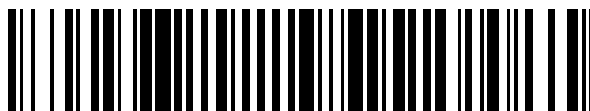


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 860**

51 Int. Cl.:

G21C 17/00 (2006.01)

G21C 17/10 (2006.01)

G01N 17/02 (2006.01)

G21C 17/022 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2005** **E 05857909 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2013** **EP 1794760**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la determinación del potencial electroquímico de corrosión**

30 Prioridad:

28.09.2004 US 951531

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

09.05.2013

73 Titular/es:

AREVA NP INC. (50.0%)
3315 Old Forest Road
Lynchburg, VA 24501, US y
AREVA GMBH (50.0%)

72 Inventor/es:

POP, MIHAI, G.M.;
LOCKAMON, BRIAN, G.;
SELL, HANS-JURGEN y
KILIAN, RENATE

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 402 860 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

Dispositivo y procedimiento para la determinación del potencial electroquímico de corrosión

5 CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a la determinación del potencial electroquímico de corrosión para componentes en una central nuclear. Más específicamente, la presente invención proporciona un dispositivo y un procedimiento para la determinación del potencial electroquímico de corrosión de un combustible de reactor nuclear en un sistema de refrigerante del reactor para una central nuclear, en el que el potencial electroquímico de corrosión se determina a través de medidas del potencial alejadas del combustible.

INFORMACIÓN DE ANTECEDENTES

[0002] Los reactores nucleares, por ejemplo, los reactores de agua en ebullición y de agua a presión, hacen pasar agua a través de un núcleo de reactor que contiene combustible nuclear. El paso de esta agua a través del núcleo de reactor calienta el agua. El agua es calentada bien en una fase líquida caliente (agua a presión) o bien en una combinación de una fase líquida caliente y una fase de vapor (agua en ebullición). El agua y/o el vapor son transportados a través de los sistemas de la central nuclear, como la cuba del reactor, separadores de vapor, presionadores y generadores de vapor para transferir la energía calorífica generada por la reacción nuclear a otros sistemas de trabajo. Estos sistemas y componentes de conducciones del fluido están hechos de diversos materiales que pueden ser propensos a la corrosión y el agrietamiento por corrosión bajo tensión inducido o promovido por la irradiación.

[0003] El potencial electroquímico de corrosión proporciona una guía para determinar la magnitud de la reacción de oxidación/reducción que tiene lugar en un metal, por ejemplo, en la superficie de conductos de refrigerante de agua primarios. Las reacciones de oxidación/reducción pueden depender, por ejemplo, de la concentración de oxígeno disuelto del agua en un reactor nuclear, la concentración de hidrógeno y/o la concentración de peróxido de hidrógeno. Para reducir el potencial electroquímico de corrosión de estos sistemas de refrigerante del reactor, las concentraciones de oxígeno disuelto y de peróxido de hidrógeno del agua se mantienen lo más bajas posible, preferentemente, a un nivel de aproximadamente 25 partes por mil millones. Esto se realiza, por ejemplo, añadiendo hidrógeno al sistema. Sin embargo, en la práctica, el mantenimiento de las concentraciones de oxígeno disuelto, hidrógeno y peróxido de hidrógeno en este bajo nivel es extremadamente difícil debido a la química variable del agua en el sistema de refrigerante del reactor.

[0004] Las medidas del potencial electroquímico de corrosión se realizan en las centrales nucleares para determinar si se están produciendo condiciones corrosivas en la central y si es probable que se produzca un agrietamiento por corrosión bajo tensión. En particular, si el valor del potencial electroquímico de corrosión es relativamente bajo (es decir, por debajo de un valor umbral), las tasas de formación de grietas debidas a corrosión bajo tensión no son importantes y no es preciso analizarlas adicionalmente. Sin embargo, por encima del valor umbral, la posibilidad de agrietamiento por corrosión bajo tensión aumenta cuando se incrementan los valores del potencial electroquímico de corrosión. Las medidas de potencial electroquímico de corrosión se realizan en un único punto en el sistema de refrigerante primario en el componente o las conducciones de interés como, por ejemplo, en bridas de collar soldadas de los sistemas de purificación del agua. Las sondas de potencial electroquímico existentes contienen sensores que son normalmente una configuración de metal/óxido metálico que responden a las concentraciones de oxígeno en el agua del reactor.

[0005] Los sistemas existentes usados para medir el potencial electroquímico de corrosión tienen muchos inconvenientes. En primer lugar, las sondas usadas son frágiles y sólo están operativas durante aproximadamente tres meses ya que los sensores del interior de las sondas se deterioran por el calor y la radiación. En consecuencia, las sondas sólo pueden medir el potencial electroquímico de corrosión durante menos del 25% del tiempo del núcleo de reactor residente lo que excluye su uso en torno a un reactor nuclear. Las alternativas de los operadores de la central nuclear para aliviar este inconveniente son escasas. La central nuclear puede hacerse funcionar sin supervisión de las condiciones de corrosión; sin embargo, si el potencial electroquímico de corrosión no se mide para todo el ciclo del combustible, las condiciones pueden favorecer la formación de corrosión o agrietamiento por corrosión bajo tensión, con lo que pueden resultar dañados los sensibles y costosos sistemas de la central nuclear. Alternativamente, puede interrumpirse el funcionamiento del reactor nuclear y sustituirse las sondas de potencial electroquímico de corrosión en torno al reactor. Esta alternativa resulta económicamente poco atractiva debido a los costes asociados a un cierre de la instalación. El segundo inconveniente es que los sistemas existentes usan una sonda de punto de medida discreta para el análisis. Este tipo de sistema simplemente proporciona una medida puntual en un sistema individual. Los sistemas existentes no pueden elucidar si el potencial electroquímico de corrosión es elevado en una parte del sistema de la central nuclear no medida directamente. Los materiales complejos y cambiantes que circulan por el sistema de refrigerante de una central nuclear no permiten que los

sistemas actuales midan con precisión el potencial electroquímico de corrosión de distintos sistemas entre sí. En consecuencia, algunos sistemas o subsistemas del reactor nuclear son más propensos que otros a la corrosión y al agrietamiento por corrosión bajo tensión. Los sistemas actuales no permiten que el operador de la central nuclear compare datos obtenidos de la medida de diferentes sistemas, por tanto, la atención se centra en la localización de la sonda. No se realiza un verdadero análisis de evaluación de riesgos de todo el sistema de la central nuclear. Los sistemas actuales tampoco determinan un potencial electroquímico de corrosión para elementos de combustible de revestimiento de circonio. Hasta la fecha, los sistemas actuales se limitan a determinar el potencial electroquímico de corrosión de los elementos estructurales o de las conducciones en el interior de los sistemas de refrigeración del reactor.

[0006] El documento EP-0.417.571 desvela un sistema supervisor de monitorización del estado operativo de una central que comprende un electrodo electroquímico de referencia.

[0007] El documento JP-2000-065.785 desvela un sensor electroquímico que comprende un electrodo de dióxido de circonio estabilizado con óxido de itrio.

[0008] El documento US-6.623.611 desvela un sensor electroquímico que comprende un electrodo con punta de aleación de circonio.

[0009] Existe la necesidad de proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que permita la determinación de un potencial electroquímico de corrosión durante el ciclo de combustible completo de una central nuclear.

[0010] Existe la necesidad adicional de proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que permita la sustitución de una sonda y sus sensores asociados al término del tiempo de servicio de una forma económicamente eficaz.

[0011] Existe también la necesidad de proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que determine el potencial electroquímico de corrosión de un sistema nuclear desde varios puntos diferentes para proporcionar datos al operador de una central nuclear acerca de los sistemas nucleares que presentan riesgo de corrosión con respecto a otros sistemas nucleares.

[0012] Existe también la necesidad adicional de proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que pueda usarse con barras de combustible en un sistema de central nuclear para determinar la magnitud de la degradación potencial de las barras de combustible durante las condiciones operativas del reactor.

RESUMEN

[0013] Por tanto un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que permita determinar un potencial electroquímico de corrosión durante un ciclo de combustible completo de una central nuclear.

[0014] También es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que permita la sustitución de una sonda y sus sensores asociados al término del tiempo de vida de los sensores respectivos de una forma económicamente eficaz.

[0015] También es un objeto de la invención proporcionar un sistema de medida del potencial electroquímico de corrosión que permita la determinación del potencial electroquímico de corrosión desde varios puntos diferentes en el interior de una central nuclear para proporcionar datos al operador de una central nuclear acerca de qué sistemas nucleares están en riesgo de potencial de corrosión por tensión con respecto a otros sistemas nucleares.

[0016] Un objeto adicional más de la presente invención es determinar el potencial electroquímico de corrosión de las barras de combustible nuclear.

[0017] Los objetos de la presente invención se consiguen tal como se ilustran y se describen. La invención proporciona una central nuclear que comprende un sistema para determinar un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible de reactor nuclear según la reivindicación 1.

[0018] La presente invención también proporciona un procedimiento para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de reactor nuclear según la reivindicación 8.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0019]

5 La fig. 1 es una disposición para la colocación de sondas de potencial electroquímico en un sistema de refrigerante de un reactor nuclear de ejemplo de un reactor de agua a presión.

La fig. 2 es una disposición para la colocación de sondas de potencial electroquímico en un sistema de refrigerante de un reactor nuclear de ejemplo de un reactor de agua en ebullición.

10 La fig. 3 es una disposición de un conjunto de combustible que ilustra barras de combustible con revestimiento de circonio.

15 La fig. 4 es una disposición para medir un potencial electroquímico de corrosión de acuerdo con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

20 **[0020]** En referencia a la fig. 1, se ilustra un sistema de análisis del potencial electroquímico de corrosión 10 para un reactor de agua a presión. Aunque mostrado en la fig. 1 como relativo a reactores de agua a presión, el sistema 10 es igualmente aplicable a reactores de agua en ebullición y así la forma de realización de ejemplo ilustrada no debería considerarse limitativa. Un reactor nuclear 12 contiene combustible nuclear en forma de conjuntos de combustible 18. Los conjuntos de combustible 18 están situados en el reactor 12 de manera que en las condiciones prescritas, el combustible nuclear en los conjuntos de combustible 18 produce una reacción nuclear en 25 cadena que en consecuencia produce calor. El calor generado por la reacción se elimina del reactor 12 por medio del agua que circula en un sistema de refrigerante del reactor 13 anexo. El agua circula en el sistema de refrigerante del reactor 13 desde una entrada de agua del reactor 14 en el reactor nuclear 12 y a través de los conjuntos de combustible nuclear 18. Una salida del reactor 20 permite que el agua calentada desde el reactor 12 salga del reactor 12 para su procesamiento posterior. El agua calentada pasa por la salida del reactor 20 y a continuación 30 pasa por un presionador 22 que mantiene el control de presión y de impactos para el sistema de refrigerante del reactor 13. Se mantiene una fase de vapor 58 en una parte superior del presionador 22 mediante el accionamiento de un calentador 26 controlado por una unidad de control de calentador 24. El volumen del agua en el presionador 22 puede modificarse añadiendo refrigerante del reactor desde un depósito de compensación del presionador 32. El presionador 22 se conecta al sistema de refrigerante del reactor por medio de una tubería de compensación del 35 presionador 30, que puede ser recta o curva (por ejemplo, curva en S), a través de la cual se realiza el control de presión y de impactos.

[0021] El agua que se desplaza a través de la salida del reactor 20 pasa al presionador a través de la entrada del generador de vapor del sistema de refrigerante del reactor 48. El agua calentada pasa a través del generador de 40 vapor 42 y transfiere el calor a una masa de agua separada que pasa desde la entrada del generador de vapor 44 hasta la salida del generador de vapor 46. El agua que pasa a través de la entrada del generador de vapor 44 hasta la salida del generador de vapor 46 puede transformarse en una fase de vapor y posteriormente se hace pasar a través de una turbina para fines de generación de electricidad, por ejemplo. El agua que pasa a través del generador de vapor 42 sale a través de la salida del generador de vapor 50 del sistema de refrigerante del reactor. A 45 continuación el agua retorna a través del sistema de refrigerante del reactor 13 al reactor nuclear 12 con ayuda de la bomba de refrigerante del reactor 52. Si la válvula de control 34 permite que el agua calentada salga por la salida del reactor 20 hasta la tubería de entrada de extracción del calor residual 54, el agua calentada pasa a continuación a través de una bomba de extracción del calor residual 36 con un intercambiador de calor 38 conectado. El calor del agua calentada puede transferirse mediante un intercambiador de calor 38 a una masa de agua separada que 50 circula a través de una entrada/salida 40. El agua que pasa a través de la bomba de extracción del calor residual 36 puede devolverse a continuación al resto del sistema de refrigerante del reactor 13 a través de una tubería de salida de extracción del calor residual 56.

[0022] En referencia a la fig. 2, se ilustra un sistema de análisis del potencial electroquímico de corrosión 55 para un reactor de agua en ebullición bombeada en sentido retrógrado. Un reactor nuclear 12 contiene combustible nuclear en forma de conjuntos de combustible 18. Los conjuntos de combustible 18 están situados en el reactor 12 de manera que en las condiciones prescritas el combustible nuclear en los conjuntos de combustible 18 produce una reacción nuclear en cadena mediante la emisión de radiación nuclear y calor. El calor, generado por la reacción, es extraído del reactor 12 por agua en ebullición y, así, produce vapor. El agua, que se usa para ebullición, es 60 transportada en el reactor 12 por medio de la tubería de agua de alimentación 60. El agua puede ser forzada a través de los conjuntos de combustible 18 mediante el uso de bombas de inyección internas 70. El agua puede ser transformada en vapor cuando se hace pasar a través de los conjuntos de combustible 18. A continuación, el vapor pasa a través de un separador de vapor 62 y un secador de vapor 64 a la tubería de vapor principal 66, que lleva el

vapor fuera del reactor 12. Se consigue una distribución de temperatura media del agua haciendo circular el agua a través de unas conducciones de recirculación externa 13. El agua se extrae del reactor 12 a través de un conducto de salida del reactor 20. A continuación es transportada a través de la bomba de recirculación 80 y después es transportada de nuevo al reactor a través del conducto de entrada del reactor 14.

[0023] En referencia a las fig. 1 y 2, las sondas 200, 202 del sistema 10 pueden colocarse en múltiples localizaciones en el sistema de refrigerante del reactor 13 y el reactor 12 y en sistemas adyacentes para medir el potencial electroquímico de corrosión. Las sondas 200, 202 pueden colocarse en la entrada de refrigerante del reactor 14 y en la salida del reactor 20 para medir el potencial electroquímico de corrosión en zonas cercanas al reactor 12. Las sondas 200, 202 también pueden colocarse en cualquier lugar en el sistema de refrigerante del reactor 13, por ejemplo, en estructuras de material de circonio para medir el potencial. Tal como se ilustra, las sondas 200, 202 pueden instalarse también en los conjuntos de combustible 18, por ejemplo, en una placa de sujeción o tobera inferior de la estructura.

[0024] En referencia a la fig. 3, se ilustra una vista ampliada de un conjunto de combustible nuclear 18. El conjunto de combustible nuclear 18 tiene barras de combustible 104 que están formadas por elementos de combustible cilíndricos de combustible de dióxido de uranio enriquecido. El combustible de dióxido de uranio enriquecido está recubierto por metal de aleación de circonio en forma de una barra 104. La longitud característica de una barra de combustible 104 puede ser, por ejemplo, de 4,5 a 5,5 m (15 a 18 pies) de largo. Las barras de combustible 104 individuales se mantienen en posición relativa mediante el uso de separadores 106 colocados en posiciones intermedias desde la parte superior del conjunto de combustible 110 a la parte inferior del conjunto de combustible 112. Las barras de control 102 están configuradas para ser introducidas entre las barras de combustible 104 para ralentizar la reacción nuclear que tiene lugar en el conjunto de combustible.

[0025] Durante el proceso de reacción nuclear, el dióxido de uranio revestido con circonio puede ser propenso al agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al aumento en los niveles de oxígeno disuelto, por ejemplo. Para medir con precisión la propensión de las barras de combustible con revestimiento de circonio nuclear a la corrosión electroquímica y el agrietamiento por corrosión intergranular bajo tensión, el sistema de potencial electroquímico de corrosión 10 mide el potencial electroquímico de corrosión de zonas en el interior o el exterior del núcleo de reactor (y separado de las barras de combustible de circonio) pero suficientemente cerca de los conjuntos de combustible nuclear para proporcionar un valor representativo del potencial electroquímico de corrosión del dióxido de uranio confinado en circonio. Las sondas que miden el potencial electroquímico de corrosión de zonas discretas del sistema de refrigerante del reactor 13 pueden colocarse a lo largo del sistema de refrigerante del reactor 13, por ejemplo, en la entrada del agua de alimentación 14 y en la salida del reactor 20 tal como se describe en la forma de realización de ejemplo anterior para permitir que los operadores de la central determinen de forma individual la propensión de los componentes individuales del reactor y tengan una visión general de todo el sistema.

[0026] Midiendo varios componentes en el interior o el exterior del reactor para conocer el potencial electroquímico de corrosión, los componentes estrechamente asociados en tipo de material y posición tendrían una corrosión electroquímica similar. Por este motivo, en la forma de realización de ejemplo descrita, las sondas de corrosión electroquímica pueden colocarse en la entrada del agua de alimentación 14, de la cuba del reactor nuclear próxima al reactor 12 todavía suficientemente lejos del flujo de neutrones y del calor del reactor 12. Estas sondas pueden configurarse de manera que cada una de las sondas mida una tensión que podría ser proporcional al potencial electroquímico de corrosión de los componentes metálicos individuales medidos. A continuación los valores medidos pueden enviarse mediante tomas u otras disposiciones a una disposición 208, como un potenciómetro y/o un ordenador, configurada para recibir dichas entradas de tensión. A continuación la disposición 208 puede promediar los valores obtenidos en la entrada y la salida del reactor o en cualquier otra posición en el reactor o el sistema adyacente para obtener un valor medio del potencial electroquímico de corrosión. La disposición 208 puede estar situada en un lugar distante del sistema de refrigerante del reactor 13 para permitir que los operadores supervisen el potencial electroquímico de corrosión fuera de un entorno radioactivo.

[0027] El sistema de corrosión electroquímica 10 puede tener al menos dos sondas 200, 202 en las que al menos una de las sondas tiene al menos un electrodo de circonio. Al menos una de las sondas 200, 202 tiene un electrodo de circonio de manera que el electrodo de circonio se corresponda estrechamente con los constituyentes de material de revestimiento de combustible de circonio de las barras de combustible, indicando con ello un potencial de corrosión del material de revestimiento de aleación de circonio de los elementos de combustible con respecto a los de otros miembros estructurales y conducciones de los elementos internos del reactor.

[0028] Las medidas del potencial electroquímico de corrosión pueden realizarse mediante dos procedimientos diferentes. Un sensor puede proporcionar datos para la determinación de un potencial electroquímico de corrosión a través de la aplicación de una corriente externa a un sensor en la sonda, en el que a continuación se mide una tensión entre el sensor y un sensor de referencia. Alternativamente, el potencial electroquímico de corrosión puede determinarse a partir de los datos proporcionados por un sensor que está

controlado de forma potencioestática (controlado por tensión) (es decir, se crea un diferencial de tensión entre al menos dos sensores). A continuación se mide una corriente entre los dos sensores. En el caso de una sonda controlada de forma potencioestática con dos sensores, a continuación la corriente medida puede usarse para calcular una velocidad de corrosión conociendo el tipo de material, la zona muestreada y la densidad aproximada del material muestreado, por ejemplo.

[0029] En referencia a la fig. 4, se ilustra un sistema 10 para medir un potencial electroquímico de corrosión según la invención. Se conecta una primera sonda 200 y una segunda sonda 202 a una disposición 208. La primera sonda 200 y la segunda sonda 202 pueden tener sensores internos usados para medir el potencial electroquímico de corrosión de la superficie en que se instalan las sondas 200, 202. La disposición 208 está configurada para o bien establecer un diferencial de tensión entre la primera sonda 200 individual y la segunda sonda 202 o bien aplicar una corriente a cada una de la primera sonda 200 y la segunda sonda 202 a través de las tomas primera 204 y segunda 206 respectivas. Cada una de las tomas primera y segunda 204, 206 pueden colocarse de manera que las tomas 204, 206 no estén sujetas a condiciones de calor excesivas. Además, cada una de las sondas 200, 202 conectadas a la disposición 204 puede configurarse con una aleación de circonio de material diferente, de manera que se determina un potencial electroquímico de corrosión para diferentes tipos de material. Las tomas 204 y 206 pueden estar colocadas también de manera que se reduzca al mínimo la interferencia eléctrica potencial de la corriente de flujo y/o la tensión. Las tomas 204 y 206 se extienden entre la disposición 208 y la primera sonda 200 y la segunda sonda 202. Las tomas 204 pueden enviar y recibir corriente y/o tensiones a y desde las sondas 200, 202 y la disposición 208. En una configuración alternativa, las sondas 200, 202 pueden configurarse de manera que se realice la transmisión de datos determinada por las sondas a través de tecnología inalámbrica. La disposición 208 puede ser un potencioestado, como ejemplo no limitativo.

[0030] La disposición 208 puede estar conectada también a un ordenador 210 que puede conservar datos de las sondas 200, 202. El ordenador 210 puede obtener datos de las sondas 200, 202 de una manera periódica o de una manera continua a discreción del operador. El ordenador 210 puede conservar los datos de las sondas 200, 202 en una memoria o puede enviar los datos a una impresora 212 asociada. La disposición 208 y el ordenador 210 pueden configurarse de manera que se conecten más de dos sondas para adquisición de datos. El ordenador 210 puede calcular también la magnitud del daño corrosivo en las barras de combustible 104 con el tiempo, dado el cálculo del potencial electroquímico de corrosión y la tasa de corrosión derivada. Al realizar este cálculo de las magnitudes de daño previstas con el tiempo, se proporciona a los operadores del reactor una evaluación de los márgenes de seguridad aceptables para el conjunto de combustible nuclear 18 con el tiempo. En consecuencia, esto da a los operadores del reactor tiempo suficiente para planificar las paradas del reactor así como predecir el trabajo que será necesario realizar durante la parada del reactor.

[0031] Las sondas 200, 202 y las tomas 204, 206 asociadas también pueden instalarse dentro del reactor nuclear de manera que puedan realizarse medidas cerca de los conjuntos de combustible 18 del reactor nuclear. Si las sondas 200, 202 y las tomas 204, 206 asociadas se instalan internamente en la cuba del reactor 12, las sondas 200, 202 y las tomas 204, 206 pueden diseñarse de manera que puedan resistir las condiciones previstas de flujo de neutrones y de calor para el reactor 12. Las tomas 204, 206 pueden colocarse a través de una penetración de instrumentación existente en la cuba nuclear 12, permitiendo con ello que el sistema 10 se instale en centrales nucleares existentes sin modificación. Las sondas 200, 202 pueden instalarse en miembros estructurales dentro de la cuba del reactor 12 que contienen aleaciones de circonio, permitiendo con ello que se obtengan medidas. Alternativamente, las sondas 200, 202 pueden fijarse a secciones identificables de conjuntos de combustible 18, por ejemplo, los extremos de los conjuntos de combustible como las posiciones externas de la tobera 108. La fijación de las sondas 200, 202 al reactor 12 se consigue de manera que se excluya el material extraño de las sondas 200, 202 de la corriente refrigerante del agua del reactor en condiciones normales y de accidente. En otra forma de realización de ejemplo, puede colocarse una sonda o sensores individuales, por ejemplo dos sensores, internamente en el reactor 12, mientras dos sensores permanecen fuera del reactor 12 para proporcionar una lectura de referencia. Las medidas obtenidas por los sensores en el reactor 12 y fuera del reactor 12 se proporcionan a continuación a una disposición como, por ejemplo, un potencioestado. Las sondas 200, 202 pueden extenderse desde una penetración en la parte inferior de la cuba del reactor 12, por ejemplo una penetración de conductos guía de instrumentación, y puede colocarse en cualquier estructura inferior del reactor 12, por ejemplo, la placa del núcleo inferior, la placa del mezclador de flujo o la placa forjada de soporte inferior. A continuación el ordenador 210 puede tomar los datos proporcionados a la disposición 208 y calcular el potencial electroquímico de corrosión. Las sondas 200, 202 pueden configurarse de manera que puedan extraerse durante el trabajo en la cuba durante una parada del reactor de manera que el mantenimiento de las sondas 200, 202 no influya económicamente de forma grave en el funcionamiento del reactor.

[0032] La presente invención proporciona un sistema de potencial electroquímico de corrosión que permite la determinación de un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible nuclear durante un ciclo de combustible completo de una central nuclear. La proximidad de la colocación de las sondas en los conjuntos de combustible permite el cálculo del potencial electroquímico de corrosión para el revestimiento de circonio de los

conjuntos de combustible que no puede conseguirse con otros sistemas. Los costes de sustitución y mantenimiento de la presente invención permiten a los operadores de la instalación supervisar de forma precisa el potencial de corrosión, a la vez que se proporciona un impacto económico mínimo en la instalación.

- 5 **[0033]** En la memoria descriptiva anterior, la invención se ha descrito con referencia a formas de realización de ejemplo específicas de la misma. Sin embargo, será evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en la misma sin apartarse de la invención tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas. La memoria descriptiva y los dibujos deben contemplarse consiguientemente en un sentido ilustrativo, y no restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Una central nuclear que comprende un reactor nuclear (12), un sistema de refrigerante del reactor (13) y un sistema (10) para determinar un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible de reactor nuclear en el reactor nuclear, comprendiendo el sistema (10) para determinar un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible de reactor nuclear:
una primera sonda (200) y una segunda sonda (202) colocadas en el reactor nuclear (12) y/o en el sistema de refrigerante del reactor (13), teniendo las sondas (200, 202) sensores internos para medir el potencial electroquímico de la superficie en la que están instaladas las sondas (200, 202) en el que al menos una de las sondas tiene un electrodo de circonio; y
una disposición (208) configurada para aceptar las tensiones producidas por las sondas en la que la disposición (208) está configurada para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de circonio en el reactor nuclear (12) basándose en las tensiones de las sondas (200, 202).
2. Central nuclear según la reivindicación 1, en la que la disposición (208) configurada para aceptar las tensiones producidas por las sondas (200, 202) es un potenciostato.
3. Central nuclear según la reivindicación 2, en la que el sistema (10) para determinar un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible de reactor nuclear comprende además:
un ordenador (210) conectado al potenciostato.
4. Central nuclear según la reivindicación 3, en la que el sistema (10) para determinar un potencial electroquímico de corrosión para barras de combustible de reactor nuclear comprende además:
un dispositivo de visualización conectado al ordenador (210),
un dispositivo de almacenamiento de datos conectado al ordenador (210); y
una impresora (212) conectada al ordenador (210).
5. Central nuclear según la reivindicación 3, en la que el ordenador (210) está adaptado para promediar los valores de tensión obtenidos de las sondas (200, 202) para determinar el potencial electroquímico de corrosión de las barras de combustible.
6. Central nuclear según la reivindicación 1, en la que cada sonda (200, 202) tiene un electrodo de circonio.
7. Central nuclear según la reivindicación 6, en la que cada sonda (200, 202) tiene un electrodo de aleación de circonio diferente.
8. Un procedimiento para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de reactor nuclear, que comprende:
la colocación de una primera sonda (200) y una segunda sonda (202) en un reactor nuclear (12) y/o en un sistema de refrigerante del reactor (13), teniendo las sondas (200, 202) sensores internos para medir el potencial electroquímico de la superficie en la que se instalan las sondas (200, 202) en el que al menos una de las sondas (200, 202) tiene un electrodo de circonio;
la producción de una tensión entre las sondas (200, 202);
la medida de una corriente inducida por la tensión; y
el cálculo de un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de circonio en el reactor nuclear (12) basándose en la corriente inducida.
9. El procedimiento para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de reactor nuclear según la reivindicación 8, en el que la colocación de las sondas (200, 202) se realiza en una entre una parte inferior y una parte superior de un conjunto de combustible nuclear (18).
10. El procedimiento para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de reactor nuclear según la reivindicación 8, en el que la colocación de las sondas (200, 202) se realiza en el sistema de refrigerante del reactor (13) adyacente al reactor (12).

11. El procedimiento para determinar un potencial electroquímico de corrosión de una barra de combustible de reactor nuclear según la reivindicación 8, en el que la colocación de una sonda (200, 202) se realiza en una entre una parte inferior y una parte superior del conjunto de combustible nuclear (18) y en el que la colocación de una sonda (200, 202) se realiza en el sistema de refrigerante del reactor (13) adyacente al reactor (12).

5

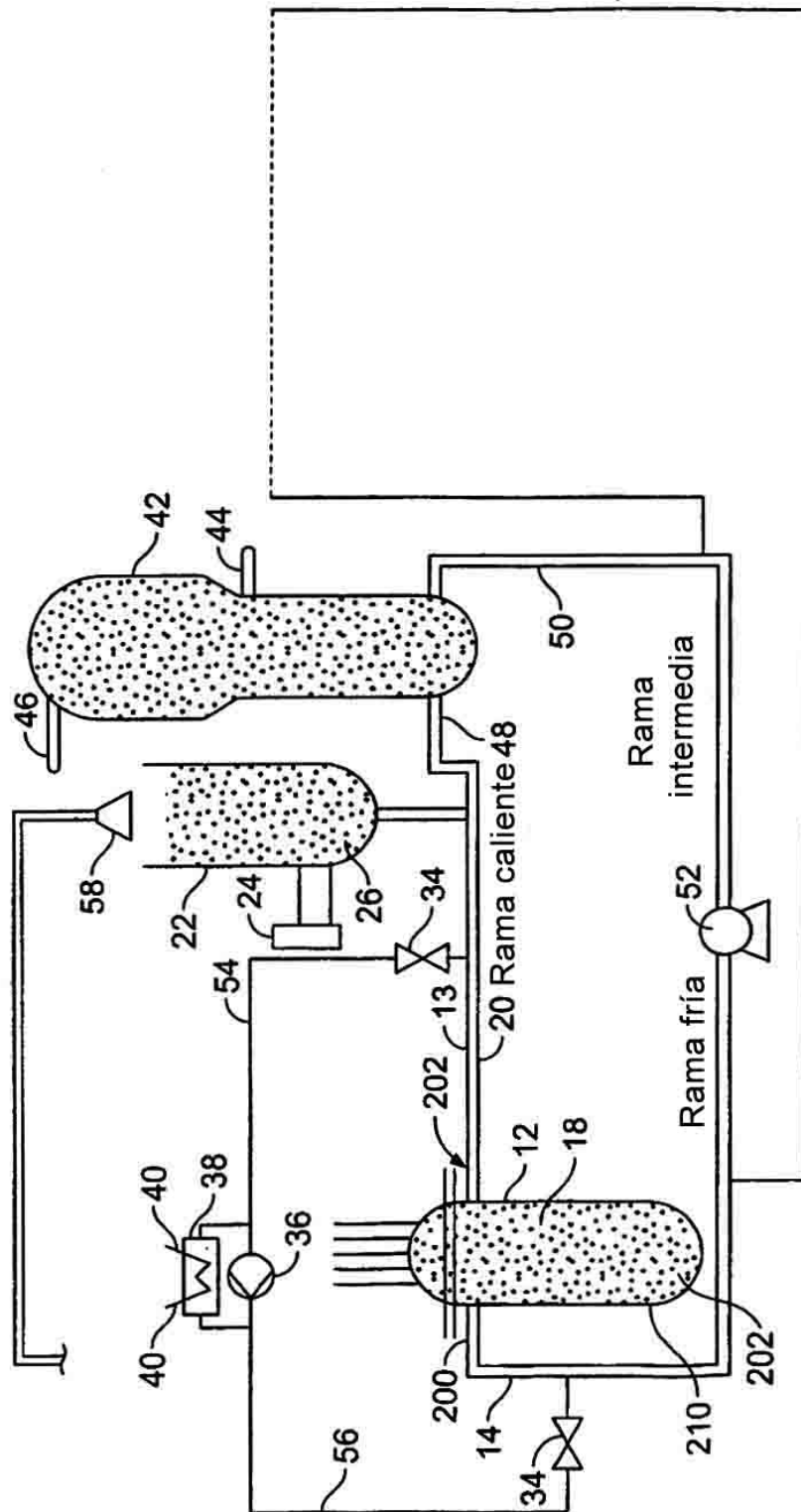


FIG. 1

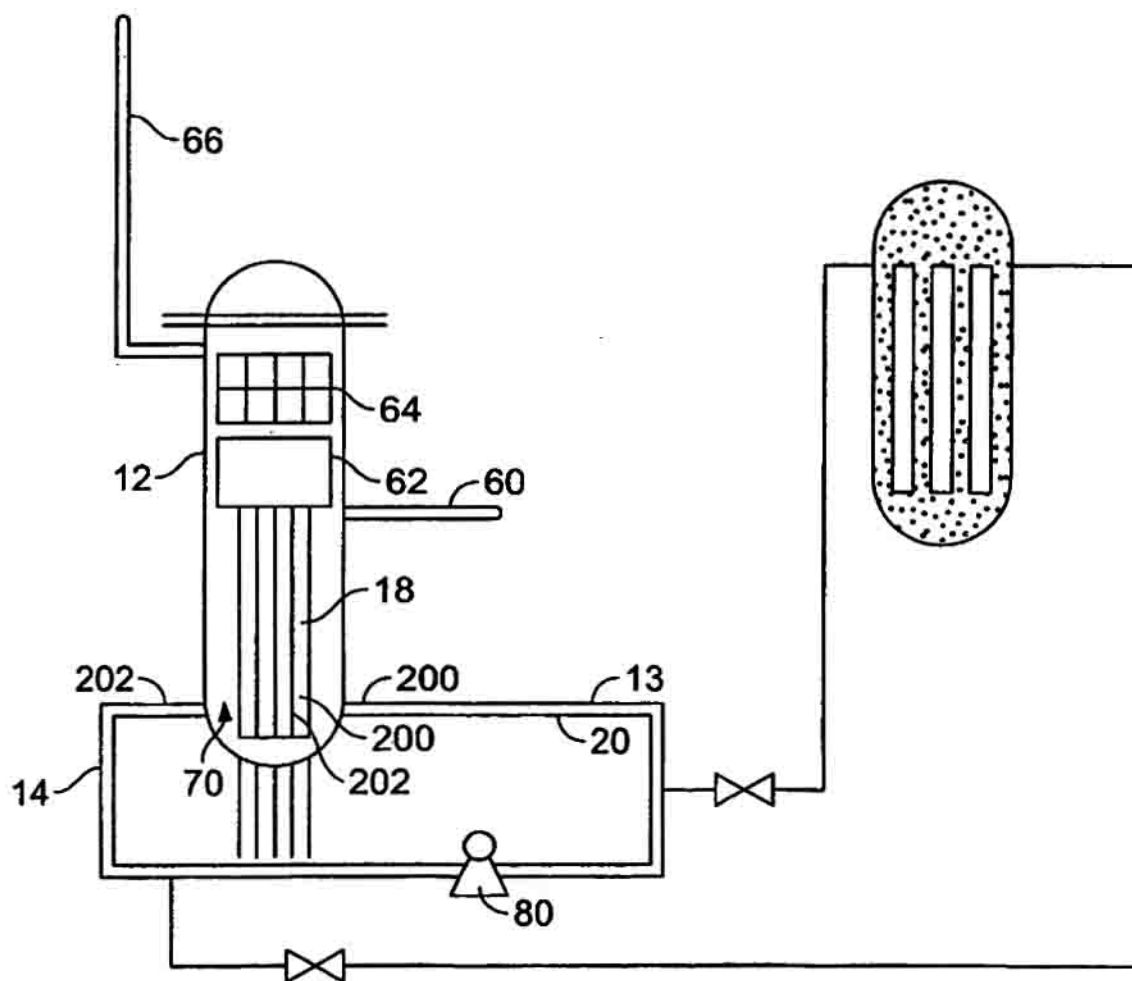


FIG. 2

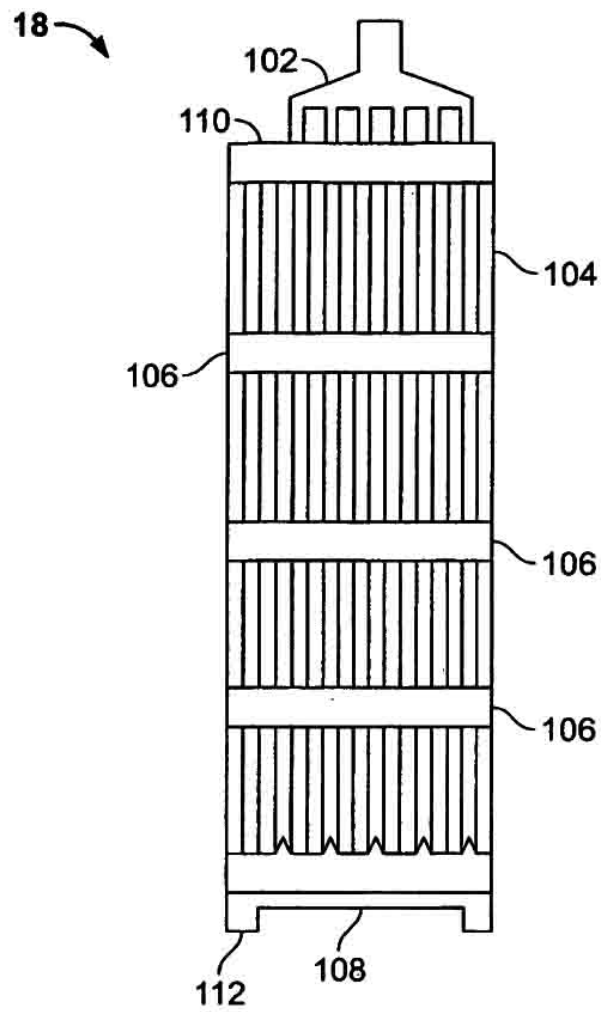


FIG. 3

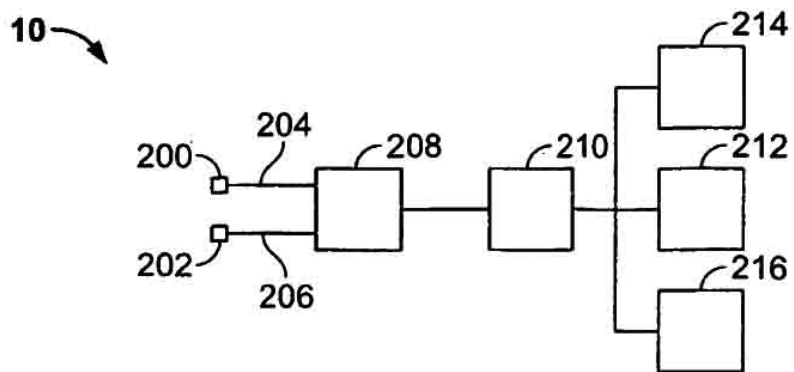


FIG. 4