

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 249**

51 Int. Cl.:

G21C 17/00 (2006.01)

G21D 1/00 (2006.01)

G21D 3/00 (2006.01)

G21C 17/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2013 E 13162115 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2650882**

54 Título: **Sistema para monitorizar el estado del núcleo de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

11.04.2012 US 201213444535

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

28.02.2020

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**LOEWEN, ERIC P.;
DOOIES, BRETT J. y
TRIPLETT, BRIAN S.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 745 249 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 para monitorizar el estado del núcleo de un reactor nuclear

Esta descripción está relacionada generalmente con monitorización de condiciones en y alrededor de reactores nucleares durante condiciones de funcionamiento normal y fuera de lo normal.

5 Durante un accidente grave un reactor nuclear, por ejemplo un reactor de agua en ebullición (BWR, del inglés *boiling water reactor*), puede experimentar daño significativo de combustible. El daño de combustible puede ocurrir como resultado de un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA, del inglés *loss of coolant accident*). El daño soportado por el reactor puede impedir intentos de monitorizar condiciones ambientales en y alrededor del reactor incluso después de aplicar agua para enfriar el reactor. Actualmente, métodos para determinar condiciones en y alrededor de reactores que han experimentado un accidente incluyen el uso de robots. Es importante recibir información en relación con el estado de un reactor incluso después de haber ocurrido un accidente grave.

10 El documento US2010/119026 describe un método para determinar una distribución volumétrica de energía de un núcleo de reactor. El documento US2011/0856633 describe un método para monitorizar un recipiente de presión de reactor nuclear; y el documento US6493412 está relacionado con calibrar termopares de un reactor de agua presurizado.

15 Según la invención, un sistema para monitorizar un estado de un núcleo de reactor incluido en un reactor nuclear se define en la reivindicación 1.

Según al menos un ejemplo de realización, la una o más distribuciones internas de sensores se configuran cada una para tomar mediciones de al menos una de una temperatura y una conductividad del núcleo de reactor.

20 Según al menos un ejemplo de realización el dispositivo interno de monitorización incluye además una primera carcasa hecha de un material rígido que tiene un punto de fusión más alto que el del acero inoxidable.

Según al menos un ejemplo de realización, la primera carcasa se hace de al menos uno de tungsteno, molibdeno, niobio y carburo de silicio.

25 Según al menos un ejemplo de realización, la una o más distribuciones internas de sensores incluye además una distribución de sensores de temperatura que incluyen una pluralidad de sensores de temperatura cada una correspondiente a una de la pluralidad de posiciones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor.

Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo interno de monitorización se ubica dentro de un tubo de sonda que atraviesa núcleo (TIP) del núcleo de reactor.

30 Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo interno de monitorización incluye además un primer procesador de datos configurado para generar los datos de medición interna al digitalizar las mediciones tomadas por la una o más distribuciones internas de sensores. Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo interno de monitorización incluye una línea de alimentación configurada para recibir alimentación de una fuente externa al dispositivo interno de monitorización.

35 Según al menos un ejemplo de realización, al menos una de la una o más distribuciones externas de sensores se configura para tomar mediciones de al menos una de un flujo gamma y un flujo de neutrones del núcleo de reactor.

Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo externo de monitorización incluye además una segunda carcasa hecha de al menos uno de acero inoxidable, tungsteno, molibdeno, niobio y carburo de silicio.

40 Según al menos un ejemplo de realización, la una o más distribuciones externas de sensores incluye una distribución de unidades sensitivas que incluye una pluralidad de unidades sensitivas, cada una de la pluralidad de unidades sensitivas se configura para medir al menos uno de un flujo gamma y un flujo de neutrones, cada una de la pluralidad de unidades sensitivas correspondiente a una de la pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor.

45 Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo externo de monitorización incluye además una unidad de alimentación configurada para alimentar el dispositivo externo de monitorización independientemente de cualquier fuente de alimentación externa.

Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo externo de monitorización incluye además una unidad de acoplamiento configurada para fijar el dispositivo externo de monitorización a una superficie dentro del reactor nuclear, la unidad de acoplamiento que incluye al menos uno de un imán, un adhesivo y un mecanismo de empernado.

50 Según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo externo de monitorización incluye además un controlador configurado para controlar un modo de funcionamiento del dispositivo externo de monitorización para que sea un de un modo activo y un modo de espera basado en los datos de medición externa. El dispositivo externo de monitorización se configura para funcionar de manera que se usa menos potencia en el modo de espera que en el modo activo.

Según al menos un ejemplo de realización, la estación receptora incluye una unidad de procesamiento de datos configurada para determinar condiciones en el núcleo de reactor que incluye al menos un oxidación de revestimiento, nivel de agua, fusión de revestimiento, redistribución de núcleo, reactividad nuclear k_{eff} y temperatura, basándose en al menos uno de los datos de medición externa y los datos de medición interna.

- 5 Según al menos un ejemplo de realización, un dispositivo para monitorizar un núcleo de reactor o un reactor nuclear puede incluir una carcasa hecha de un material rígido que tiene un punto de fusión más alto que el del acero inoxidable, la primera carcasa se configura para encajar dentro de un tubo interno del núcleo de reactor; una o más distribuciones de sensores, al menos una de la una o más distribuciones de sensores se configura para tomar mediciones de al menos una de una temperatura y una conductividad del núcleo de reactor en cada una de una pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor para generar datos de medición interna; y una o más líneas de señal internas configuradas para transferir los datos de medición interna a líneas de señal del reactor nuclear.

Según al menos un ejemplo de realización, la carcasa se hace de al menos uno de tungsteno, molibdeno, niobio y carburo de silicio.

- 15 Según al menos un ejemplo de realización, la carcasa se configura para encajar dentro de un tubo de sonda que atraviesa núcleo (TIP) del núcleo de reactor.

- 20 Según al menos un ejemplo de realización, la una o más distribuciones internas de sensores incluye una distribución de sensores de conductividad que incluye una pluralidad de sensores de conductividad, cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad se extiende a una superficie exterior de la primera carcasa, cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad correspondiente a una de la pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor, y la primera carcasa incluye una pluralidad de protuberancias que se extienden hacia fuera por encima de cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad.

- 25 Los diversos rasgos y ventajas de las realizaciones no limitativas en esta memoria pueden hacerse más evidentes al revisar la descripción detallada conjuntamente con los dibujos adjuntos. Los dibujos adjuntos se proporcionan meramente para fines ilustrativos y no se deben interpretar para limitar el alcance de las reivindicaciones. Los dibujos adjuntos no se deben considerar dibujados a escala a menos que se indique explícitamente. Por motivos de claridad, se pueden haber exagerado diversas dimensiones de los dibujos. En los dibujos:

La figura 1 ilustra un sistema de reactor según al menos un ejemplo de realización.

La figura 2 ilustra un ejemplo más detallado del dispositivo interno de monitorización ilustrado en la figura 1 según al menos un ejemplo de realización.

- 30 La figura 3 ilustra un ejemplo más detallado del dispositivo externo de monitorización ilustrado en la figura 1 según al menos un ejemplo de realización.

La figura 4 es un diagrama funcional que ilustra una manera en la que se usan datos de mediciones para determinar un estado de un núcleo de reactor según ejemplos de realizaciones.

- 35 Se debe entender que cuando a un elemento o capa se le hace referencia como que está "sobre", "conectado a", "acoplado a", o "que cubre" otro elemento o capa, puede estar directamente sobre, conectado a, acoplado a, o que cubre el otro elemento o capa o elementos intermedios o capas pueda haber presentes. En contraste, cuando a un elemento se le hace referencia como que está "directamente sobre", "directamente conectado a", o "directamente acoplado a" otro elemento o capa, no hay elementos o capas intermedios presentes. En todo momento en la memoria descriptiva los números semejantes se refieren a elementos semejantes. Como se emplea en esta memoria, la expresión "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los artículos listados asociados.

- 40 Se debe entender que, aunque los términos primero, segundo, tercero, etc. se pueden usar en esta memoria para describir diversos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones, estos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones no deben estar limitados por estos términos. Estos términos se usan únicamente para distinguir un elemento, componente, región, capa o sección de otro elemento, componente, región, capa o sección. Así, un primer elemento, componente, región, capa o sección tratado más adelante se podría denominar un segundo elemento, componente, región, capa o sección sin apartarse de las enseñanzas de los ejemplos de realizaciones.

- 45 Términos espacialmente relativos (p. ej. "debajo", "inferior," "encima", "superior" y similares) se pueden usar en esta memoria por facilidad de la descripción para describir la relación de un elemento o característica con otro elemento(s) o característica(s) como se ilustra en las figuras. Se debe entender que los términos espacialmente relativos pueden estar pensados para que abarquen diferentes orientaciones del dispositivo en uso o funcionamiento además de la orientación representada en las figuras. Por ejemplo, si el dispositivo en las figuras se voltea, elementos descritos más adelante "debajo" de otros elementos o características estaría orientado entonces "encima" de los otros elementos o características. Así, el término "debajo" puede abarcar una orientación tanto encima como debajo. El dispositivo se puede orientar de otro modo (rotado 90 grados o en otras orientaciones) y los descriptores espacialmente relativos usados en esta memoria se pueden interpretar en consecuencia.

La terminología usada en esta memoria es con el propósito de describir diversas realizaciones únicamente y no se pretende que sea limitativa de ejemplos de realizaciones. Tal como se emplea en esta memoria, las formas singulares "un", "una", "el" y "la" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto lo indique claramente de otro modo. Además se entenderá que los términos "incluye", "que incluye", "comprende" y/o "que comprende," cuando se usen en esta memoria descriptiva, especifican la presencia de características, entidades, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o suma de una o más de otras características, entidades, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

En esta memoria se describen ejemplos de realizaciones con referencia a ilustraciones en sección transversal que son ilustraciones esquemáticas de realizaciones idealizadas (y estructuras intermedias) de ejemplos de realizaciones. Como tal, se han de esperar variaciones de las formas de las ilustraciones como resultado, por ejemplo, de técnicas de fabricación y/o tolerancias. Así, ejemplos de realizaciones no se deben interpretar como limitados a las formas de regiones ilustradas en esta memoria sino que se han de incluir desviaciones en formas que resultan, por ejemplo, de la fabricación.

A menos que se defina de otro modo, todos los términos (incluidos los términos técnicos y científicos) usados en esta memoria tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la técnica a la que pertenece estos ejemplos de realizaciones. Se entenderá además que términos, incluidos los definidos en diccionarios usados comúnmente, se deben interpretar como que tienen un significado que es coherente con su significado en el contexto de la técnica pertinente y no se interpretará en un sentido idealizado o excesivamente formal definido así en esta memoria.

La figura 1 ilustra un sistema de reactor 100. El sistema de reactor 100 se ubica en, por ejemplo, una planta nuclear. El sistema de reactor 100 incluye una estructura de reactor 110 y una estación receptora 170.

La estructura de reactor incluye un núcleo de reactor 140, un recipiente de reactor 150 y un pozo seco 160. Ubicado al menos parcialmente dentro del núcleo de reactor 140 hay un dispositivo interno de monitorización 120. El dispositivo interno de monitorización 120 incluye sensores internos 122 para monitorizar un estado del núcleo de reactor 140. Los sensores internos 122 se pueden ubicar, por ejemplo, dentro de un tubo de instrumentación 145 del núcleo de reactor 140, y se pueden extender en una línea bajando por la longitud del núcleo de reactor 140. El sensor interno 120 se puede conectar por medio de línea de alimentación 125 a una fuente de alimentación externa. El dispositivo interno de monitorización 120 puede tener como salida mediciones sentidas por medio de línea de datos 126. La unidad de monitorización interna 120 se tratará en mayor detalle con referencia a la figura 2.

Ubicado fuera del núcleo de reactor 140 hay un dispositivo externo de monitorización 130. El dispositivo externo de monitorización 130 incluye la distribución externa de sensores 132 para monitorizar un estado del núcleo de reactor 140. La distribución externa de sensores 132 se puede ubicar en una distribución fuera del núcleo de reactor 140 que se extiende a lo largo de una línea correspondiente a una longitud del núcleo de reactor 140. El dispositivo externo de monitorización incluye además una unidad de alimentación 134 para proporcionar alimentación al dispositivo externo de monitorización 130, y una unidad de transmisión 136 para transmitir inalámbricamente mediciones sentidas por el dispositivo externo de monitorización 130. El dispositivo externo de monitorización 130 se puede ubicar, por ejemplo, en el recipiente de reactor 150 o en otra posición dentro del pozo seco 160. La unidad de monitorización externa 130 se tratará en mayor detalle con referencia a la figura 3.

En el ejemplo de realización ilustrado en la figura 1, únicamente se ilustra un dispositivo interno de monitorización 120 y un dispositivo externo de monitorización 130. En cambio, con el propósito de simplicidad, únicamente se ilustra un dispositivo interno de monitorización 120 y un dispositivo externo de monitorización 130, según al menos un ejemplo de realización, cualquier número de dispositivos de monitorización interna 120 se pueden ubicar en el núcleo de reactor 140 y cualquier número de dispositivos externos de monitorización 130 se pueden ubicar en la estructura de reactor 110 fuera del núcleo de reactor 140. La estructura de reactor 110 se tratará en mayor detalle más adelante con referencia a la figura 2.

El dispositivo interno de monitorización 120 se configura para generar mediciones de estado de reactor al medir condiciones dentro del núcleo de reactor 140. Por ejemplo, el dispositivo interno de monitorización puede medir niveles de agua y/o temperatura dentro del núcleo de reactor 140. El dispositivo externo de monitorización 130 se configura para generar mediciones de estado de reactor al medir condiciones dentro del núcleo de reactor 140 desde fuera del núcleo de reactor 140. Por ejemplo, el dispositivo externo de monitorización 130 puede medir flujo de neutrones o flujo gamma en posiciones fuera del núcleo de reactor 140. Puesto que tanto el dispositivo interno de monitorización 120 como el dispositivo externo de monitorización 130 se extienden en una dirección correspondiente a una longitud del núcleo de reactor 140, el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 pueden generar mediciones que representan el estado del núcleo de reactor 140 en cada una de una pluralidad de posiciones diferentes ubicadas a diferentes alturas dentro del núcleo de reactor 140.

El dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 se configuran cada uno para transmitir datos que representan el estado medido del núcleo de reactor 140 a la estación receptora 170 donde un operario de planta puede revisar las mediciones ambientales y/o de movimiento. Por ejemplo, según al menos un ejemplo de realización, el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130

pueden formar datos de estado de reactor al digitalizar las mediciones de estado de reactor generadas. El dispositivo interno de monitorización 120 puede enviar los datos digitalizados de estado de reactor a la estación de recepción 170 por medio de líneas de datos 126. El dispositivo externo de monitorización 130 puede difundir los datos digitalizados de estado de reactor, usando, por ejemplo, ondas de radio de baja frecuencia 138, para recepción en una o más ubicaciones fuera de la estructura de reactor, incluida, por ejemplo, la estación de recepción 170.

Además, el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 se estructuran cada uno para funcionar durante condiciones de funcionamiento normal y fuera de lo normal. Como se emplea en esta memoria, condiciones de funcionamiento normal se refieren a condiciones de funcionamiento durante el que ninguna de las mediciones de estado de reactor generadas por el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 están fuera de un umbral de intervalo determinado según la preferencia de un operario de planta. Como se emplea en esta memoria, condiciones de funcionamiento fuera de lo normal se refieren a condiciones en las que alguna de las mediciones de estado de reactor generadas por el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 están fuera de un umbral de intervalo determinado según la preferencia de un operario de planta. Condiciones de funcionamiento fuera de lo normal se pueden asociar con cualquiera de varios transitorios de planta que van de acontecimientos menos graves, incluida elevada presión o temperatura de reactor, a acontecimientos muy graves, incluido, por ejemplo, un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA, del inglés *loss of coolant accident*).

El dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 se configuran cada uno para resistir las cantidades extremas de calor, radiación y/o fuerza física asociadas con condiciones graves de funcionamiento fuera de lo normal, incluidas, por ejemplo, condiciones durante un LOCA. Por consiguiente, el dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 se configuran cada uno para generar y transmitir datos que representan las condiciones ambientales en la estructura de reactor 110 incluso durante o después de un accidente de reactor. La estructura y el funcionamiento del dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130 se tratarán en mayor detalle más adelante con referencia a las figuras 2 y 3.

Volviendo a la figura 1, la estación receptora 170 incluye un dispositivo de recepción 172 configurado para recibir los datos ambientales transmitidos inalámbricamente desde el dispositivo externo de monitorización 130. El dispositivo de recepción puede ser, por ejemplo, cualquier dispositivo que pueda recibir transmisiones de radio de baja frecuencia. Según al menos un ejemplo de realización, la estación receptora 170 puede incluir un dispositivo de exposición/procesamiento de datos 174 donde un operario de planta puede ver y manipular datos recibidos de cualquiera del uno o más dispositivos de monitorización incluidos en la estructura de reactor 110.

El dispositivo de exposición/procesamiento de datos 174 puede incluir un procesador de datos y una memoria que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, provocan que el dispositivo de exposición/procesamiento implemente una aplicación de interpretación de datos de medición. La aplicación de interpretación de datos de medición puede recibir datos de medición del dispositivo interno de monitorización 120 y el dispositivo externo de monitorización 130, aplicando una o más funciones a los datos de mediciones recibidos, y determinar condiciones dentro del núcleo de reactor 140 basándose en salidas de la una o más funciones. Por ejemplo, basándose en los datos de medición y la una o más funciones, la aplicación de interpretación de datos de medición puede generar salidas que representan diferentes condiciones dentro del núcleo de reactor 140 incluida, por ejemplo, oxidación de revestimiento, nivel de agua, fusión de revestimiento, redistribución de núcleo, reactividad nuclear k_{eff} y temperatura. La aplicación de interpretación de datos de medición se tratará en mayor detalle más adelante con referencia a la figura 4. El dispositivo de exposición/procesamiento de datos 174 puede ser, por ejemplo, un ordenador personal o un terminal que incluye un monitor y un teclado. En cambio, con el propósito de simplicidad, en la figura 1 se ilustra únicamente una estación de recepción, el sistema de reactor 100 puede incluir cualquier número de estaciones de recepción, cada una ubicada, por ejemplo, en posiciones fuera de la estructura de reactor 110, y cada una puede recibir datos ambientales difundidos por el dispositivo externo de monitorización 130 y transmitidos por el dispositivo interno de monitorización 120.

En consecuencia, usando el sistema de reactor 100 según al menos un ejemplo de realización, operarios en ubicaciones fuera de la estructura de reactor 110, incluida por ejemplo la estación de recepción 170, puede recibir información valiosa en relación con un estado del núcleo de reactor 140 con respecto a múltiples regiones del núcleo de reactor 140 ubicadas en alturas diferentes, incluso durante o después de un accidente de reactor, incluido, por ejemplo, un LOCA.

Ahora se tratará en mayor detalle la estructura y el funcionamiento del dispositivo interno de monitorización 120 más adelante con referencia a la figura 2.

La figura 2 es un diagrama que ilustra el dispositivo interno de monitorización 120 en mayor detalle según ejemplos de realizaciones. Haciendo referencia a la figura 2, el dispositivo interno de monitorización 120 puede incluir los sensores internos 122, la línea de alimentación 125, la línea de datos 126, una primera carcasa 127 y un primer procesador de datos 230. Los sensores internos 122 pueden incluir sensores para sentir cualquier tipo de condiciones ambientales dentro del núcleo de reactor 140 según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, los sensores 122 pueden incluir una distribución de sensores de conductividad 122A y una distribución de sensores de

temperatura 122B. La distribución de sensores de conductividad 122A puede incluir sensores de conductividad primero a tercero 220A-220C ubicados a alturas diferentes correspondientes a regiones del núcleo de reactor 140 a alturas diferentes. La distribución de sensores de temperatura 122B puede incluir sensores de temperatura primero a tercero 250A-250C ubicados a alturas diferentes correspondientes a regiones del núcleo de reactor 140 a alturas diferentes.

5 Aunque con el propósito de simplicidad, la distribución de sensores de conductividad 122A se ilustra como que incluye únicamente tres sensores de conductividad 220A-C, según ejemplos de realizaciones, la distribución de sensores de conductividad 122A puede incluir cualquier número de sensores de conductividad dispuestos verticalmente, por ejemplo, para extenderse una distancia igual a una altura del núcleo de reactor 140. Además, aunque con el propósito de simplicidad, la distribución de sensores de temperatura 122B se ilustra como que incluye únicamente tres sensores de temperatura 250A-C, según ejemplos de realizaciones, la distribución de sensores de temperatura 122B puede incluir cualquier número de sensores de temperatura dispuestos verticalmente, por ejemplo, para extenderse una distancia igual a una altura del núcleo de reactor 140.

15 Como se explica anteriormente con referencia a la figura 1, el dispositivo interno de monitorización 120 se puede ubicar dentro del tubo de instrumentación 145 del núcleo de reactor 140. El tubo de instrumentación puede ser, por ejemplo, un tubo de acero inoxidable que está vacío o incluye espacio sin usar. El tubo de instrumentación puede ser, por ejemplo, un tubo que se usaba originalmente para instrumentación que más tarde fue retirado del núcleo de reactor 140. Aunque la instrumentación original se ha retirado, el tubo de instrumentación 145 permanece. Por consiguiente, el sensor interno 120 se puede instalar en el núcleo de reactor 140 sin necesidad de formar nuevas penetraciones o cavidades en el núcleo de reactor 140. El tubo de instrumentación 145 puede ser, por ejemplo, un tubo de sonda que atraviesa núcleo (TIP) hecho de, por ejemplo, acero inoxidable.

20 La primera carcasa 127 se puede formar de un material rígido que tiene un punto de fusión sustancialmente más alto que el del tubo de instrumentación 145 y que puede resistir deformación mientras se supera fuerza física extrema. Por ejemplo, la primera carcasa 127 se puede formar de un material rígido que tiene un punto de fusión sustancialmente más alto que el acero inoxidable, incluidos, por ejemplo, tungsteno, molibdeno, niobio o una cerámica, incluido, por ejemplo, carburo de silicio.

25 Según al menos un ejemplo de realización, la primera carcasa 127 sostiene y encierra, al menos parcialmente, los sensores internos 122, la línea de alimentación 125 y la línea de datos 126. Por ejemplo, los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C de la distribución de sensores de conductividad 122A se pueden ubicar cada uno en una superficie exterior de la primera carcasa 127. Durante un accidente grave, el material del tubo de instrumentación 145, por ejemplo acero inoxidable, puede fundirse. El fundente de acero inoxidable puede recubrir los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C. Este recubrimiento de metal puede impedir que los sensores de conductividad primero a tercero funcionen apropiadamente. Por consiguiente, la primera carcasa 127 puede incluir protuberancias 240 que se extienden hacia fuera por encima de ubicaciones en las que se posicionan los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C a fin de impedir que partes que se funden del tubo de instrumentación 145 recubran los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C.

30 Los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C pueden generar cada uno mediciones de conductividad que se pueden usar para inferir o determinar un nivel de agua dentro del núcleo de reactor 140. Los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C pueden ser cualquier tipo conocido de sensor de conductividad. La resistencia es la inversa de la conductividad. Por consiguiente, por ejemplo, si los sensores de conductividad se sumergen totalmente en agua la resistencia eléctrica medida puede ser insignificante. Sin embargo si las sondas de conductividad se colocan en un ambiente no conductor tal como nitrógeno o vapor de agua, la resistencia medida se puede aproximar al infinito indicando un nivel de agua cero. El funcionamiento normal de uno de los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C es tener una lectura de alta resistencia que indica niveles de agua cero en el tubo de instrumentación 145. Durante condiciones fuera de lo normal graves, el nivel de agua en el tubo de instrumentación 145 puede no ser cero. Los sensores de conductividad primero a tercero 220A-C pueden tener como salida mediciones de conductividad por medio de la línea de sensor de conductividad 210A.

35 Los sensores de temperatura primero a tercero 250A-C pueden ser cualquier tipo conocido de sensor de temperatura. Por ejemplo, los sensores primero a tercero 250A-C pueden ser una distribución de termopares tipo-B, cada uno con valor nominal para temperatura de 1700 °C. Como se ha tratado anteriormente, los sensores de temperatura primero a tercero 250A-C se disponen cada uno a una altura diferente dentro del núcleo de reactor 140. Por consiguiente, sobre la base de lecturas de temperatura tomadas de múltiples posiciones verticales dentro del núcleo de reactor 140, se puede determinar con mayor precisión un estado del núcleo de reactor 140. Los sensores de temperatura primero a tercero 250A-C pueden tener como salida mediciones de temperatura por medio de la línea de sensor de temperatura 210B.

55 El primer procesador de datos 230 puede recibir mediciones de conductividad de la distribución de sensores de conductividad 122A por medio de la línea de sensor de conductividad 210A. El procesador de datos 230 también puede recibir mediciones de temperatura de la distribución de sensores de temperatura 122B por medio de la línea de sensor de temperatura 210B.

El primer procesador de datos 230 procesa mediciones recibidas de los sensores internos 122 y tiene como salida

datos de medición procesados por medio de la línea de datos 126. Por ejemplo, el procesador de datos 230 puede procesar las mediciones de conductividad y de temperatura recibidas de los sensores internos 122 y tener como salida datos de medición procesados por medio de la línea de datos 126 a una o más ubicaciones externas, incluida, por ejemplo, la estación de recepción 170. El procesamiento realizado por el procesador de datos 230 puede incluir, por ejemplo, conversión analógico a digital. Según al menos un ejemplo de realización, el procesador de datos 230 incluye hardware y/o software que puede realizar conversión analógico a digital. Por ejemplo, el procesador de datos 230 puede incluir una función analógico a digital que convierte mediciones recibidas de los sensores internos 122, que pueden ser recibidos en forma analógica, a forma digital. La función analógico a digital también puede organizar los datos digitales generados según el tipo de medición con los que se asocian los datos de manera que los tipos diferentes de datos digitales (p. ej., conductividad, temperatura, etc.) se representan de manera uniforme y organizada. Según al menos un ejemplo de realización, la línea de datos 126 a través de la que el primer procesador de datos 230 tiene como salida datos de medición procesados puede ser una línea de datos existente para instrumentación convencional ya presente en el núcleo de reactor 140. Así, puede no ser necesario tirar nuevas líneas de datos por toda la estructura de reactor 110 para la unidad de monitorización interna 120.

Los sensores internos 122 y el procesador de datos 230 de la unidad de monitorización interna 120 pueden acoplarse cada uno y recibir alimentación de la línea de alimentación 125. Según al menos unos ejemplos de realizaciones, la línea de alimentación 125 puede ser una línea de alimentación existente para instrumentación convencional ya presente en el núcleo de reactor 140. Así, puede no ser necesario tirar nuevas líneas de alimentación por toda la estructura de reactor 110 para la unidad de monitorización interna 120.

Las operaciones y los procesos funcionales tratados anteriormente con respecto a la distribución de sensores de conductividad 122A y la distribución de sensores de temperatura 122B de los sensores internos 122, y el primer procesador de datos 230 pueden ser implementados usando hardware que incluye, por ejemplo, uno o más procesadores de señales digitales (DSP, del inglés *digital signal processors*), circuitos integrados específicos de aplicación, distribuciones de puertas programables en campo (FPGA, del inglés *field programmable gate array*) o algo semejante.

La figura 3 es un diagrama que ilustra el dispositivo externo de monitorización 130 en mayor detalle según ejemplos de realizaciones.

Haciendo referencia a la figura 3, el primer dispositivo de monitorización 130 puede incluir la distribución externa de sensores 132, la unidad de alimentación 134, el transmisor 136, un segundo procesador de datos 310, un controlador 320, una segunda carcasa 330 y una unidad de acoplamiento 340.

Según al menos un ejemplo de realización, la segunda carcasa 330 encierra y sostiene la distribución externa de sensores 132, la unidad de alimentación 134, el transmisor 136, el segundo procesador de datos 310, y el controlador 320. Como la primera carcasa 127, la segunda carcasa 330 se puede formar de cualquier material rígido que tenga un punto de fusión relativamente alto y puede resistir deformación mientras experimenta fuerza física extrema. Por ejemplo, la segunda carcasa 330 se puede formar de acero inoxidable, tungsteno, molibdeno, niobio o un cerámico que incluye, por ejemplo, carburo de silicio.

La unidad de acoplamiento 340 fija la segunda carcasa 330 a una superficie de una estructura de reactor 110 que es monitorizada por el dispositivo externo de monitorización 130. Por ejemplo, en el ejemplo ilustrado en la figura 3, el dispositivo externo de monitorización 330 se fija al recipiente de reactor 150 a través de la unidad de acoplamiento 340. La unidad de acoplamiento 340 puede ser cualquier dispositivo que pueda formar una conexión estable entre la carcasa 330 y la superficie a la que está conectado el dispositivo externo de monitorización 130. Por ejemplo, la unidad de acoplamiento 340 puede incluir al menos uno de imanes, adhesivos y pernos.

La distribución externa de sensores 132 puede incluir una distribución de unidades sensitivas que incluye unidades sensitivas primera a tercera 132A-C. Aunque con el propósito de simplicidad, la distribución externa de sensores 132 se ilustra en la figura 3 y se trata como que incluye únicamente tres unidades sensitivas 132A-C, según ejemplos de realizaciones, la distribución externa de sensores 132 puede incluir cualquier número de unidades sensitivas dispuestas verticalmente, por ejemplo, para extenderse una distancia igual a una altura del núcleo de reactor 140. Las unidades sensitivas primera a tercera 132A-C se puede configurar para sentir cualquier tipo de condiciones ambientales que puedan permitir a un operario de planta inferir un estado del núcleo de reactor 140, según una preferencia del operario de planta. Por ejemplo, las unidades sensitivas primera a tercera 132A-C pueden incluir hardware y/o software que pueden medir flujo de neutrones y/o flujo gamma. El hardware de sensor de flujo de neutrones y/o flujo gamma puede incluir colimadores para estrechar las capacidades de medición de los sensores a una ubicación axial particular del núcleo de reactor 140.

Como se ilustra en la figura 3, la distribución externa de sensores 132 se conecta a un segundo procesador de datos 310. Según al menos un ejemplo de realización, la distribución externa de sensores 132 puede enviar mediciones ambientales 315 al segundo procesador de datos 310.

Como el primer procesador de datos 230 ilustrado en la figura 2, el segundo procesador de datos 310 procesa mediciones recibidas y tiene como salida datos de medición procesados 317. Por ejemplo, el segundo procesador de

datos 310 puede procesar las mediciones ambientales 315 recibidas de la distribución externa de sensores 132. Como el primer procesador de datos 230 tratado anteriormente con referencia a la figura 2, el procesamiento realizado por el segundo procesador de datos 310 puede incluir, por ejemplo, conversión analógico a digital. Sin embargo, el procesamiento realizado por el segundo procesador de datos 310 también puede incluir encriptación. Según al menos un ejemplo de realización, el segundo procesador de datos 310 incluye hardware y/o software que pueden realizar conversión analógico a digital. Por ejemplo, el segundo procesador de datos 310 puede incluir una función analógico a digital que convierte las mediciones ambientales 315, que puede ser recibida de la distribución externa de sensores 132 en forma analógica, a forma digital. Como el primer procesador de datos 230, la función analógico a digital del segundo procesador de datos 310 también puede organizar los datos digitales generados según el tipo de medición con los que se asocian los datos los tipos diferentes de datos digitales (p. ej., flujo de neutrones, flujo gamma, etc.) se representan de manera uniforme y organizado. Además, según al menos un ejemplo de realización, el segundo procesador de datos 310 también puede incluir hardware y/o software que pueda realizar encriptación de datos. Por ejemplo, el segundo procesador de datos 310 puede incluir una función de encriptación que encripta los datos digitales de medición generados por la función de conversión analógico a digital.

Según al menos un ejemplo de realización, los datos de medición pueden ser encriptados para ayudar a asegurar que únicamente los receptores pretendidos pueden leer los datos de medición. Los receptores pretendidos incluyen, por ejemplo, la estación de recepción 170 ilustrada en la figura 1. Las funciones de conversión analógico a digital y de encriptación realizadas por el segundo procesador de datos 310 pueden ser realizadas según métodos conocidos para conversión analógico a digital y encriptación, respectivamente. El segundo procesador de datos 310 tiene como salida las mediciones ambientales procesadas para el transmisor 136 en forma de los datos de medición 317. Según al menos un ejemplo de realización, el segundo procesador de datos 310 también puede tener como salida los datos de medición 317 para el controlador 320.

El transmisor 136 transmite inalámbricamente los datos de medición 317 hacia fuera desde el dispositivo externo de monitorización 130. El transmisor 136 puede transmitir los datos de medición 317 usando señales de radio 138. Por ejemplo, el transmisor 136 puede transmitir los datos de medición 317 usando, como señales de radio 138, señales de radio de baja frecuencia (LF) o ultra baja frecuencia (ULF) que va de 300 Hz a 300 kHz. El transmisor 136 puede incluir, por ejemplo, cualquier dispositivo conocido que pueda transmitir datos usando ondas de radio de baja frecuencia. Las ondas de radio de baja frecuencia pueden ser ondas de radio suficientemente bajas como para penetrar la infraestructura de una estructura de reactor a la que se fija el dispositivo externo de monitorización 130.

La unidad de alimentación 134 proporciona cualquier alimentación necesaria para el funcionamiento de la distribución externa de sensores 132, el segundo procesador de datos 310, el transmisor 136 y el controlador 320. Según al menos un ejemplo de realización, la unidad de alimentación 134 puede funcionar independientemente de cualquier fuente de alimentación externa al dispositivo externo de monitorización 130. Por ejemplo, la unidad de alimentación 134 puede incluir una o más baterías y/o celdas de combustible.

Según al menos un ejemplo de realización, a fin de prolongar la esperanza de vida de la unidad de alimentación 134, uno o más elementos dentro del dispositivo externo de monitorización 130 pueden funcionar en al menos dos modos de funcionamiento: espera y activo. Los modos de funcionamiento pueden ser controlados, por ejemplo, por el controlador 320.

El controlador 320 incluye hardware y/o software para generar señales de control 325 para controlar un modo de funcionamiento de una o más de las distribuciones externas de sensores 132, el procesador de datos 310, el transmisor 136 y la unidad de alimentación 134. Los modos de funcionamiento incluyen al menos un modo de espera para funcionamiento durante condiciones de funcionamiento normal, y un modo activo para funcionamiento durante condiciones de funcionamiento fuera de lo normal. El controlador 320 puede seleccionar un modo de funcionamiento basándose en si la estructura de reactor a la que se fija el dispositivo externo de monitorización 130 está experimentando o no condiciones fuera de lo normal, incluido, por ejemplo, un LOCA. Por ejemplo, el controlador 320 puede recibir datos de medición ambiental 317 del segundo procesador de datos 310, y determinar si existen o no condiciones fuera de lo normal basándose en los datos de medición 317. El controlador 320 puede entonces establecer la condición de funcionamiento a espera si existen condiciones de funcionamiento normal, y establecer el modo de funcionamiento a activo si existen condiciones de funcionamiento fuera de lo normal. El controlador 320 puede determinar si existen o no condiciones fuera de lo normal al comparar los datos de medición 317 con umbrales de valores almacenados internamente en el controlador 320. Los umbrales de valores se pueden establecer según la preferencia de un operario de planta.

En modo de espera el controlador 320 puede controlar uno o más elementos dentro del dispositivo externo de monitorización 130 para funcionar menos a menudo o intermitentemente a fin de conservar la energía durante condiciones de funcionamiento normal. En modo activo, el controlador 320 puede controlar uno o más elementos dentro del dispositivo externo de monitorización 130 para funcionar más a menudo o continuamente. Por consiguiente, en modo activo, el dispositivo externo de monitorización 130 puede proporcionar, por ejemplo, constante, datos de medición en tiempo real a, por ejemplo, operarios de planta en ubicaciones externas, incluida la estación de recepción 170 ilustrada en la figura 1 durante condiciones de emergencia.

Según al menos un ejemplo de realización, en modo de espera, las unidades sensitivas de la distribución sensitiva

externa 132, que incluye por ejemplo unidades sensitivas primera a tercera 132A-C, pueden funcionar intermitentemente proporcionando mediciones ambientales 315, por ejemplo, una vez cada 1-5 minutos. Además, el procesador de datos 320 puede funcionar intermitentemente correspondiendo al funcionamiento de la distribución sensitiva 132. Además, en modo de espera, el procesador de datos puede proporcionar datos únicamente al controlador 320 y no al trasmisor 136, y el trasmisor 136 puede no transmitir datos en absoluto. Además, en modo de espera la unidad de alimentación 134 se puede configurar para producir una menor salida de alimentación en comparación con el modo activo.

Según al menos un ejemplo de realización, en modo activo, las unidades sensitivas de la distribución sensitiva externa 132, que incluye por ejemplo unidades sensitivas primera a tercera 132A-C, pueden funcionar generando continuamente mediciones ambientales 315 constantemente, y el segundo procesador de datos 310 puede funcionar continuamente, procesando constantemente las mediciones ambientales 315 para generar los datos de medición 317. Además, en modo activo, el segundo procesador de datos 310 puede proporcionar los datos de medición 317 al trasmisor 136, y el trasmisor 136 puede transmitir continuamente los datos de medición usando, por ejemplo, ondas de radio de baja frecuencia. Además, en modo de activo la unidad de alimentación 134 se puede configurar para producir una mayor salida de alimentación en comparación con el modo de espera.

Por consiguiente, al utilizar los modos de funcionamiento de espera y activo, el primer dispositivo externo de monitorización puede funcionar durante periodos de tiempo prolongados incluso mientras usa una fuente de alimentación independiente. Según al menos un ejemplo de realización, la distribución externa de sensores 132, el segundo procesador de datos 310, el trasmisor 136, el controlador 320 y la unidad de alimentación 134 se configuran para proporcionar una vida útil en espera igual a al menos 1,5 veces la longitud de un ciclo de recarga de combustible de un reactor monitorizado por el dispositivo externo de monitorización 130.

Las operaciones y los procesos funcionales tratados anteriormente con respecto a las unidades sensitivas que incluyen unidades sensitivas primera a tercera 132A-C de la distribución externa de sensores 130, el segundo procesador de datos 310, el trasmisor 136, el controlador 320 y la unidad de alimentación 134 se pueden implementar usando hardware que incluye, por ejemplo, uno o más procesadores de señales digitales (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación, distribuciones de puertas programables en campo (FPGA) o algo semejante. Ahora se tratará en mayor detalle un método que usa los datos de medición generados por el sensor interno 120 y el sensor externo 130 para determinar un estado del núcleo de reactor 140 más adelante con referencia a las figuras 4 y 5.

La figura 4 es un diagrama funcional que ilustra una manera en la que se usan datos de mediciones para determinar un estado de un núcleo de reactor según ejemplos de realizaciones. Las operaciones ilustradas en la figura 4 pueden ser implementadas por, por ejemplo, la aplicación de interpretación de datos de medición ejecutada por el dispositivo de exposición/procesamiento de datos 174 tratado anteriormente con referencia a la figura 1.

Haciendo referencia a la figura 4, datos de medición de temperatura 23 y datos de medición de conductividad 24 generados por los sensores internos 122 y, según al menos un ejemplo de realización, procesados por el primer procesador de datos 230, se pueden compilar como conjunto de datos de medición interna 21. El conjunto de datos de medición interna 21 incluye datos de medición de temperatura 23 y datos de medición de conductividad 24 correspondientes a cada una de una pluralidad de alturas diferentes del núcleo de reactor 140 a las que se posicionan los sensores de conductividad 220 de la distribución de sensores de conductividad 122A y los sensores de temperatura 250 de la distribución de sensores de temperatura 122B.

Datos de medición de flujo gamma 25 y datos de medición de flujo de neutrones 26 generados por los sensores externos 122 y, según al menos un ejemplo de realización, procesados por el segundo procesador de datos 310 se pueden compilar como conjunto de medición externa 22. Similar al conjunto de medición interna 21, el conjunto de medición externa 22 incluye datos de medición de flujo gamma 25 y datos de medición de flujo de neutrones 26 correspondientes a cada una de una pluralidad de alturas diferentes del núcleo de reactor 140 en las que se posicionan las unidades sensitivas de la distribución externa de sensores 132.

La función posprocesamiento 28 es una función que realiza operaciones adicionales en el conjunto de datos de medición interna 21 y el conjunto de datos de medición externa 22. Las operaciones adicionales pueden incluir cualesquiera funciones de procesamiento de datos según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, si se encripta cualquiera de los datos de medición de temperatura 23, los datos de medición de conductividad 24, los datos de medición de flujo gamma 25 y los datos de medición de flujo de neutrones 26, la función de posprocesamiento 28 puede desencriptar los datos de medición encriptados según métodos conocidos.

Después de ser procesados los datos de medición por la función de posprocesamiento 28, los datos de medición se usan para determinar un estado de núcleo 33 del núcleo de reactor 140, por ejemplo, según métodos computacionales conocidos. Por ejemplo, a los datos de medición se pueden aplicar funciones de comparación. Por ejemplo, a los datos de medición de flujo gamma 25 se puede aplicar una función de comparación de flujo gamma 29, a los datos de medición de flujo de neutrones 26 se puede aplicar una función de comparación de flujo de neutrones 30, a los datos de medición de temperatura 23 se puede aplicar una función de comparación de temperatura 31, y a los datos de medición de conductividad 24 se puede aplicar una función de comparación de conductividad 32.

5 La función de comparación de flujo gamma 29 puede comparar cada medición de flujo gamma γ_{medida} del conjunto de medición externa 22 con un umbral de valor de flujo gamma correspondiente γ_{umbral} . Los umbrales de valores se pueden elegir, por ejemplo, según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, para cada altura del núcleo de reactor 140 en la que se toman las mediciones incluido en los datos de flujo gamma 25, puede haber un correspondiente umbral de valor de flujo gamma γ_{umbral} . La función de comparación de flujo gamma 29 puede producir, como salida, valores de diferencia sobre la base de las comparaciones de las mediciones de flujo gamma γ_{medido} y los umbrales de valores de flujo gamma γ_{umbral} .

10 De manera semejante, la función de comparación de flujo de neutrones 30 puede comparar cada medición de flujo de neutrones n_{medido} del conjunto de medición externa 22 con un correspondiente umbral de valor de flujo de neutrones n_{umbral} . Los umbrales de valores se pueden elegir, por ejemplo, según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, para cada altura del núcleo de reactor 140 en la que se toman las mediciones incluido en los datos de flujo de neutrones 26, puede haber un correspondiente umbral de valor n_{umbral} . La función de comparación de flujo de neutrones 30 puede producir, como salida, valores de diferencia sobre la base de las comparaciones de las mediciones de flujo de neutrones n_{medido} y los umbrales de valores de flujo de neutrones n_{umbral} .

15 Además, la función de comparación de temperatura 31 puede comparar cada medición de temperatura $temp_{medida}$ del conjunto de medición interna 21 con un correspondiente umbral de valor de temperatura $temp_{umbral}$. Los umbrales de valores se pueden elegir, por ejemplo, según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, para cada altura del núcleo de reactor 140 en la que se toman las mediciones incluido en los datos de temperatura 23, puede haber un correspondiente umbral de valor de temperatura $temp_{umbral}$. La función de comparación de temperatura 31 puede producir, como salida, valores de diferencia sobre la base de las comparaciones de las mediciones de temperatura $temp_{medida}$ y los umbrales de valores de temperatura $temp_{umbral}$.

20 De manera semejante, la función de comparación de conductividad 32 puede comparar cada medición de conductividad $cond_{medida}$ del conjunto de medición interna 21 con un correspondiente umbral de valor de conductividad $cond_{umbral}$. Los umbrales de valores se pueden elegir, por ejemplo, según una preferencia de un operario de planta. Por ejemplo, para cada altura del núcleo de reactor 140 en la que se toman las mediciones incluido en los datos de conductividad 24, puede haber un correspondiente umbral de valor de conductividad $cond_{umbral}$. La función de comparación de conductividad 32 puede producir, como salida, valores de diferencia sobre la base de las comparaciones de las mediciones de conductividad $cond_{medida}$ y los umbrales de valores de conductividad $cond_{umbral}$.

25 La función de estado de núcleo puede interpretar las salidas de la función de comparación de flujo gamma 29, la función de comparación de flujo de neutrones 30, la función de comparación de temperatura 31, y la función de comparación de conductividad 32 para determinar condiciones dentro del núcleo de reactor 140. Las condiciones determinados pueden incluir, por ejemplo, oxidación de revestimiento, fusión de revestimiento, redistribución de núcleo, reactividad de nuclear k_{eff} , un porcentaje de daño de núcleo, un nivel de temperatura, y un nivel de agua dentro del núcleo de reactor.

30 Así, según diversos ejemplos de realizaciones, se puede obtener información en relación con un estado de un núcleo de reactor que está siendo monitorizado, incluso durante condiciones graves fuera de lo normal como las asociadas con un accidente grave de reactor, usando mediciones tomadas con dispositivos de monitorización de reactor contruidos robustamente ubicados en posiciones dentro y fuera del núcleo de reactor monitorizado. La información de estado de núcleo de reactor ayudará a un operario de planta a detectar, valorara y manejar accidentes de reactor nuclear.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para monitorizar un estado de un núcleo de reactor (140) incluido en un reactor nuclear (100), el sistema comprende:
- un reactor nuclear (100) que comprende un núcleo de reactor (140) dentro de una estructura de reactor (110);
- 5 un dispositivo interno de monitorización (120) ubicado dentro del núcleo de reactor (140), el dispositivo interno de monitorización (120) incluye una o más distribuciones internas de sensores (122) cada una configurada para tomar mediciones de condiciones del núcleo de reactor (140) en cada una de una pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor para generar datos de medición interna, el dispositivo interno de monitorización (120) se configura para proporcionar los datos de medición interna a una o más líneas de señales de datos del reactor nuclear (140); en el que la una o más distribuciones internas de sensores (122) incluye una distribución de sensores de conductividad (122A) que incluye una pluralidad de sensores de conductividad (220A-C), cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad se extiende a una superficie exterior de una primera carcasa (127), cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad correspondiente a una de la pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor, y en el que la primera carcasa incluye una pluralidad de protuberancias (240) que se extienden hacia fuera encima de cada uno de la pluralidad de sensores de conductividad,
- 10 un dispositivo externo de monitorización (130) ubicado en la estructura de reactor fuera del núcleo de reactor (140), el dispositivo externo de monitorización (130) incluye una o más distribuciones externas de sensores (132) cada uno configurado para tomar mediciones de condiciones del núcleo de reactor (140) en posiciones fuera del núcleo de reactor (140) correspondientes a cada una de la pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor (140) para generar datos de medición externa, y un transmisor (136) configurado para transmitir inalámbricamente los datos de medición externa fuera del reactor nuclear (100); y
- 20 una estación receptora (170) configurada para recibir los datos de medición externa y los datos de medición interna, y para determinar un estado del núcleo de reactor (140) sobre la base de los datos recibidos de medición externa e interna.
- 25 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde la una o más distribuciones internas de sensores (122) se configuran cada una para tomar mediciones de al menos una de una temperatura y una conductividad del núcleo de reactor.
3. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo interno de monitorización (120) además en la que la primera carcasa se hace de un material rígido que tiene un punto de fusión más alto que el del acero inoxidable.
- 30 4. El sistema de la reivindicación 3, en donde la primera carcasa se hace de al menos uno de tungsteno, molibdeno, niobio y carburo de silicio.
5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde la una o más distribuciones internas de sensores (122) incluye además una distribución de sensores de temperatura que incluyen una pluralidad de sensores de temperatura cada una correspondiente a una de la pluralidad de posiciones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor (140).
- 35 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo interno de monitorización (120) se ubica dentro de un tubo de sonda que atraviesa núcleo (TIP, del inglés *traversing in-core probe*) del núcleo de reactor.
7. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo interno de monitorización (120) incluye además un primer procesador de datos configurado para generar los datos de medición interna al digitalizar las mediciones tomadas por la una o más distribuciones internas de sensores.
- 40 8. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde al menos una de la una o más distribuciones externas de sensores (132) se configura para tomar mediciones de al menos un de un flujo gamma y un flujo de neutrones del núcleo de reactor.
- 45 9. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo externo de monitorización (130) incluye además una segunda carcasa hecha de al menos uno de acero inoxidable, tungsteno, molibdeno, niobio y carburo de silicio.
10. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde la una o más distribuciones externas de sensores (132) incluye una distribución de unidades sensitivas que incluye una pluralidad de unidades sensitivas, cada una de la pluralidad de unidades sensitivas se configura para medir al menos uno de un flujo gamma y un flujo de neutrones, cada una de la pluralidad de unidades sensitivas correspondiente a una de la pluralidad de regiones verticales diferentes dentro del núcleo de reactor.
- 50 11. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo externo de monitorización (130) incluye además una unidad de alimentación configurada para alimentar el dispositivo externo de monitorización

independientemente de cualquier fuente de alimentación externa.

- 5 12. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo externo de monitorización (130) incluye además una unidad de acoplamiento configurada para fijar el dispositivo externo de monitorización a una superficie dentro del reactor nuclear, la unidad de acoplamiento incluye al menos uno de un imán, un adhesivo y un mecanismo de empernado.
- 10 13. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo externo de monitorización (130) incluye además un controlador configurado para controlar un modo de funcionamiento del dispositivo externo de monitorización para que sea uno de un modo activo y un modo de espera basado en los datos de medición externa, en donde el dispositivo externo de monitorización se configura para funcionar de manera que se usa menos energía en el modo de espera que en el modo activo.
14. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde la estación receptora (170) incluye una unidad de procesamiento de datos configurada para determinar condiciones en el núcleo de reactor que incluye al menos oxidación de revestimiento, nivel de agua, fusión de revestimiento, redistribución de núcleo, reactividad nuclear k_{eff} y temperatura, basándose en al menos uno de los datos de medición externa y los datos de medición interna.

FIG. 1

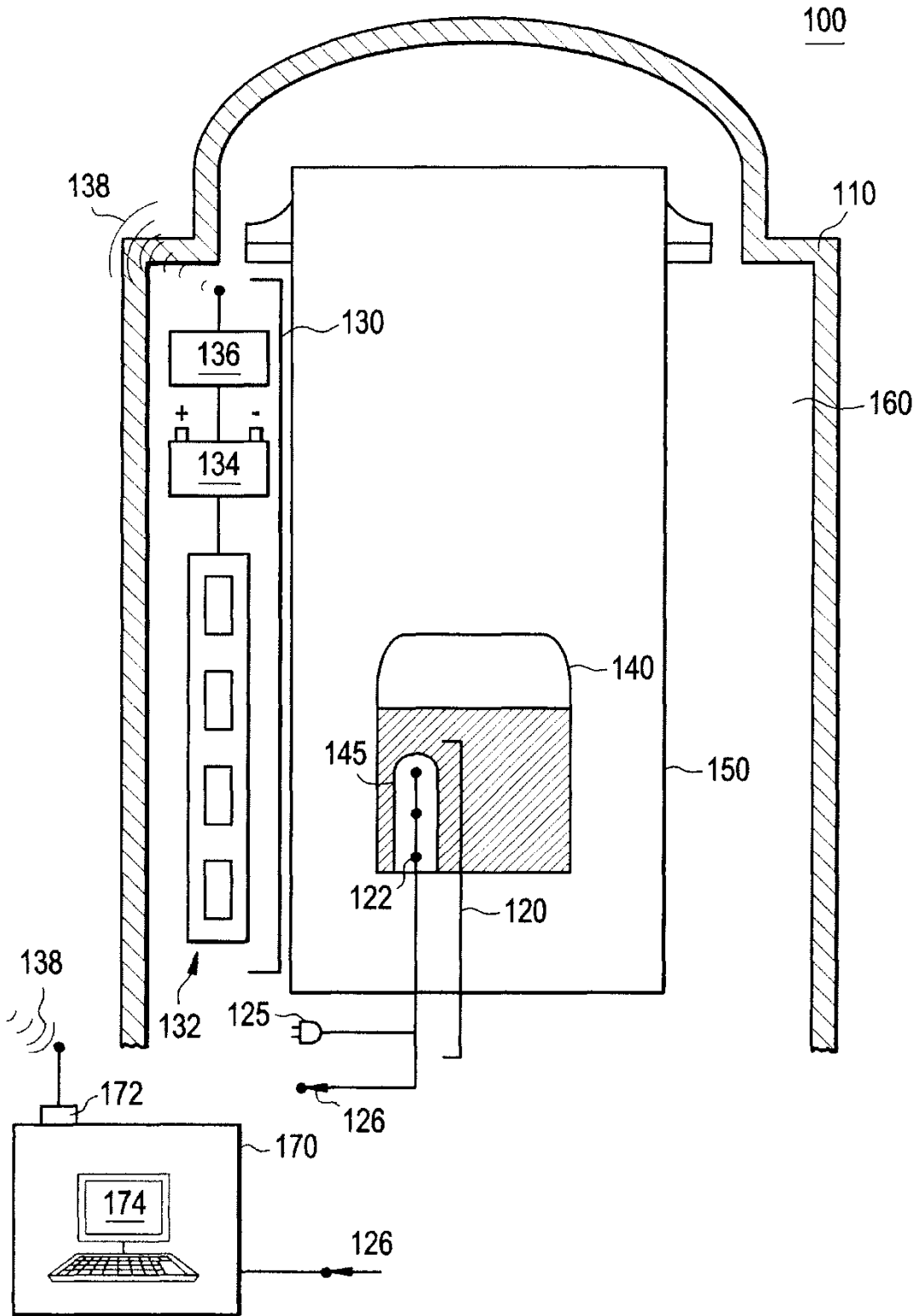


FIG. 2

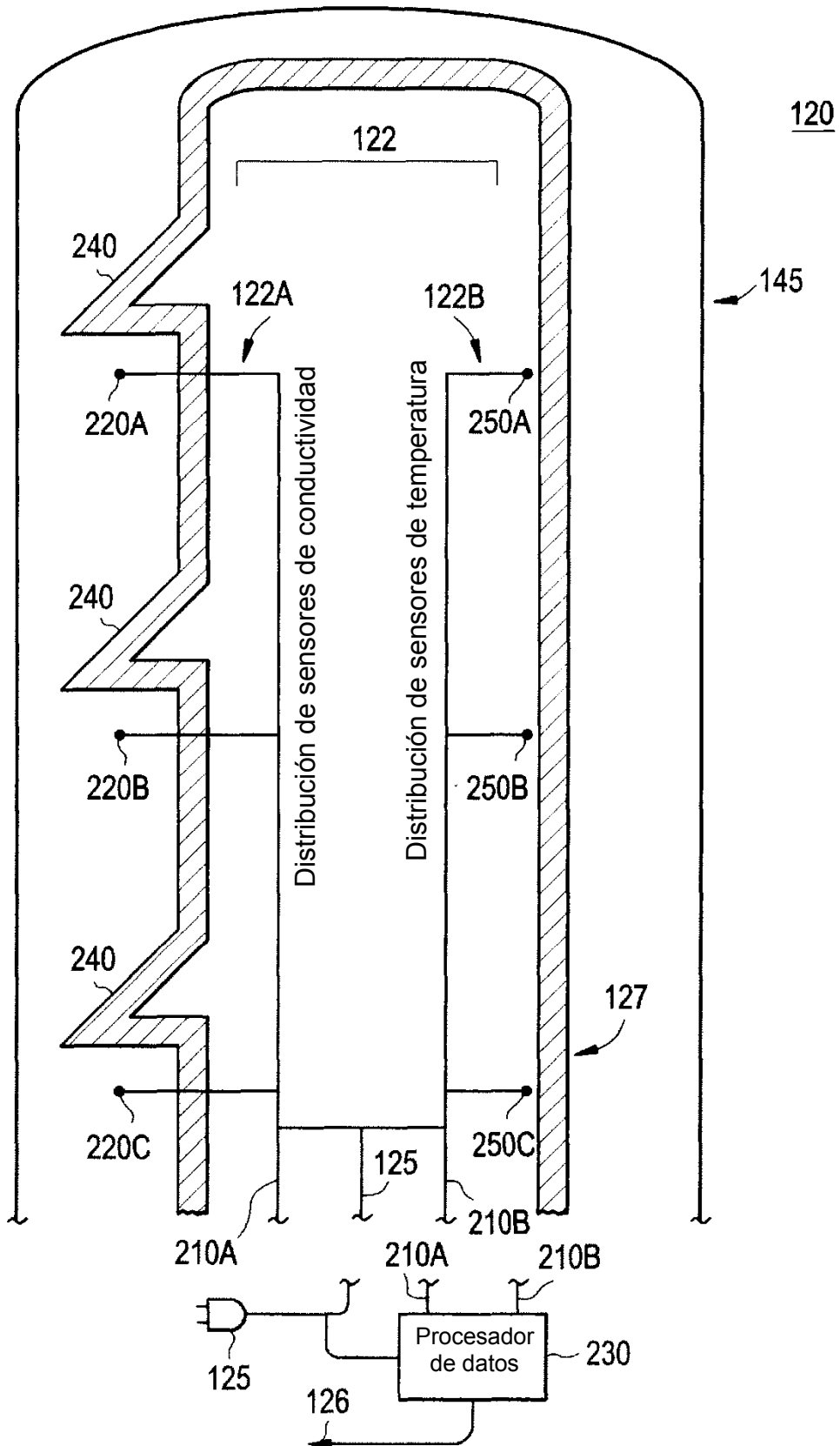


FIG. 3

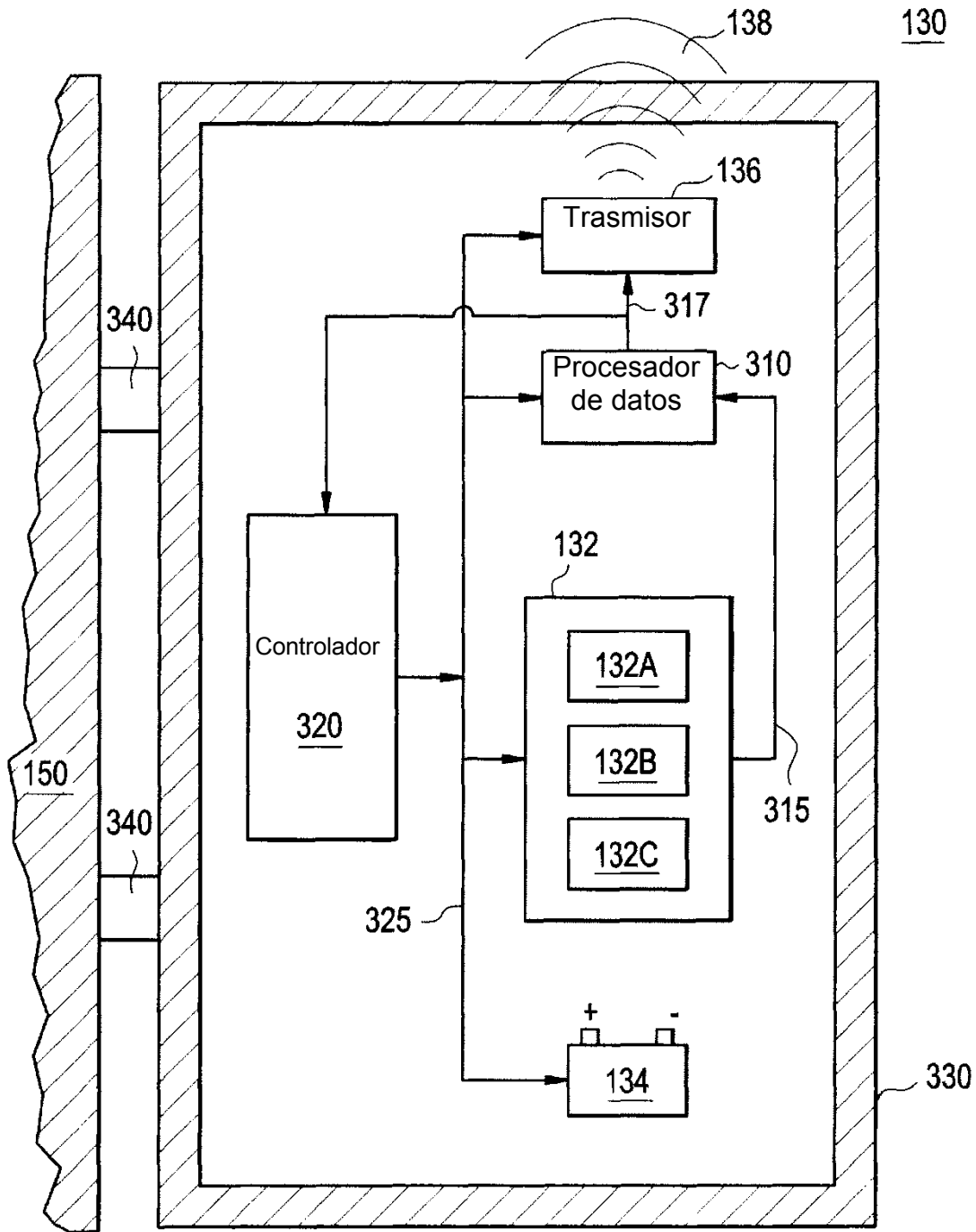


FIG. 4

