

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 967**

51 Int. Cl.:

G21C 17/104 (2006.01)

G21D 3/00 (2006.01)

G21C 17/108 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2020 PCT/US2020/035090**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2020 WO20243408**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2020 E 20757425 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2023 EP 3977487**

54 Título: **Sistema y procedimiento para determinar la reactividad**

30 Prioridad:

30.05.2019 US 201962854453 P

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

17.10.2023

73 Titular/es:

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

**1000 Westinghouse Drive, Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

**PRIBLE, MICHAEL C.;
NEDWIDEK, FRANK M. y
CHELEDNIK, CRAIG A.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 950 967 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

Sistema y procedimiento para determinar la reactividad

5 Campo

El concepto divulgado se refiere generalmente a los reactores nucleares y, más particularmente, a la determinación de la reactividad en un rango de prueba de física de baja potencia de un reactor nuclear.

10 Antecedentes

Se requiere la medición del valor del banco de las barras de control y las barras de apagado para cada ciclo de arranque de una planta de potencia nuclear. Para los Reactores de Agua a Presión (PWR), la medición del valor del banco es parte del programa de Pruebas Físicas de Baja Potencia (LPPT). En casi todos los casos, este programa se encuentra en la ruta crítica durante la ascensión a la potencia. Existe un fuerte incentivo para que la industria de servicios públicos tenga un procedimiento rápido y confiable para medir el valor del banco de barras de control.

Se han desarrollado varios métodos para medir el valor del banco de barras de control. Un procedimiento es el procedimiento de inserción rápida de varillas para medir el valor de las varillas en PWR comerciales donde se realizan correcciones de efectos espaciales a las señales del detector utilizando datos de cálculo estático del diseño del núcleo. Otro procedimiento es la Medición Dinámica del Valor de la Varilla (DRWM™), que utiliza un riguroso modelado tridimensional del núcleo de la cinética del espacio-tiempo, y ha evolucionado hasta convertirse en una tecnología madura que se ha aplicado con éxito a muchas nuevas empresas de PWR.

Dos procedimientos tradicionales de medición del valor del banco para PWR son el procedimiento de dilución de boro y el procedimiento de intercambio de barras. En el procedimiento de dilución de boro, se inserta lentamente un banco de barras de control. Después de cada movimiento de paso de la barra, la posición de la barra se mantiene mientras se diluye el boro para compensar la pérdida de reactividad. Cada posición de la varilla debe mantenerse el tiempo suficiente para evitar el efecto del espacio-tiempo a fin de validar el modelo de núcleo puntual utilizado en el ordenador de reactividad. Por lo tanto, el procedimiento de dilución de boro es un procedimiento muy lento. El procedimiento de intercambio de barras es considerablemente más rápido que el procedimiento de dilución de boro. En el procedimiento de intercambio de barras, el banco más pesado (de mayor valor) (llamado banco de referencia) se mide primero con el procedimiento de dilución de boro. A continuación, el banco de referencia se retira parcialmente mientras se inserta otro banco de prueba. Usar el valor parcial del banco de referencia para compensar el valor del banco de prueba determina efectivamente el valor del banco de prueba. Un LPPT típico con intercambio de varillas tarda unas 24 horas. La técnica DRWM es un procedimiento mucho más rápido para validar rápidamente los valores bancarios previstos. Mide cada banco por separado e independientemente, impulsando cada banco a su velocidad máxima permitida. El procedimiento de análisis en base a la teoría cinética tridimensional del espacio-tiempo, y los datos de medición se procesan con un Ordenador de Reactividad Digital Avanzada (ADRC).

La Figura 1 es un diagrama esquemático simplificado de una planta nuclear, la Figura 2A es una vista desde arriba esquemática de un núcleo de reactor y detectores asociados, y la Figura 2B es una vista lateral esquemática de un núcleo de reactor y detectores asociados. La metodología DRWM utiliza detectores de rango de potencia de cámara de iones no compensados 10,12. Los detectores de rango de potencia 10,12 proporcionan una vista amplia de un cuadrante central y los detectores de rango de potencia superior 10 y los detectores de rango de potencia inferior 12 tienen cada uno aproximadamente 5 pies de largo. Algunos diseños de plantas utilizan más de 2 detectores segmentados, como 6 o más segmentos, pero aún proporcionan ~10-12' de longitud total efectiva del detector. Esto proporciona una respuesta de núcleo axial amplia para un núcleo de reactor típico de 12-14'. El uso de los detectores de rango de potencia 10, 12 para DRWM generalmente requiere retirar uno de los canales del detector del servicio, lo que hace que no pueda realizar su función de seguridad. El uso de los detectores de rango de potencia 10,12 también implica medir con precisión las señales de corriente de nivel de picoamperios, lo que requiere varios instrumentos de laboratorio especializados, que son caros y voluminosos.

El ADRC requiere la entrada de un detector de rango de potencia, lo que deja fuera de servicio el canal de instrumentación nuclear correspondiente. Esto podría ser desfavorable desde la perspectiva de la estación si la unidad no es capaz de omitir funcionalmente un canal de rango de potencia porque la planta está más cerca de una condición de disparo durante las pruebas físicas (es decir, lógica de disparo de 1/3 cuando un rango de potencia está fuera de servicio en comparación a la lógica de 2/4 de disparo cuando todos los canales del rango de potencia están operativos).

En otro procedimiento, un ordenador de Reactividad Digital de Rango Intermedio (IRDRC) utiliza señales de detector de rango intermedio. El IRDRC reduce el impacto en la planta de poner fuera de servicio un canal de rango de potencia para realizar LPPT. Sin embargo, el IRDRC históricamente solo se ha utilizado para realizar las mediciones tradicionales de ordenador de reactividad, como la medición del punto final de boro (BEP), la medición del coeficiente de temperatura isotérmica (ITC), la medición del valor del banco por dilución/boración y el intercambio de varillas.

El Sistema de Instrumentación Nuclear (NIS) es un sistema relacionado con la seguridad que generalmente utiliza 3 tipos de detectores (comúnmente Fuente, Intermedio y Rango de Potencia, como se muestra en la Figura 1) para proporcionar un monitoreo adecuado durante numerosas décadas de potencia del reactor. Cada NIS puede usarse como entrada a un ordenador de reactividad para calcular varios parámetros de diseño del núcleo, como se hace, por ejemplo, en la Patente de Estados Unidos número 4,877,575. Las señales del detector de rango intermedio y de potencia representan un valor directamente proporcional al flujo de neutrones y se utilizan para resolver la ecuación cinética de punto inverso u otras ecuaciones de reactividad. un ordenador de reactividad puede conectarse directamente a un detector; sin embargo, entonces no puede realizar su función relacionada con la seguridad. Por lo tanto, es deseable utilizar salidas aisladas cuando sea posible para que el detector pueda conservar su función relacionada con la seguridad. Las salidas aisladas suelen ser una salida de 0-5 V o 0-10 V en base al rango de corriente o pulsos del detector. Por ejemplo, las salidas de un detector de rango intermedio de cámara de iones compensada de ejemplo varían de 10^{-11} a 10^{-3} amperes y su gabinete de procesamiento asociado produce una salida de 0-5 V o 0-10 V.

Detectores de cámara de fisión, como los descritos en la Patente de Estados Unidos número 4,495,144, que utilizan U-235 enriquecido también se utilizan comúnmente como sistemas de instrumentación nuclear incore y excore para monitorear la potencia del reactor. Este tipo de detector puede tener varios modos de funcionamiento; (1) modo de pulso en el que se detectan y registran pulsos de neutrones; (2) modo de voltaje cuadrático medio (MSV) en el que se usa un preamplificador para amplificar las señales de pulso y proporcionar una señal proporcional a la raíz cuadrada de la potencia del reactor.

Es difícil alinear el punto de transición entre los dos modos de operación. En el punto de transición entre los dos modos de operación, la salida de la señal del detector sufre un cambio de paso. Un procedimiento anterior intentó corregir este problema con las técnicas de procesamiento de señales mediante el uso de circuitos de tasa de cambio para reducir el impacto del transitorio. Aunque este diseño de detector en particular, y otros, reducen el transitorio de los sistemas de detectores más antiguos, el transitorio es lo suficientemente grande como para tener un impacto notable en la reactividad calculada cuando se usa la salida del detector porque la señal tiene una transición de salto que no es proporcional a la potencia del reactor. El procedimiento anterior también se centró únicamente en el detector y la electrónica de procesamiento de señales y no en la capacidad o incapacidad para calcular la reactividad. Este problema de transición y el impacto posterior en la reactividad calculada lo hace inutilizable para su uso en pruebas de física de baja potencia si no se corrige.

La Patente de Estados Unidos número 4,877,575 utiliza dos o más detectores de neutrones y compara estadísticamente sus salidas para realizar una validación de la reactividad calculada. Sin embargo, este procedimiento requiere el uso de dos o más detectores de neutrones para validar la reactividad calculada.

Se conoce otra técnica anterior relevante a partir de: DAS Y OTROS: "The importance of delayed neutrons in nuclear research-A review", PROGRESS IN NUCLEAR ENERGY, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, volumen 28, número 3, 1 de enero de 1994 (1994-01-01), páginas 209-264, ISSN: 0149-1970, DOI: 10.1016/0149-1970(94)90001-9.

Hay margen de mejora en el cálculo de la reactividad en el rango de prueba de física de baja potencia de un reactor nuclear.

Sumario

Los aspectos del concepto divulgado proporcionan cálculos de reactividad mejorados a través del rango de prueba de física de baja potencia de un reactor nuclear.

Como un aspecto del concepto divulgado, un procedimiento para determinar la reactividad de un reactor nuclear comprende: recibir una respuesta del detector de neutrones durante un período de tiempo discreto; realizar una verificación estadística de la respuesta del detector de neutrones; determinar cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable en base a la verificación estadística; y calcular la reactividad mediante el uso de una concentración de neutrones retardados previa cuando la respuesta del detector de neutrones no es aceptable y mediante el uso de una concentración de neutrones retardados recién calculada cuando la respuesta del detector de neutrones es aceptable.

Como otro aspecto del concepto divulgado, un sistema para calcular la reactividad del núcleo de un reactor comprende: un detector de neutrones estructurado para detectar el flujo de neutrones producido en el núcleo del reactor; y un ordenador de reactividad estructurada para recibir una respuesta del detector de neutrones en base a una salida del detector de neutrones, el ordenador de reactividad incluye un procesador y una memoria, la memoria incluye una rutina de cálculo de reactividad y el procesador está estructurado para ejecutar la rutina de cálculo de reactividad. La rutina de reactividad comprende: recibir la respuesta del detector de neutrones durante un período de tiempo discreto; realizar una verificación estadística de la respuesta del detector de neutrones; determinar cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable en base a la verificación estadística; y calcular la reactividad mediante el uso de una concentración de neutrones retardados previa cuando la respuesta del detector de

neutrones no es aceptable y mediante el uso de una concentración de neutrones retardados recién calculada cuando la respuesta del detector de neutrones es aceptable.

Breve descripción de los dibujos

5 Una comprensión adicional de la invención puede obtenerse a partir de la siguiente descripción de los aspectos preferidos cuando se lee junto con los dibujos adjuntos en los que:

10 La Figura 1 es un diagrama esquemático simplificado de una planta nuclear;
 La Figura 2A es una vista desde arriba esquemática de un núcleo de reactor y detectores asociados;
 La Figura 2B es una vista lateral esquemática de un núcleo de reactor y detectores asociados;
 La Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar la reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado;
 15 La Figura 4 es un gráfico de una señal de salida del detector de neutrones y cálculos de reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado; y
 La Figura 5 es un diagrama esquemático simplificado de un sistema para calcular la reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado.

Descripción detallada

20 La Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento para determinar la reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado. El procedimiento elimina el impacto de un cambio de paso en la corriente del detector cuando el detector cambia entre modos de operación y la señal de salida no es proporcional a la potencia del reactor.

25 El procedimiento comienza en 100 y continúa a 102. En 102, el ordenador de reactividad recibe una respuesta del detector de neutrones. El ordenador de reactividad recibe la respuesta del detector de neutrones durante una cantidad discreta de tiempo, como un segundo. Sin embargo, se apreciará que puede utilizarse cualquier cantidad de tiempo discreta adecuada sin apartarse del ámbito del concepto divulgado. En algunos aspectos de ejemplo del concepto divulgado, el detector de neutrones puede ser un detector de cámara de fisión como el descrito en la Patente de Estados Unidos número 4,495,144. En algunos aspectos de ejemplo del concepto divulgado, el detector de neutrones tiene dos modos de funcionamiento: (1) un modo de pulso en el que se detectan y registran pulsos de neutrones; y (2) un modo de voltaje cuadrático medio en el que se usa un preamplificador para amplificar las señales de pulso y proporcionar una señal proporcional a la raíz cuadrada de la potencia del reactor.

35 El procedimiento continúa en 104, donde el ordenador de reactividad realiza una verificación estadística de la respuesta del detector de neutrones. En algunos aspectos de ejemplo del concepto divulgado, la verificación estadística busca un salto en la respuesta del detector de neutrones. Por ejemplo, la verificación estadística puede verificar si la respuesta del detector de neutrones cambia en un número predeterminado de desviaciones estándar (por ejemplo, sin limitación, dos desviaciones estándar) durante el período de tiempo discreto en el que se recibió la respuesta del detector de neutrones. Sin embargo, se apreciará que pueden usarse otros procedimientos estadísticos para determinar si la respuesta del detector de neutrones cambia en más de una cantidad predeterminada a lo largo del período de tiempo discreto sin apartarse del ámbito del concepto divulgado.

45 En 106, el ordenador de reactividad puede determinar si la respuesta del detector de neutrones es aceptable. Por ejemplo, en base a la verificación estadística realizada en 104 por el ordenador de reactividad, si la respuesta del detector de neutrones cambia en un número predeterminado de desviaciones estándar o cambia en más de una cantidad predeterminada, se determina que la respuesta del detector de neutrones no es aceptable. Tal cambio es indicativo de los modos de conmutación del detector de neutrones y provoca un paso en su salida. Si la respuesta del detector de neutrones no cambia en el número predeterminado de desviaciones estándar o no cambia en más de una cantidad predeterminada, se determina que la respuesta del detector de neutrones es aceptable.

50 Si el ordenador de reactividad determina que la respuesta del detector de neutrones no es aceptable, el procedimiento continúa con 108 y si el ordenador de reactividad determina que la respuesta del detector de neutrones es aceptable, el procedimiento continúa con 110. En 108, se usa la última concentración válida de neutrones retardados en el cálculo de la reactividad. La última concentración válida de neutrones retardados puede obtenerse de una iteración anterior del procedimiento. Por ejemplo, si el procedimiento se ejecuta cada período de tiempo discreto de un segundo, la concentración de neutrones retardados del período de tiempo de un segundo anterior puede usarse si la respuesta del detector de neutrones para ese período de tiempo discreto fue aceptable.

60 En 110, el ordenador de reactividad calcula una nueva concentración de neutrones retardados. Esta concentración de neutrones retardados se considera válida y puede utilizarse en una iteración posterior del procedimiento.

65 En 112, el ordenador de reactividad calcula la reactividad. El ordenador de reactividad calcula la reactividad mediante el uso de la última concentración de neutrones retardados válida si la respuesta del detector de neutrones no fue aceptable o mediante el uso de la concentración de neutrones retardados recién calculada si la respuesta del detector de neutrones fue aceptable. En algunos aspectos de ejemplo, el ordenador de reactividad calcula la

reactividad mediante el uso de una ecuación cinética de punto inverso. A continuación, se proporciona una ecuación cinética de punto inverso de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado.

5

$$\rho(t) = \beta - \frac{1}{T(t)} \sum_i \lambda_i C_i(t)$$

10

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \beta_i T(t) - \lambda_i C_i(t)$$

Donde:

15

$$\hat{C}_i = \Lambda C_i$$

$$T(t) = \mu DR(t)$$

20

En la ecuación cinética del punto inverso: $C_i(t)$ es la concentración de neutrones retardados del grupo i ; A es el tiempo de generación del aviso; ρ es la reactividad; las constantes β_i y λ_i son la fracción y la constante de decaimiento del precursor de neutrones retardados del grupo i ; DR es la magnitud de la señal de respuesta del detector; y μ es el tiempo de vida del neutrón rápido.

25

El cambio en los modos del detector de neutrones provoca una transición escalonada en la respuesta del detector de neutrones que puede sesgar artificialmente la población de neutrones anticipada y las concentraciones de neutrones retardados en la ecuación cinética de punto inverso. Al usar la última concentración válida de neutrones retardados durante la transición del paso, el ordenador de reactividad puede eliminar el efecto de la transición del paso en el cálculo de la reactividad. Por lo tanto, mediante el uso del procedimiento descrito anteriormente, el ordenador de reactividad puede calcular con precisión la reactividad a través del cambio en los modos del detector de neutrones.

30

Una vez que la reactividad se calcula en 112, el procedimiento vuelve a 100. El procedimiento repite continuamente cada periodo de tiempo discreto.

35

Por ejemplo, la Figura 4 es un gráfico de la salida de una señal del detector de neutrones y los cálculos de reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado. Como se muestra en la Figura 4, la señal de salida del detector de neutrones 200 generalmente tiene una pendiente ascendente constante durante una adición de reactividad positiva (es decir, cuando aumenta la potencia del reactor). A la inversa, la señal de salida del detector de neutrones 200 generalmente tendría una pendiente descendente constante cuando la potencia del reactor está disminuyendo. Sin embargo, un cambio en los modos del detector de neutrones provoca una transición de escalón 206. Esta transición escalonada 206 provoca un pico en la reactividad calculada mediante el uso de los cálculos de reactividad tradicionales 202. Sin embargo, la reactividad calculada mediante el uso de cálculos mejorados 204 elimina el pico y permite un cálculo preciso de la reactividad a través del cambio en los modos del detector de neutrones. Los cálculos mejorados son los que utilizan el procedimiento descrito en relación con la Figura 3. El cambio en los modos del detector de neutrones generalmente ocurre durante el rango de prueba de física de baja potencia y, por lo tanto, los cálculos de reactividad tradicionales no se pueden usar para pruebas de física de baja potencia, mientras que el cálculo de reactividad mejorado puede usarse para calcular con precisión la reactividad durante las pruebas de física de baja potencia de un reactor nuclear. Además, el cálculo de reactividad mejorado solo utiliza la señal de salida de un detector de neutrones en lugar de múltiples detectores de neutrones.

50

La Figura 5 es un diagrama esquemático simplificado de un sistema para calcular la reactividad de acuerdo con un aspecto de ejemplo del concepto divulgado. El sistema puede implementar el procedimiento descrito en relación con la Figura 3. El sistema incluye un detector de neutrones 200, como un detector de cámara de fisión, una unidad de acondicionamiento de señales 202 y un ordenador de reactividad 204. El detector de neutrones 200 detecta el flujo de neutrones producido en el núcleo de un reactor y produce señales de corriente eléctrica proporcionales al flujo detectado. La unidad de acondicionamiento de señal 202 procesa la salida del detector de neutrones 202 procesa la salida del detector de neutrones 200 para que sea adecuada para su uso por el ordenador de reactividad 204.

55

El ordenador de reactividad 204 incluye un procesador 206 y una memoria asociada 208. La memoria 208 está estructurada para almacenar una o más rutinas y el procesador 206 está estructurado para ejecutar una o más rutinas. En algunos aspectos de ejemplo del concepto divulgado, la memoria 208 almacena una rutina de cálculo de reactividad mejorada. La rutina de cálculo de reactividad mejorada puede ser el procedimiento descrito en relación con la Figura 3, que es ejecutado por el procesador 206. Por lo tanto, el ordenador de reactividad 204 puede implementar el cálculo de reactividad mejorado descrito en relación con la Figura 3.

60

65

5 Como se describe en la presente memoria, los aspectos de ejemplo del concepto divulgado proporcionan sistemas y procedimientos para calcular con precisión la reactividad a través de un cambio en los modos de un detector de neutrones mientras se utiliza la salida de un solo detector de neutrones. Los aspectos de ejemplo del concepto divulgado son adecuados para calcular la reactividad en el rango de prueba de física de baja potencia de un reactor nuclear.

10 Si bien los aspectos específicos de la invención se han descrito en detalle, los expertos en la técnica apreciarán que se podrían desarrollar diversas modificaciones y alternativas a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la divulgación y que los elementos seleccionados de uno o más de los aspectos de ejemplo pueden combinarse con uno o más elementos de otros aspectos sin variar el ámbito de los conceptos divulgados. En consecuencia, los aspectos particulares divulgados pretenden ser solamente ilustrativos y no limitantes en cuanto al ámbito de la invención que viene dado por las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para determinar la reactividad de un reactor nuclear, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 recibir, por un ordenador de reactividad que comprende un procesador y una memoria, una respuesta del detector de neutrones durante un período de tiempo discreto; caracterizado por
 - 10 realizar, mediante el ordenador de reactividad, una verificación estadística de la respuesta del detector de neutrones;
 - 15 determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable en base a la verificación estadística; y
 - calcular, mediante el ordenador de reactividad, una reactividad mediante el uso de una concentración de neutrones retardados previa cuando la respuesta del detector de neutrones no es aceptable y mediante el uso de una concentración de neutrones retardados recién calculada cuando la respuesta del detector de neutrones es aceptable.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que realizar la verificación estadística comprende determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo cambia la respuesta del detector de neutrones en un número predeterminado de desviaciones estándar durante el período de tiempo discreto, y
 - 20 en el que determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable comprende determinar, mediante el ordenador de reactividad, que la respuesta del detector de neutrones es aceptable cuando la respuesta del detector de neutrones cambia en menos del número predeterminado de desviaciones estándar durante el período de tiempo discreto y determinar que la respuesta del detector de neutrones no es aceptable cuando la respuesta del detector de neutrones cambia en el número predeterminado de desviaciones estándar o más durante el período de tiempo discreto.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que realizar, mediante el ordenador de reactividad, la verificación estadística comprende determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo cambia la respuesta del detector de neutrones en una cantidad predeterminada durante el período de tiempo discreto, y
 - 30 en el que determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable comprende determinar que la respuesta del detector de neutrones es aceptable cuando la respuesta del detector de neutrones cambia en menos de la cantidad predeterminada durante el período de tiempo discreto y determinar, mediante el ordenador de reactividad, que la respuesta del detector de neutrones no es aceptable cuando la respuesta del detector de neutrones cambia en la cantidad predeterminada o más durante el período de tiempo discreto.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que recibir, mediante un ordenador de reactividad que comprende un procesador y una memoria, una respuesta del detector de neutrones comprende recibir, mediante el ordenador de reactividad, una respuesta del detector de neutrones que opera en un primer modo o funciona en un segundo modo.

5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que recibir, mediante un ordenador de reactividad, una respuesta del detector de neutrones que opera en un primer modo comprende recibir, mediante un ordenador de reactividad, una respuesta del detector de neutrones que opera en un modo de pulsos en el que una pluralidad de pulsos de neutrones es detectado y registrado, y
 - 45 en el que recibir, mediante un ordenador de reactividad, una respuesta del detector de neutrones que opera en un segundo modo comprende recibir, mediante un ordenador de reactividad, una respuesta del detector de neutrones que opera en un modo de voltaje cuadrático medio en el que un preamplificador está configurado para amplificar una pluralidad de señales de pulso y proporcionar una señal proporcional a la raíz cuadrada de la potencia del reactor.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que calcular la reactividad, mediante el ordenador de reactividad, comprende calcular, mediante el ordenador de reactividad, una ecuación cinética de punto inverso para calcular la reactividad.

7. Un sistema para calcular la reactividad del núcleo de un reactor, comprendiendo el sistema:
 - un detector de neutrones (200) configurado para detectar el flujo de neutrones producido en el núcleo del reactor; y
 - 60 un ordenador de reactividad (204) configurado para recibir una respuesta del detector de neutrones en base a una salida del detector de neutrones, comprendiendo el ordenador de reactividad un procesador (206) y una memoria (208), la memoria configurada para almacenar una rutina de cálculo de reactividad y estando configurado el procesador para ejecutar la rutina de cálculo de reactividad, comprendiendo la rutina de reactividad:
 - 65 recibir, por el ordenador de reactividad, la respuesta del detector de neutrones durante un período de tiempo discreto;

ES 2 950 967 T3

caracterizado porque la rutina de reactividad comprende además:

realizar, mediante el ordenador de reactividad, una verificación estadística de la respuesta del detector de neutrones;

5 determinar, mediante el ordenador de reactividad, cuándo la respuesta del detector de neutrones es aceptable en base a la verificación estadística; y

10 calcular, mediante el ordenador de reactividad, una reactividad mediante el uso de una concentración de neutrones retardados previa cuando la respuesta del detector de neutrones no es aceptable y mediante el uso de una concentración de neutrones retardados recién calculada cuando la respuesta del detector de neutrones es aceptable.

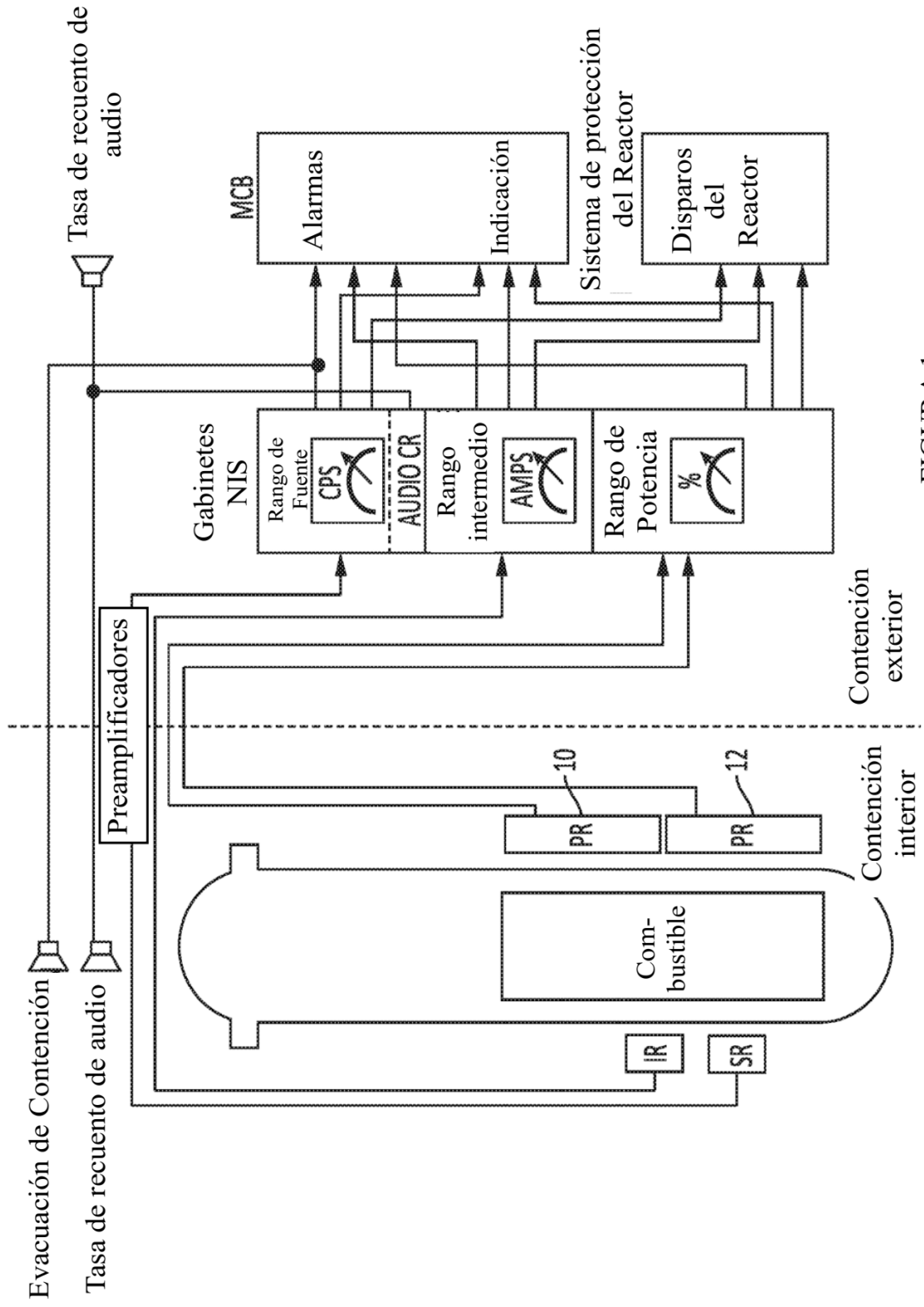


FIGURA 1

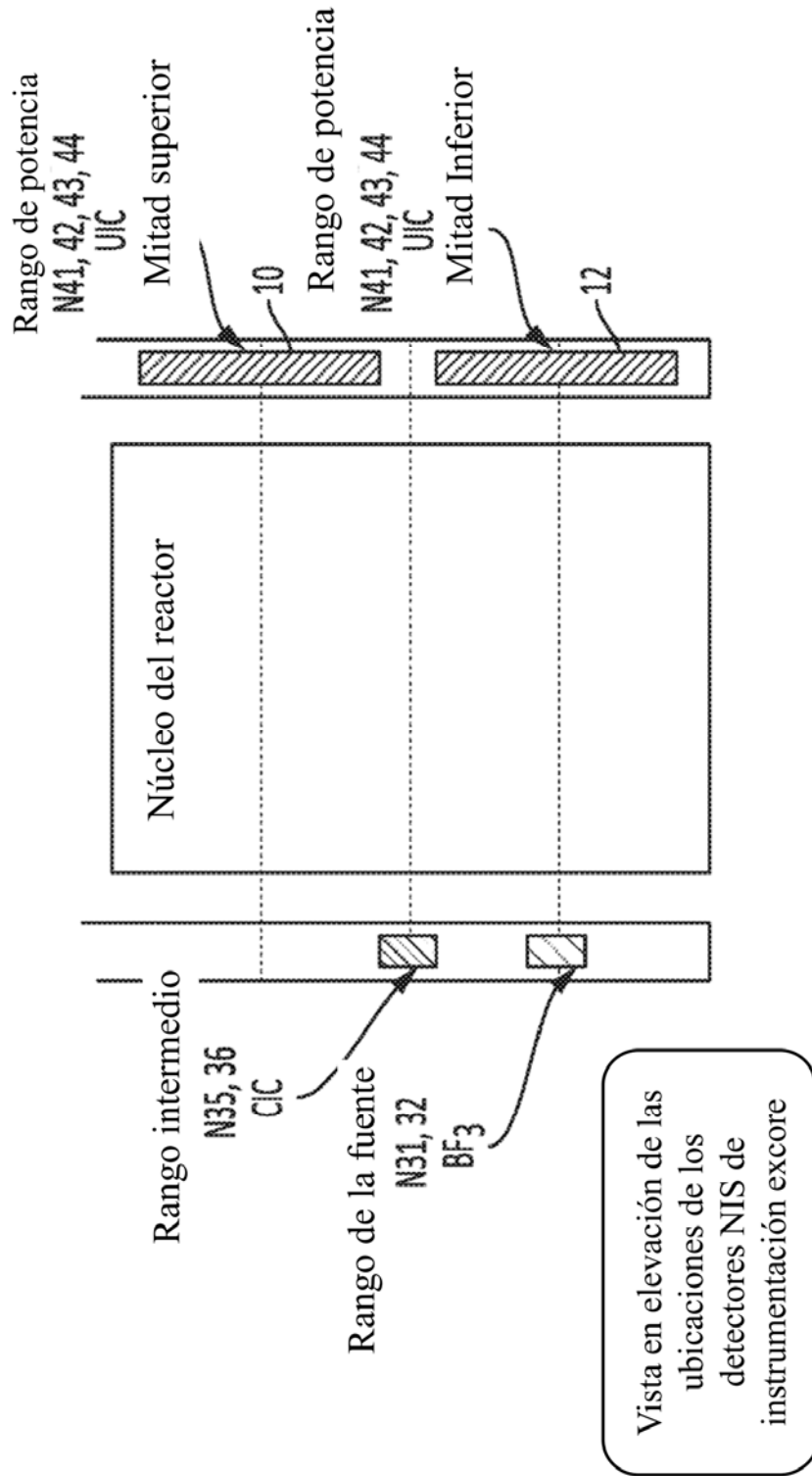


FIGURA 2B

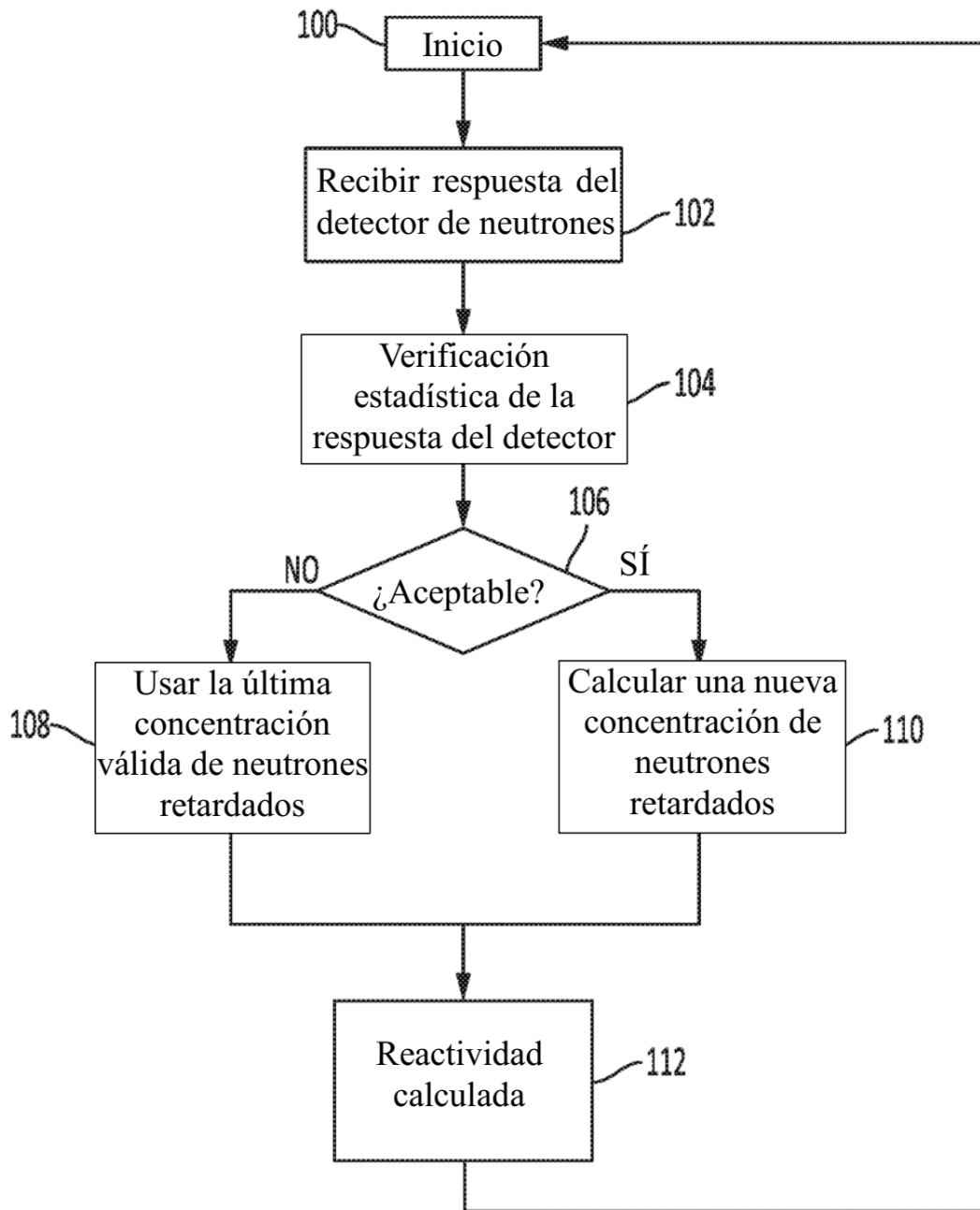


FIGURA 3

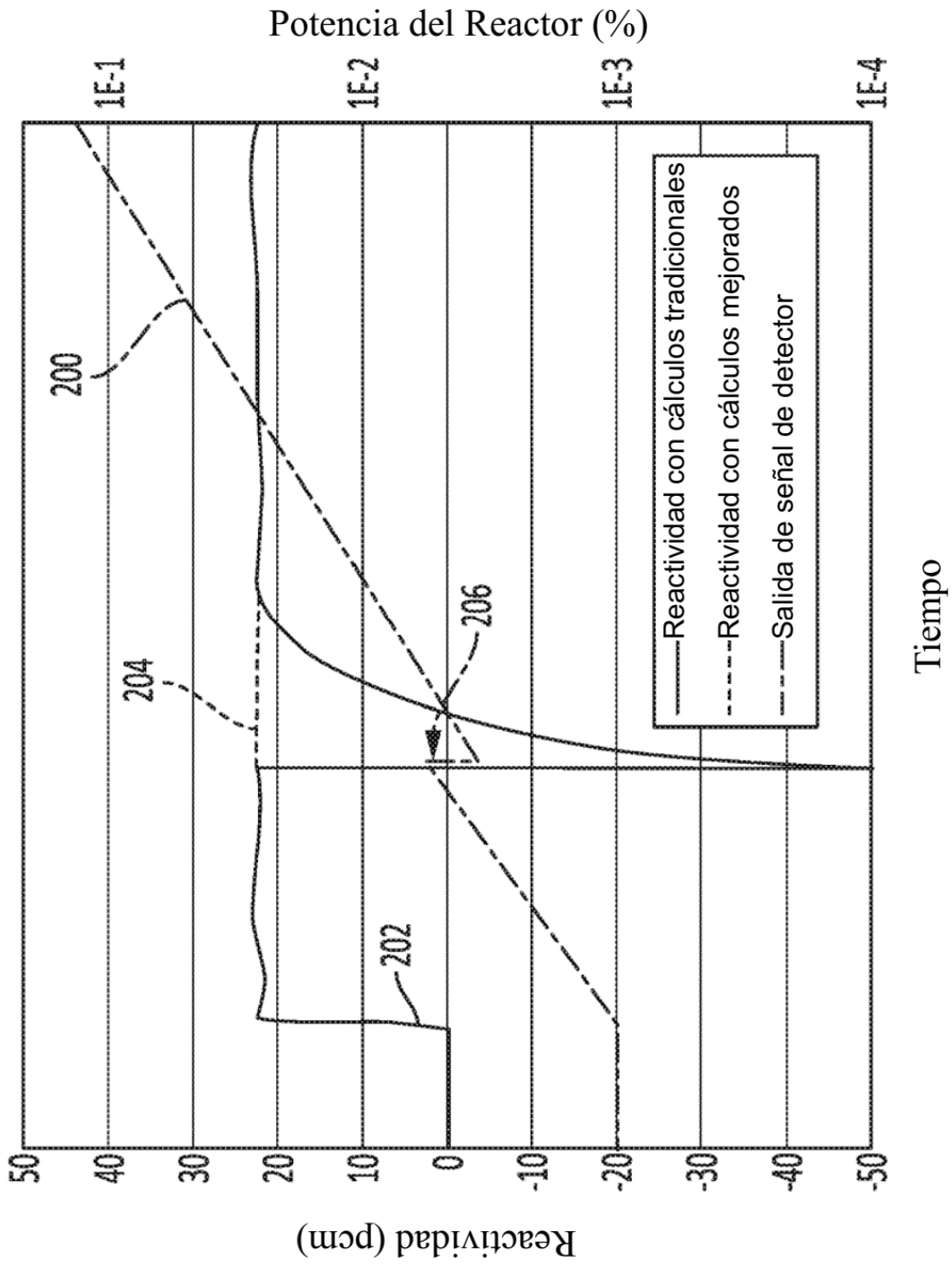


FIGURA 4

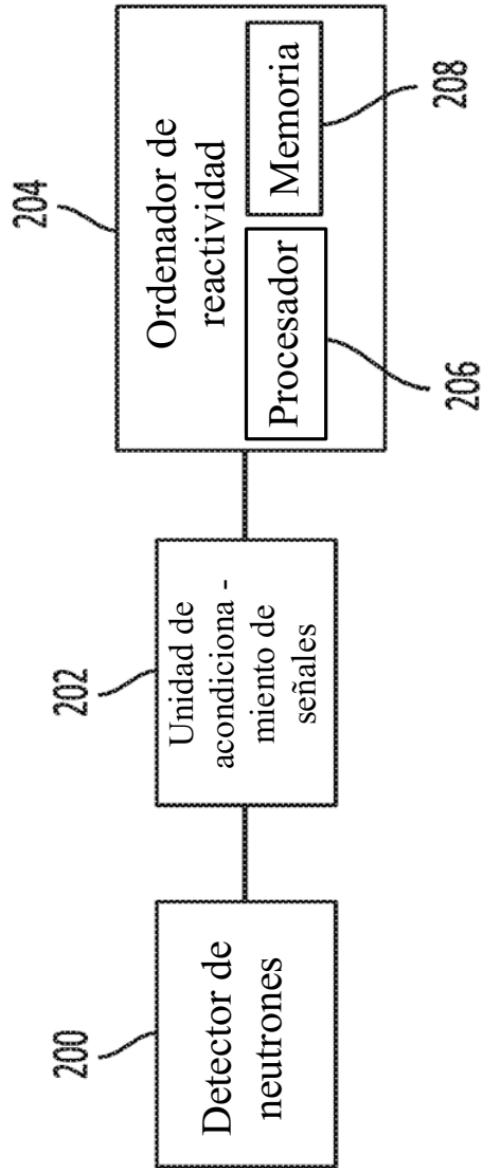


FIGURA 5