forma de la potencia en el núcleo en posiciones en el núcleo sin LPRM.

El mantenimiento y la operación del sistema mecánico de las TIP para elevar y bajar las TIP es caro. Se han utilizado sensores de Termómetros Gamma (GT) en lugar de TIP. A diferencia de las TIP que se mueven dentro y fuera del núcleo, los sensores de GT están colocados en posiciones axiales fijas en el núcleo. De manera similar a las TIP, los sensores de GT se utilizan para calibrar los LPRM. Debido a que los sensores de GT están en emplazamientos axiales fijos, el gasto de un sistema de movimiento mecánico para elevar y bajar las TIP ha sido eliminado en los sensores de GT estacionarios.

En una aplicación convencional, siete o más sensores de GT están dispuestos como una agrupación lineal, tal como en una cadena vertical. Estas disposiciones verticales de siete sensores de GT están colocadas a diferentes alturas fijas en el núcleo del reactor. Las elevaciones fijas de los sensores de GT son determinadas en la fabricación y corresponden a las posiciones axiales fijas en la cadena que soporta a los sensores de GT.

La fabricación de los sensores de GT en las cadenas es problemática debido a las tolerancias ajustadas para la colocación axial de los sensores de GT en cada cadena. Cada GT de una cadena se debe posicionar con precisión en la cadena para ser posicionada en el núcleo en las elevaciones a las que están asignados. Los sensores de GT en cada una de las cadenas verticales son posicionados dentro de unas tolerancias verticales ajustadas para asegurar que cada sensor de GT se posiciona en su posición axial asignada, por ejemplo, adyacente a un LPRM cuando el sensor de GT se posiciona en el núcleo. Las tolerancias verticales ajustadas para las cadenas de GT son necesarias para que los LPRM se puedan calibrar con precisión. Cada cadena de sensores de GT está fijada permanentemente en el núcleo después de que la agrupación esté correctamente posicionada y alineada verticalmente con los LPRM.

Expandir las tolerancias verticales de las cadenas de GT produciría, en combinación con la incertidumbre inherente a cualquier sistema de medición nuclear, por ejemplo, los LPRM, incertidumbres en la determinación de las condiciones de operación del núcleo de un reactor. Un aumento de las incertidumbres en la determinación de las condiciones de operación del núcleo es probable que conduzca a una reducción de los límites de operación del núcleo del reactor puesto que los márgenes de operación se incrementan para compensar el aumento de las incertidumbres. Los márgenes incrementados pueden producir un costo adicional de combustible del reactor cuando las condiciones de operación aceptables se estrechan.

Las ajustadas tolerancias axiales aplicadas a las cadenas de los sensores de GT son problemáticas con respecto a la fabricación de estas agrupaciones. Las tolerancias reducen el número de sensores de GT que se pueden posicionar con precisión en una cadena de GT a, por ejemplo, siete sensores de GT. El número limitado de sensores de GT que puede ser fabricado en cada cadena reduce la cantidad de información básica que puede ser detectada por los sensores de GT.

La cantidad de información con respecto a la forma axial de la potencia de un núcleo que puede ser detectada por una cadena de GT depende del número de sensores de GT dispuestos verticalmente en la cadena. Cada sensor de GT recoge datos en una posición axial particular en la cadena, que corresponde a una elevación en el núcleo. La limitación del número de sensores de GT en cada cadena GT limita las elevaciones del núcleo para los que hay datos de los sensores de GT.

La cantidad de información con respecto a la forma axial de la potencia aumenta a medida que aumenta el número de sensores de GT en una cadena. Por ejemplo, siete sensores de GT en una cadena proporcionan menos información sobre la forma axial de la potencia a diferentes alturas del núcleo de lo que lo harían veinte sensores de GT en una cadena. El aumento de la información que es detectada por los sensores de GT respecto a la forma axial de la potencia en un núcleo reduce la incertidumbre de esa forma de la potencia. Una reducción en la incertidumbre de la forma de la potencia permite una reducción correspondiente en los márgenes aplicados a los límites de operación del núcleo. La reducción de los márgenes de incertidumbre permite que el núcleo sea operado en condiciones que son seguras y más eficiente respecto al consumo de combustible.

Es convencional que los emplazamientos axiales de cada GT / sensor en una cadena sean especificados antes de la fabricación de la cadena. Además, cada cadena de GT para un núcleo está fabricada de tal manera que los sensores de GT estén dispuestos en los mismos emplazamientos axiales en cada cadena. Por lo tanto, los sensores de GT están dispuestos en las mismas elevaciones del núcleo en cada emplazamiento axial de las disposiciones de GT. Debido a que estos emplazamientos de elevación de GT son fijos, las elevaciones de GT son codificadas típicamente en el software de monitorización del núcleo. El software de monitorización del núcleo no permite que los sensores de GT sean dispuestos en las elevaciones del núcleo fuera de las posiciones axiales asignadas a cada sensor y las tolerancias ajustadas predefinidas para los sensores de GT.

Existe la necesidad largamente sentida de una disposición de sensores de GT que se pueda fabricar fácilmente y proporcione una mayor cantidad de información con respecto a la forma axial de la potencia de un núcleo.

Breve descripción de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento para recoger datos con respecto a la condición de operación del núcleo de un reactor nuclear y un par de agrupaciones lineales de sensores de termómetros gamma (GT) dispuestos en un núcleo del reactor nuclear tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 5 A continuación se da una descripción detallada de realizaciones de la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:
- la figura 1 es un diagrama esquemático de un núcleo del reactor que se muestra en una vista de arriba hacia abajo;
- 10 la figura 2 es una vista en perspectiva de un tubo de instrumentos dispuesto entre haces de combustible, y que muestra el tubo en una vista recortada para exponer los sensores en el tubo;
- la figura 3 es un diagrama esquemático de un tubo de instrumentos que aloja sensores para un LPRM y una cadena de GT con un número relativamente grande de sensores de GT;
- la figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de fabricación y el procedimiento de registro para las cadenas de GT;
- 15 la figura 5 muestra un mapa en tres dimensiones (3D) ejemplar de un mapa de potencia generado por los datos obtenidos de los sensores de GT;
- La figura 6 es un diagrama esquemático de un par de tubos de instrumentos en posiciones simétricas en el núcleo y que tienen cadenas de GT con sensores de GT dispuestos asimétricamente en la cadena;
- 20 La figura 7 es un gráfico que muestra un ejemplo de señales esperadas de instrumentación (tales como de LPRM, sensores de GT) a diferentes elevaciones axiales y demuestra las similitudes de dos disposiciones lineales de instrumentos en emplazamientos simétricos en el núcleo.

Descripción detallada de la invención

25 La figura 1 es una ilustración esquemática de un núcleo 10 de reactor que está contenido en un recipiente 12 del reactor de un BWR. El núcleo 10 comprende, por ejemplo, cientos de haces de combustible 14 (identificados en la figura 1 por cuadrados blancos con bordes negros). Cada haz de combustible 14 puede incluir una agrupación de barras de combustible, barras de agua y canales. Unas hojas de barras de control (no mostradas) se insertan entre los grupos de haces, por ejemplo, entre las disposiciones de haces de 2 x 2. El agua en el recipiente 12 del reactor rodea las barras. El calor generado por la reacción nuclear es transferido desde las barras al agua que circula a través del núcleo, haciendo hervir parte del agua. El calor generado en el núcleo se controla cuidadosamente para mantener las operaciones seguras y eficientes del reactor en el núcleo.

30 El recipiente 12 es típicamente una cámara cilíndrica sellada llena de agua dentro del BWR. Los haces de combustible están sumergidos en el agua en el recipiente 12, en el que el recipiente puede tener una profundidad llena de agua de aproximadamente 4 metros o más. La figura 1 es una vista de arriba hacia abajo de un recipiente que muestra la agrupación en dos dimensiones (2D) de cientos de haces de combustible 14 dispuesta en el núcleo. La agrupación en 2D de haces de combustible puede estar dispuesta en filas y columnas y tiene un perímetro generalmente circular. El centro 16 de la agrupación de haces de combustible es conocido como el centro radial de la agrupación. Los haces de combustible 14 cerca del centro 16 de la agrupación tienden a experimentar unas condiciones de operación más severas que las de los haces de combustible cerca de la periferia exterior 18 de la agrupación. Los haces de combustible en un radio común 20 en la agrupación experimentarán típicamente condiciones de operación de núcleo similares.

35 Varios instrumentos se posicionan en el recipiente del núcleo para monitorizar las condiciones en el núcleo. Estos instrumentos pueden incluir dispositivos de medición de flujo que miden el flujo de neutrones y de rayos gamma en el núcleo y proporcionan datos indicativos de la potencia del reactor. Por ejemplo, canales 22 de los monitores de neutrones de rango de arranque (SRNM) (cuadrados negros en la figura 1) y sistemas 28 de monitores de rango de potencia local (LPRM) (círculos negros). Los canales de SRNM miden rangos de potencia baja del flujo de neutrones en sus emplazamientos de canal respectivo en el núcleo. El núcleo puede tener otros monitores de potencia, tales como los canales de monitores de rango de potencia local (LPRM) que miden el flujo de neutrones y de rayos gamma en el núcleo. Además, los instrumentos de TIP o de GT pueden estar dispuestos lado a lado con los LPRM y SRNM.

40 Los instrumentos 22 y 28 están dispuestos en posiciones predeterminadas en el núcleo, tales como en las posiciones radiales predeterminadas con respecto al centro 16 del núcleo. Los instrumentos pueden estar dispuestos simétricamente en el núcleo tal como se muestra en la figura 1. Cada tipo de instrumento, por ejemplo, los LPRM y SRNM, se puede disponer simétricamente en el núcleo. Los instrumentos de monitorización, por ejemplo, LPRM, SRNM, TIP y

los sensores de GT, miden el flujo de neutrones y / o de rayos gamma en distintas posiciones radiales y elevaciones en el núcleo.

El núcleo tiene una línea de simetría 31 que se extiende a través del centro 16 del núcleo 10. El núcleo es simétrico con respecto al eje de simetría. La línea de simetría es típicamente una línea que se extiende en 45 grados desde la posición de 1:30 a la posición de 7:30 en el núcleo, como se muestra en la figura 1. En particular, las condiciones en la disposición y la condición del núcleo son especulares en los lados opuestos de la línea de simetría. Con respecto a los instrumentos 33 a la misma distancia (común) desde la línea de simetría y a lo largo de una línea perpendicular a la línea de simetría, reciben una cantidad uniforme de flujo desde el núcleo, siempre que se encuentren en la misma elevación en el núcleo. A modo de ejemplo, los instrumentos 33, por ejemplo, un par de cadenas de GT, están a la misma distancia de la línea de simetría 31 a lo largo de una línea perpendicular a la línea de simetría. Los sensores de GT en este par de cadenas de GT a la misma elevación en el núcleo recibirán la misma cantidad de flujo desde el núcleo.

La figura 2 muestra una disposición convencional de los haces de combustible 14, que rodean a un instrumento de medición de flujo 30, y adyacente a una hoja de barra de control 32. El instrumento de medición de flujo 30 puede estar alojado en un tubo hueco sellado de instrumentos 34 que contiene una agrupación de cadenas lineales de GT 36 de sensores individuales, incluyendo termómetros gamma (sensores de GT) 38 y detectores de flujo de neutrones 40 para un LPRM o SRNM.

Los instrumentos 30 se disponen típicamente entre un grupo de cuatro haces de combustible adyacentes. Cada instrumento 30 se extiende sustancialmente en la longitud de los haces de combustible, preferiblemente al menos la longitud de la porción activa de las barras de combustible en el haz. Los instrumentos se encuentran a la misma elevación en el núcleo que los haces de combustible y se fijan preferiblemente en el núcleo durante la operación nuclear del núcleo.

Los instrumentos 30 están dispuestos en un núcleo para recoger datos con respecto a los niveles de flujo de neutrones y de rayos gamma en varias posiciones radiales en el núcleo. En cada posición radial en el núcleo, los instrumentos recogen los datos de nivel de flujo a diferentes alturas en el núcleo. Dentro de cada tubo de instrumentos 34, los sensores de medición individuales 38, 40 están dispuestos en diferentes posiciones axiales a lo largo de la longitud del tubo. Cuando el tubo se encuentra en el núcleo, estos emplazamientos axiales en los sensores corresponden a diferentes elevaciones en el núcleo. Los sensores proporcionan datos sobre los niveles de flujo de cada una de las posiciones axiales de los sensores en el tubo de instrumentos 34 y en las elevaciones del núcleo que corresponden a las posiciones axiales.

En cada tubo de instrumentos 34, los sensores pueden incluir, por ejemplo, sensores de GT, LPRM y SRNM. Los sensores también pueden incluir TIP, que están dispuestas adyacentes al tubo de instrumentos. Sin embargo, las TIP típicamente no están fijadas en el núcleo, y son movidas mecánicamente dentro y fuera del núcleo por los operadores de la planta. Las TIP preferiblemente no se usan debido a que requieren transportadores mecánicos complejos y costosos para mover las TIP dentro del núcleo. Una de las ventajas de los sensores de GT sobre las TIP es que los sensores de GT se pueden fijar en un alojamiento del tubo 34 con los LPRM o los SRNM.

Cada sensor de GT 38 genera señales de salida que proporcionan datos de los niveles de flujo gamma en el emplazamiento radial en la cadena para el sensor que corresponde a una elevación en el núcleo. Los sensores de GT en cada alojamiento del tubo 34 se pueden usar para calibrar los LPRM 40 en el mismo tubo. Para calibrar los LPRM, la cadena 36 de sensores de GT se posiciona en el tubo de tal manera que un sensor de GT está alineado axialmente al lado de un LPRM en el tubo. Para calibrar un LPRM, la señal de salida del LPRM se ajusta para que coincida con la señal de salida del sensor de GT adyacente al LPRM. La señal de salida del LPRM se puede ajustar cambiando la ganancia de la electrónica en el LPRM que procesa la señal del LPRM. Además, los sensores de GT pueden ser utilizados para adquirir datos de flujo del núcleo.

La disposición de los sensores de GT 38 en el tubo 34 que se muestra en la figura 2 están dispuestos en posiciones predeterminadas a lo largo de la cadena de GT 36. La cadena de GT y sus sensores de GT son convencionales. Estos lugares predeterminados se especifican antes del proceso de fabricación de la cadena de GT. La cadena está fabricada de tal manera que los sensores de GT 38 están posicionados en las posiciones axiales predeterminadas a lo largo de la cadena. Típicamente, un número relativamente pequeño de sensores de GT, por ejemplo, siete, se posicionan en una cadena en lugares axiales especificados correspondientes a los emplazamientos de los sensores para el LPRM. Las posiciones de cadena axial predeterminadas de los sensores de GT están sujetas a tolerancias ajustadas para asegurar que los sensores de GT están posicionados adyacentes a los sensores de LPRM. El posicionamiento de los sensores de GT en la misma posición axial que los LPRM es necesario para que los sensores calibren con precisión cada sensor LPRM con un sensor de GT adyacente. Cuanto mayor sea la distancia axial entre el sensor de GT y el sensor de LPRM, mayor será la incertidumbre en la calibración del sensor de LPRM.

Debido a las restricciones del proceso de fabricación de las cadenas de GT y las tolerancias axiales ajustadas para posicionar los sensores de GT en la cadena, las cadenas convencionales de siete sensores de GT es el número

máximo de sensores que pueden ser fabricados económicamente usando procesos de fabricación de cadena convencionales. Además de calibrar los sensores de LPRM, los datos de flujo procedentes de los sensores de GT se pueden usar para determinar la forma de la potencia del núcleo. El número limitado de sensores de GT reduce el flujo de datos que pueden ser adquiridos en diferentes elevaciones del núcleo por los sensores de GT. La resolución de la forma de la potencia determinada del núcleo depende, en parte, del número de sensores de GT en cada cadena. Con sólo siete sensores de GT en cada cadena, la resolución de la forma de potencia (tal como es determinada por los sensores de GT) en una dirección axial del núcleo, por ejemplo, en diferentes elevaciones del núcleo, es relativamente grosera.

La resolución de la forma de la potencia determinada del núcleo se puede aumentar mediante el aumento del número de sensores de GT en cada cadena de GT. Una nueva estructura de cadena de GT y un procedimiento para la fabricación de las cadenas han sido desarrollados, los cuales eliminan la restricción del posicionamiento axial de prefabricación de los sensores de GT en una cadena. Eliminando esta restricción de posicionamiento, un número relativamente grande de sensores de GT, por ejemplo, dieciséis o más, pueden estar dispuestos en una cadena.

La figura 3 es un diagrama esquemático de un tubo de instrumentos 34 que aloja sensores para un LPRM y una cadena de GT 42 con un número relativamente grande de sensores de GT 38. El alojamiento del tubo, los LPRM y los GT pueden ser convencionales. El proceso de fabricación de la cadena de GT también puede ser convencional, con la excepción de que el proceso de fabricación no está limitado al posicionamiento de los sensores de GT en las posiciones axiales predeterminadas sobre la cadena. El proceso de fabricación puede incluir el posicionamiento de un número relativamente grande de sensores de GT, por ejemplo, dieciséis o más, en una barra metálica que tiene un diámetro, por ejemplo, de 5 cm y una longitud de 30 cm.

La figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de fabricación y de un procedimiento de registro para las cadenas de GT. En el paso 60, el número de sensores de GT posicionados en la barra puede ser tan elevado como se pueda disponer en la barra preextruida. En el paso 62, la barra con los sensores de GT se estira por medio de un proceso de extrusión convencional a una longitud de, por ejemplo, 4,5 m y un diámetro 6 mm. Durante el proceso de extrusión, los sensores de GT se dispersan arbitrariamente en alguna medida a lo largo de la longitud axial de la barra, como se muestra en la barra estirada 42 que se muestra en la figura 3.

Después del proceso de extrusión, la posición axial 44 de cada sensor de GT 38 en la cadena se mide utilizando los instrumentos y procedimientos de detección de sensor de GT convencionales, en el paso 64. La posición axial 44 de cada sensor de GT es determinada con un alto grado de precisión, por ejemplo, de 1 a 5 mm. La posición axial de cada sensor de GT es registrada y almacenada para referencia futura cuando se utiliza la cadena de GT en particular, en el paso 66. La posición axial de cada sensor de GT se almacena en un archivo informático de datos que está asociado con la cadena de GT correspondiente.

El archivo de datos de las posiciones axiales de cada sensor de GT en una cadena de GT se carga en un sistema informático para el núcleo del reactor que incluye un programa de software de monitorización del núcleo, en el paso 68. Este programa puede ser un sistema convencional para monitorizar las operaciones del núcleo del reactor, analizando los datos de los instrumentos y sensores de monitorización del núcleo y generando mapas que muestran la forma de la potencia del núcleo en tres dimensiones (3D), incluyendo direcciones radiales y elevaciones en el núcleo. Los programas de monitorización del núcleo convencionales tienen posiciones axiales codificadas como las posiciones conocidas de los sensores de GT en cada cadena de GT. Para los fines presentes, el programa se modifica para aceptar un archivo de entrada de las posiciones de los sensores de GT para cada una de las cadenas de GT en los tubos de instrumentos dispuestos en el núcleo. En particular, el programa de software lee el archivo de datos de las posiciones axiales de los sensores de GT de cada cadena de GT y determina la elevación en el núcleo de cada sensor de GT, en el paso 70. El software asocia la elevación de cada sensor de GT con la posición radial de la cadena de GT en el núcleo (y, opcionalmente, el ángulo de los radios asociado con el sensor). Conociendo la elevación y la posición radial de cada sensor de GT, el software de monitorización del núcleo utiliza los datos recogidos por los sensores para generar un mapa de la forma de la potencia del núcleo, en el paso 72.

Un gráfico de la forma de la potencia en 3D ejemplar 56 se muestra en la figura 5. La forma del gráfico en 3D presenta distribuciones radiales de la potencia a diferentes alturas axiales (E) en el núcleo correspondientes a la elevación de los sensores de GT en las cadenas de GT. Los emplazamiento del núcleo 57 pueden ser codificados por colores para representar la potencia del núcleo en cada emplazamiento. Por ejemplo, un emplazamiento del núcleo 57 que se muestra en rojo puede indicar un nivel de la potencia mayor que otro emplazamiento del núcleo que se muestra en azul. Los emplazamientos del núcleo se muestran en el gráfico en 3D 56 a diferentes alturas del núcleo y en diferentes posiciones del núcleo en cada elevación.

Además, el fabricante del tubo de instrumentos 34 o el software de monitorización del núcleo identifica el sensor de GT 46 en una cadena adyacente a cada detector del LPRM 40 en el tubo, en el paso 74. El sensor de GT identificado adyacente a cada detector se utiliza para calibrar el detector, en el paso 76. Debido al número relativamente grande de sensores de GT dispuestos en la cadena, habrá un sensor de GT adyacente a cada detector de LPRM. Los sen-

sores de GT adyacentes a cada detector de LPRM se pueden determinar conociendo el emplazamiento axial de ambos sensores de GT y detectores de LPRM.

Si el sensor de GT adyacente falla o no está disponible, el sensor de GT más cercano al detector se puede utilizar para proporcionar la calibración del detector. El uso de un sensor de GT que está más lejos del detector, aumenta la incertidumbre de la calibración.

Habiendo determinado la fabricación de las cadenas de GT los emplazamientos axiales integrados de los sensores de GT después de que la cadena se fabrique, permite eliminar el requisito de que un sensor de GT particular sea posicionado en una posición axial específica en la cadena. Sin este requisito, muchos más sensores de GT, por ejemplo, dos a tres veces más sensores de GT se pueden posicionar en una cadena de GT que cuando se impone el requisito. Al aumentar el número de sensores de GT en una cadena se aumentan las elevaciones en el núcleo en el que los sensores de GT recogen datos de flujo con respecto a la potencia del núcleo.

La figura 6 es un diagrama esquemático de un par de tubos de instrumentos 52, 54 en posiciones simétricas (ver los instrumentos 33 en la figura 1) en el núcleo y que tienen cadenas de GT 56, 58 estando dispuestos los sensores de GT asimétricamente en la cadena. El par de tubos de instrumentos 52, 54 están dispuestos a una distancia común desde la línea de simetría 31 (figura 1). Ambos de estos tubos 52, 54 tienen una cadena de GT 56, 58 de sensores de GT y un LPRM 40. Las cadenas de GT 56, 58 detectan las mismas condiciones básicas, por ejemplo, el flujo de rayos gamma, porque se encuentran en posiciones simétricas en el núcleo. Las posiciones simétricas en el núcleo incluyen posiciones en la misma elevación del núcleo y a la misma distancia de la línea de simetría a lo largo de un núcleo de línea perpendicular a la línea de simetría. En las cadenas de GT situadas simétricamente, se puede suponer con seguridad que los datos de flujo recogidos por los sensores de GT en las cadenas deben ser los mismos, excepto por las variaciones de elevación de los sensores de GT.

La agrupación asimétrica de los sensores de GT en las cadenas puede ser intencional y basarse en emplazamientos axiales de los sensores de GT determinados antes de la fabricación de la cadena de GT. Debido a las posiciones axiales predeterminadas de los sensores de GT, el número de sensores que se pueden disponer en la cadena se limita a, por ejemplo siete sensores de GT. La cadena de GT 56 en el lado izquierdo de la figura 6 tiene más sensores de GT en la mitad superior de la cadena que en la mitad inferior. Del mismo modo, la cadena de GT en el lado derecho de la figura 6 tiene más sensores de GT en la mitad inferior de la cadena que en la mitad superior. Otra forma de emplazamientos asimétricos es tener el mismo número de sensores de GT en dos cadenas en simetría y siendo diferentes las posiciones axiales de los sensores de GT en cada cadena.

La agrupación axial asimétrica de los sensores de GT en cada cadena resulta en que al menos algunos de los sensores de GT en una cadena 56 se encuentran en elevaciones en el núcleo en los que no hay sensor de GT correspondiente en la otra cadena 58. En esas elevaciones del núcleo, sólo una cadena de GT está adquiriendo datos en relación con el flujo en el núcleo. Además, hay un menor número de sensores de GT que de detectores 40 para el LPRM. La calibración de los detectores sin un sensor de GT asociado es problemática. Las posiciones axiales de los detectores de LPRM son idénticas para ambos tubos de instrumentos 56, 58. Las cadenas GT 56, 58 simétricamente posicionadas, tienen sensores de GT dispuestos de tal manera que colectivamente para ambas cadenas hay un sensor de GT en cada una de las posiciones axiales de los detectores de LPRM en el tubo de instrumentos. El software de monitorización de núcleo identifica los sensores de GT que se encuentran directamente adyacentes a un detector de LPRM, por ejemplo, a la misma altura, o los sensores de GT más cercanos al detector de LPRM. Si sólo un sensor de GT se identifica (por ejemplo, un sensor de GT que se encuentra en la misma elevación que el detector), el detector se calibra mediante el ajuste de la electrónica asociada con el detector de LPRM hasta que el detector emita el mismo nivel de señal que el que está siendo detectada por el sensor de GT identificado. Si múltiples sensores de GT se identifican como situados en la proximidad de un detector de LPRM, el software de monitorización del núcleo puede interpolar las señales del sensor de GT, tales como en una media ponderada basada en la distancia axial de cada sensor de GT a la misma elevación del detector. La media ponderada de los sensores de GT es utilizada por el software como una señal de referencia con la que se corresponde la salida del detector de LPRM mediante el ajuste de la electrónica para el detector de LPRM.

El software de monitorización de núcleo infiere que las cadenas de GT en emplazamientos simétricos, por ejemplo, a la misma distancia desde el eje de simetría radial, experimentan las mismas condiciones básicas, incluyendo el flujo del núcleo. Sobre la base de esta inferencia, el software de monitorización de núcleo se aplica a los datos del sensor de GT de una cadena (la "cadena de origen") como datos que se recopilan tanto en la cadena de origen como los datos recogidos en otra cadena en un emplazamiento del núcleo simétrico con la cadena de origen, a menos que la otra cadena tenga un sensor de GT en el mismo emplazamiento del núcleo. Del mismo modo, un detector de LPRM 40 que no tiene un sensor de GT directamente adyacente puede ser calibrado usando los datos del sensor de GT en la misma elevación, o próxima que el detector y en un tubo de instrumentos en un emplazamiento simétrico del núcleo.

La figura 7 es un gráfico que muestra la fuerte correlación de los datos de los sensores de GT (GT - 1, GT - 2) y los datos de los detectores (LPRM - cadena - 1, LPRM - cadena - 2), en el que los sensores y detectores se encuentran

- 5 casi en el mismo emplazamiento axial en un tubo de instrumentos, y los tubos están dispuestos simétricamente en el núcleo. En particular, un primer tubo de instrumentos con sensores de GT (GT - 1) y detectores (LPRM - cadena - 1) está dispuesto simétricamente en el núcleo con un segundo tubo con sensores de GT (GT - 2) y detectores (LPRM - cadena - 2). Los sensores de GT en la misma altura axial en ambos tubos tienen sustancialmente la misma salida de la señal de datos esperada. Del mismo modo, los detectores (LPRM) en ambos tubos y a la misma altura axial tienen la misma salida de señal del detector esperada, que es igual a las señales del sensor de GT para la elevación correspondiente. Debido a la similitud de señales, un sensor de GT en un tubo puede ser usado para calibrar un detector en otro tubo, siempre que el detector esté a la misma altura que el sensor de GT y el tubo con el detector esté dispuesto simétricamente en el núcleo con el tubo que tiene el sensor de GT.
- 10 El software de monitorización de núcleo identifica las cadenas de GT en el núcleo en emplazamientos simétricos del núcleo, en el paso 78 de la figura 4. Para las cadenas simétricas de GT, el controlador identifica las elevaciones del núcleo en el que una, pero no en ambas cadenas simétricas tienen un sensor de GT, en el paso 80. Para el un sensor de GT en cada una de las elevaciones del núcleo identificadas, se aplican los datos de los sensores como procedentes de ambas cadenas simétricas en el análisis de la condición del núcleo, tales como en la generación de una
- 15 forma de potencia del núcleo. Para calibrar los detectores de LPRM, el software de monitorización del núcleo identifica los detectores 40 que no tienen un sensor de GT adyacente en el mismo tubo de instrumentos, en el paso 84. Para calibrar cada uno de los detectores identificados 40, se utilizan los datos del sensor de GT en la misma posición axial que el detector, pero de un tubo de instrumentos posicionado simétricamente en el núcleo.
- 20 Los dos esquemas que se han desvelado en la presente memoria descriptiva para aumentar el número efectivo de sensores de GT que monitorizan un núcleo reducen la incertidumbre en el sistema de medición nuclear con relación a la corriente óptima económica de alrededor de sólo siete sensores de GT por cadena de GT. El primer esquema aumenta el número de sensores de GT en cada cadena, pero tiene un riesgo de no posicionar un sensor de GT directamente adyacente a un detector de LPRM con fines de calibración. El segundo esquema utiliza un número reducido (aunque un número convencional) de sensores de GT pero se basa en una disposición asimétrica de los sensores y la sustitución de datos de los sensores entre los tubos de instrumentos posicionados simétricamente en el
- 25 núcleo. Ambos esquemas recogen los datos en más elevaciones del núcleo que lo que se puede lograr por medio de los procedimientos conocidos de fabricación de cadenas de GT. La reducción de la incertidumbre en el sistema de medición impacta favorablemente sobre los límites de operación del núcleo y puede producir un mejor rendimiento del núcleo, menores costos de combustible y la eliminación de TIP complejas.
- 30 El software de monitorización utiliza la disposición asimétrica de los sensores para la sustitución de los datos de los sensores entre los tubos de instrumentos simétricamente posicionados en el núcleo, la monitorización y para calibrar los detectores, por ejemplo, los detectores de LPRM en diferentes tubos. Esta capacidad permite que el software calibre un mayor número de detectores de LPRM que el número de sensores de GT fijos. La calibración puede llevarse a cabo con frecuencia para asegurarse que los datos generados por los detectores se calibran con precisión.
- 35 Además, los detectores que no sean sensores de GT adyacentes pueden ser calibrados utilizando datos procedentes de sensores de GT que se posicionan simétricamente en otro tubo de instrumentos. Mientras que la posibilidad de sustitución de los datos de los sensores desde emplazamientos simétricos en un núcleo es convencional, esta revelación presenta una aplicación de la capacidad de sustitución de los datos de los sensores que antes era desconocida según el leal saber y entender de los inventores.
- 40 Aunque la invención ha sido descrita en conexión con lo que se considera actualmente que es la realización más práctica y preferida, se debe entender que la invención no está limitada a la realización descrita, sino que, por el contrario, está concebida para cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para recoger datos sobre la condición de operación del núcleo de un reactor nuclear (10), comprendiendo el procedimiento:
 - 5 posicionar una primera agrupación lineal (36, 52) de sensores de termómetro gamma (GT) (38) en un primer alojamiento del instrumento (34), en el que los sensores de GT (38) están dispuestos asimétricamente a lo largo de la primera agrupación lineal (36, 52);
 - 10 posicionar una segunda agrupación lineal (36, 54) de sensores de GT (38) en un segundo alojamiento del instrumento (34), en el que los sensores de GT (38) están dispuestos asimétricamente a lo largo de la primera agrupación (36, 54) y en el que el segundo conjunto lineal (36, 54) de sensores de GT es asimétrico con respecto a la primera cadena lineal de (36, 52) de sensores de GT;
 - 15 posicionar el primer alojamiento del instrumento (34) en el núcleo del reactor (10) en un primer emplazamiento del núcleo y posicionar el segundo alojamiento del instrumento (34) en un segundo emplazamiento del núcleo, en el que el primer emplazamiento del núcleo (33) y el segundo emplazamiento del núcleo (33) están a una distancia común desde una línea de simetría (31) que se extiende a través del núcleo (10);
 - 20 recoger los datos de condición de núcleo de al menos uno de los sensores de GT (38) en la primera agrupación lineal (36, 52) de sensores de GT (38); y
 - aplicar la condición de núcleo recogida como datos recogidos de la segunda agrupación lineal (36, 54) incluyendo aplicar los datos que han sido recogidos en sustancialmente la misma altura que el al menos uno de los sensores de GT (38) en la primera agrupación lineal (36, 52).
2. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que la elevación en la segunda agrupación lineal no tiene un sensor de GT (80).
3. El procedimiento como en la reivindicación 2, en el que la elevación incluye un detector (84) para un monitor de rango de potencia local (LPRM) adyacente a la segunda agrupación lineal (36, 54), y el procedimiento incluye calibrar el detector (84) usando los datos recogidos desde el al menos un sensor de GT (38) en la primera agrupación lineal (36, 52) a la misma elevación.
4. El procedimiento como en la reivindicación 3, en el que la segunda agrupación lineal (54) incluye una mayoría de los sensores de GT (38) en una mitad inferior de la agrupación y la primera agrupación lineal (52) incluye una mayoría de los sensores de GT (38) en una mitad superior de la agrupación, y al menos uno de los citados sensores de GT (38) en la mitad inferior de la agrupación en la primera agrupación lineal (52) es adyacente a cada detector (84) de un primer LPRM (40) adyacente a la primera agrupación lineal (52) y al menos un detector (84) en una mitad superior del primer LPRM (40) no tiene ningún sensor de GT adyacente (38) en la primera agrupación lineal (52), y al menos uno de los citados sensores de GT (38) en la mitad superior de la agrupación en la segunda agrupación lineal (54) es adyacente a cada detector (84) de un segundo LPRM (40) adyacente a la segunda cadena lineal (54) y al menos un detector (84) en una mitad inferior del segundo LPRM (40) no tiene ningún sensor de GT adyacente de la segunda agrupación lineal (54).
5. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que la aplicación de los datos de núcleo recogidos incluye la generación de una forma de potencia para el núcleo.
6. Un par de agrupaciones lineales de sensores de termómetros gamma (GT) dispuestos en un núcleo de reactor nuclear, comprendiendo el par:
 - 40 un primer alojamiento del instrumento (34) que incluye una primera agrupación lineal (36, 52) de sensores de GT (38), en el que los sensores de GT (38) están dispuestos asimétricamente a lo largo de la primera agrupación lineal (36, 52);
 - 45 un segundo alojamiento del instrumento (34) que incluye una segunda agrupación lineal (36, 54) de sensores de GT (38), en el que los sensores de GT (38) están dispuestos asimétricamente a lo largo de la segunda agrupación lineal (36, 54);
 - 50 en el que el primer alojamiento del instrumento (34) se posiciona en el núcleo del reactor (10) en un primer emplazamiento de núcleo y el segundo alojamiento del instrumento (34) se posiciona en un segundo emplazamiento de núcleo, estando el primer emplazamiento del núcleo (33) y el segundo emplazamiento del núcleo (33) a una distancia común desde una línea de simetría (31) que se extiende a través del núcleo (10) y en el que la segunda agrupación lineal (36, 54) de sensores de GT (38) es asimétrica con respecto a la primera agrupación lineal (36, 52) de sensores de GT (38) con respecto al posicionamiento de los alojamientos primero y segundo de instrumentos (34) en el núcleo del reactor.

7. El par como en la reivindicación 6, en el que la segunda agrupación lineal (54) incluye una mayoría de los sensores de GT (38) en una mitad inferior de la agrupación y la primera agrupación lineal (52) incluye una mayoría de los sensores de GT (32) en una mitad superior de la agrupación.

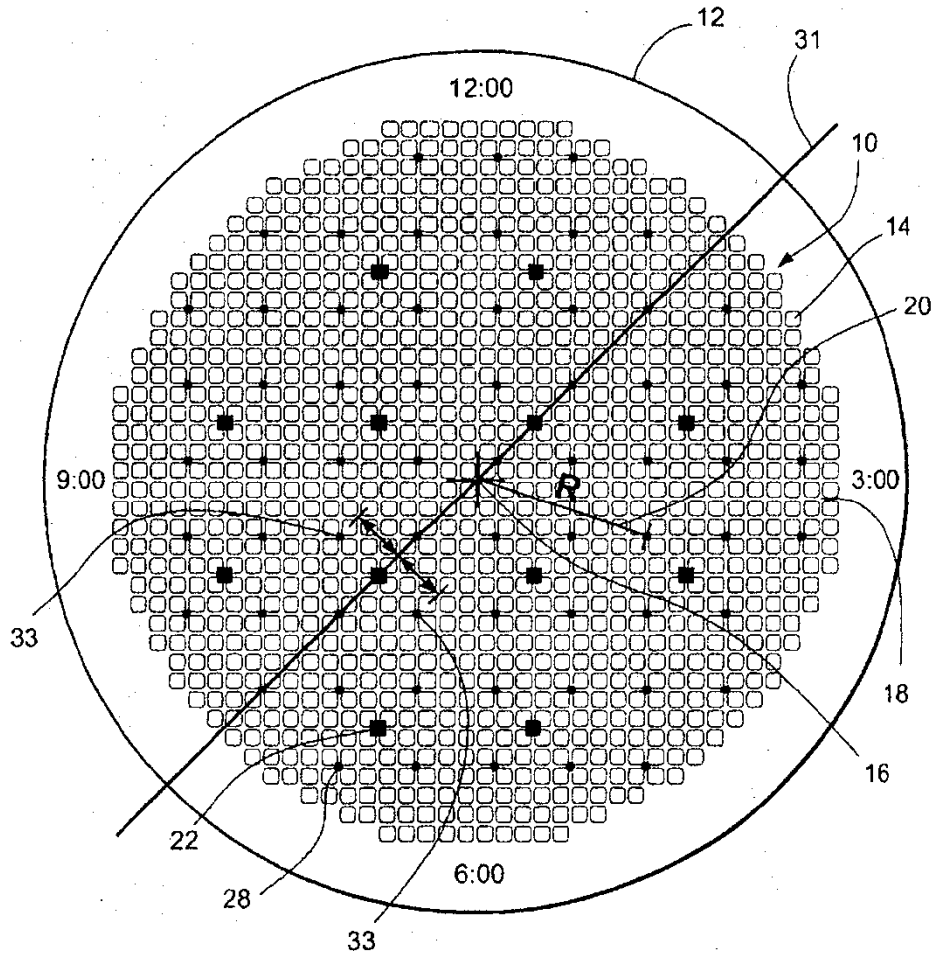


FIG. 1

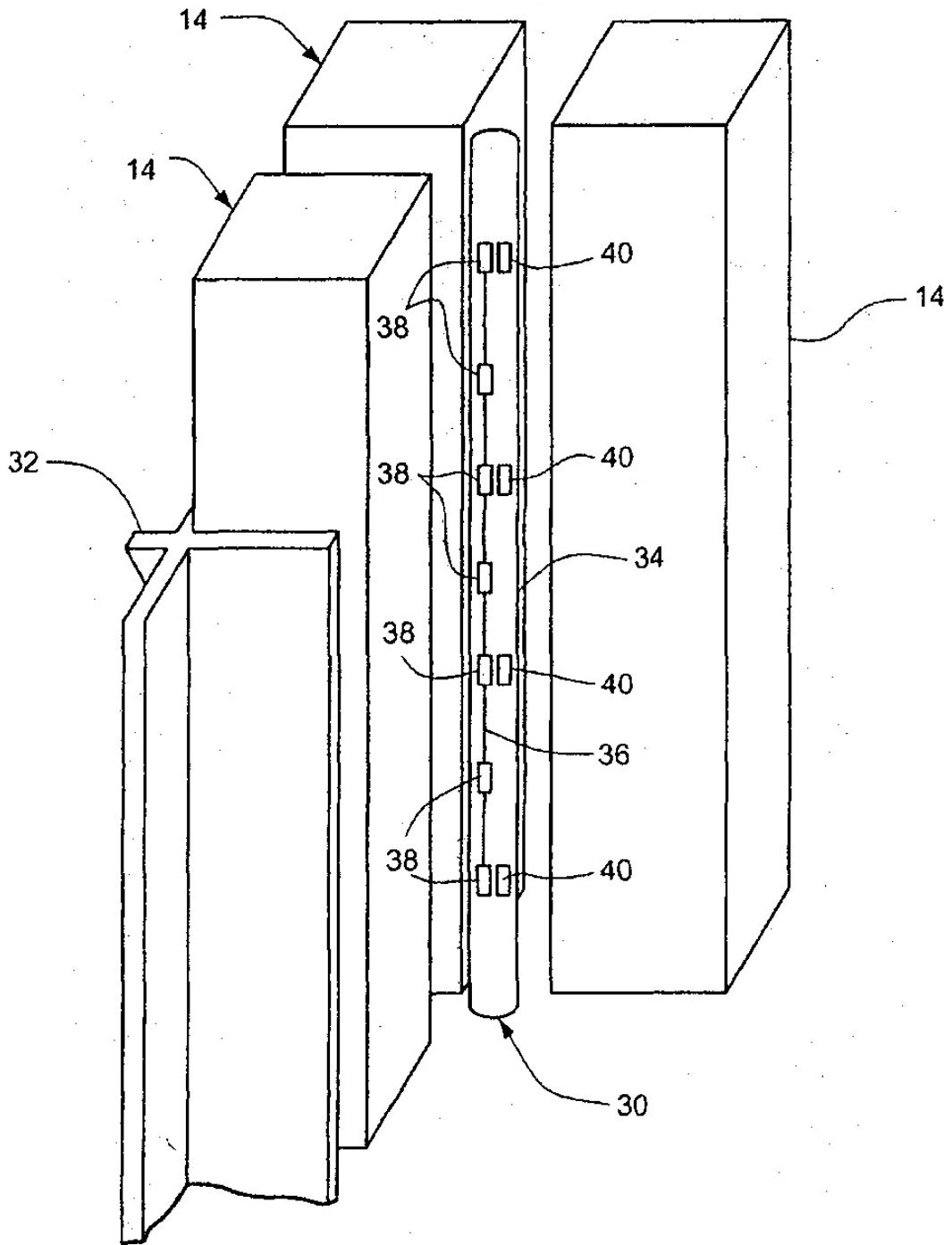


FIG. 2
(TÉCNICA ANTERIOR)

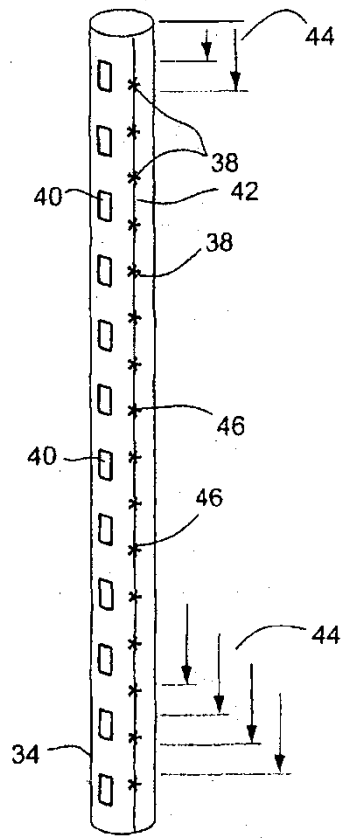


FIG. 3

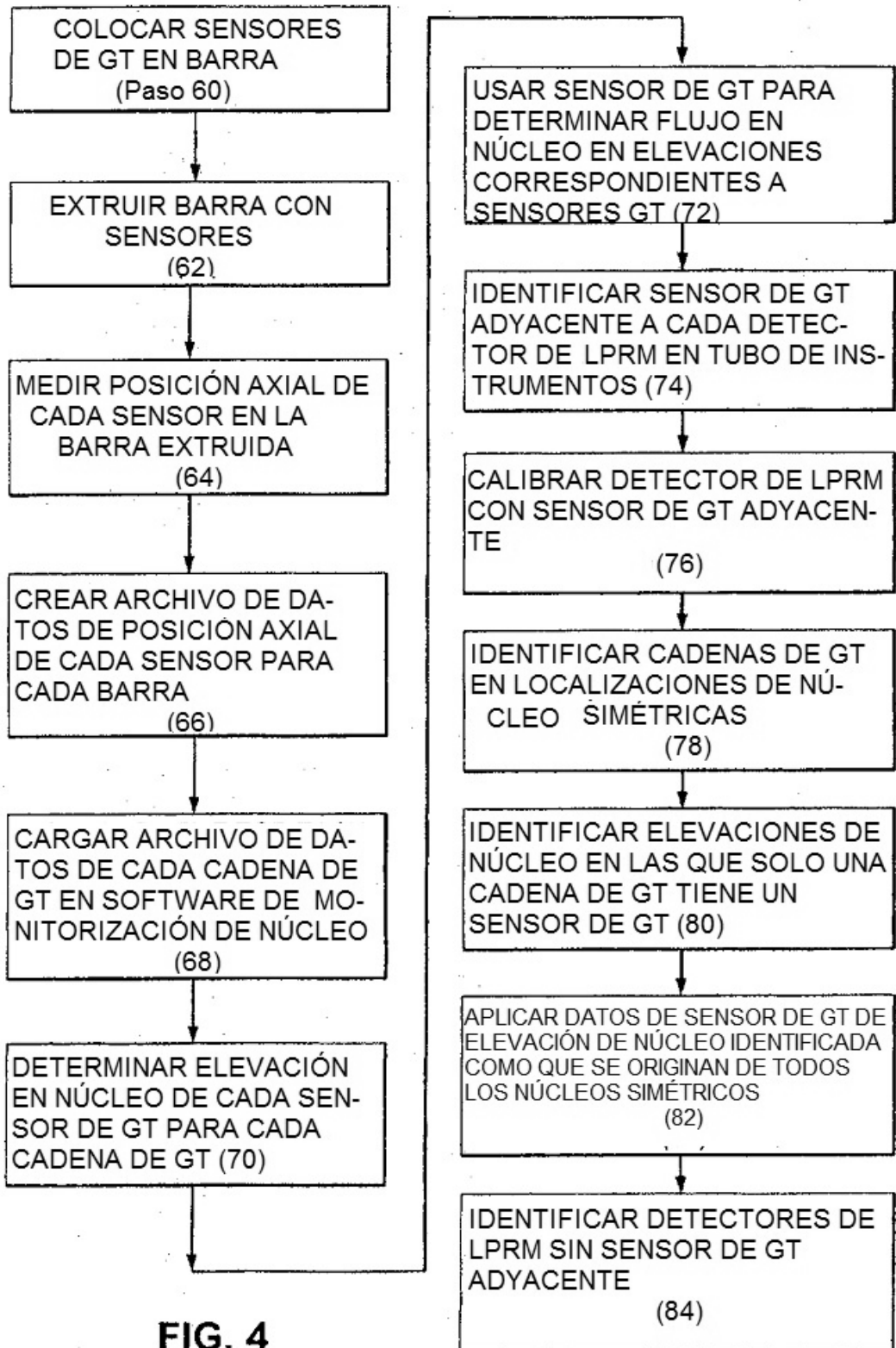


FIG. 4

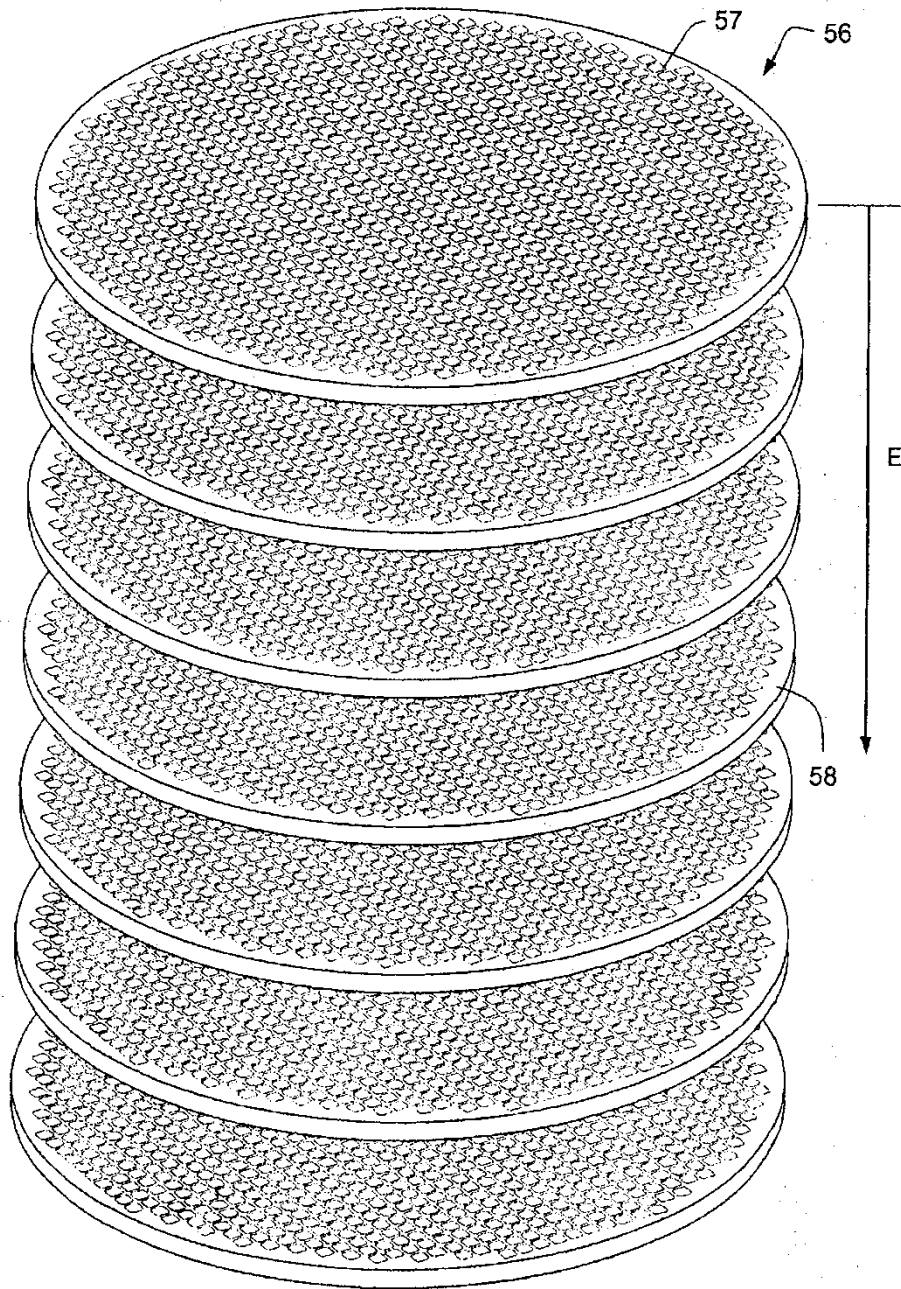


FIG. 5

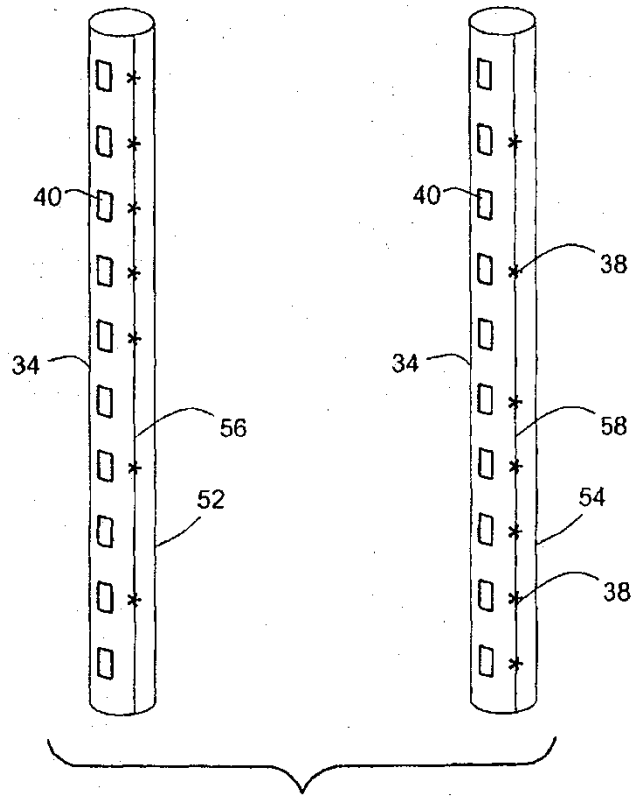


FIG. 6

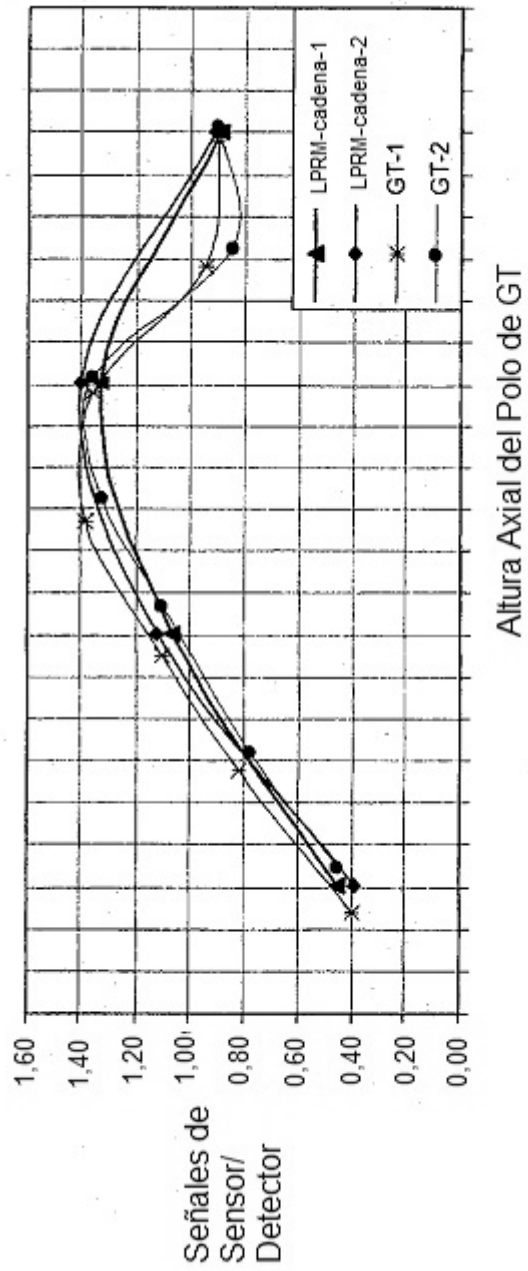


FIG. 7