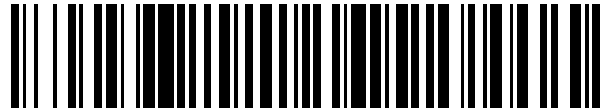


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 429 310**

51 Int. Cl.:

**G21C 17/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2009 E 09762753 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2013 EP 2283487**

54 Título: **Procedimiento que comprende la medición en canales de combustible de conjuntos de combustible para reactores de agua en ebullición**

30 Prioridad:

**09.06.2008 SE 0801344**

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

**14.11.2013**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB  
(100.0%)  
721 63 Västerås, SE**

72 Inventor/es:

**MAGNUSSON, KURT-ÅKE;  
WIESE, HOLGER;  
ANDERSSON, BJÖRN y  
JERGEUS, GÖRAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 429 310 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

Procedimiento que comprende la medición en canales de combustible de conjuntos de combustible para reactores de agua en ebullición

**Antecedentes de la invención y técnica anterior**

5 La invención se refiere a un procedimiento que comprende la medición de al menos una propiedad de al menos un canal de combustible de los conjuntos de combustible para reactores nucleares de agua en ebullición.

10 El núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición (BWR) comprende un gran número de conjuntos de combustible. Los conjuntos de combustible se extienden en la dirección vertical y están dispuestos paralelos el uno al otro en el núcleo. La figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de dicho conjunto de combustible 8. El conjunto de combustible 8 comprende un número de barras de combustible 10.

15 El haz de barras de combustible 10 que está en el conjunto de combustible 8 se encuentra en los lados rodeado por una carcasa 14. La carcasa es a veces también llamada caja o caja de pared. En la presente solicitud, la carcasa sin embargo se denomina canal de combustible 14. El canal de combustible 14 rodea el haz de combustible en todos los lados (a excepción de hacia arriba y hacia abajo). Por lo general, el conjunto de combustible 8 es cuadrilátero y el canal de combustible 14 por lo tanto tiene una forma de sección transversal rectangular o cuadrada. En aras de la claridad, en la figura 1 el canal de combustible 14 se elimina en parte en un lado con el fin de mostrar las barras de combustible 10 que existen en el conjunto de combustible 8.

20 Las barras de combustible 8 consisten en tubos de revestimiento que contienen material de combustible nuclear, a menudo en forma de cuentas. En la figura 1, una parte de dicho tubo de revestimiento se retira con el fin de mostrar el material de combustible nuclear 12. Las barras de combustible 10 están normalmente dispuestas en paralelo entre sí en el conjunto de combustible 8. El material de combustible nuclear real 12 no llega a toda la trayectoria hasta la parte superior del conjunto de combustible 8 y también no siempre toda la trayectoria hasta la parte inferior del conjunto de combustible 8. La longitud de la parte activa del conjunto de combustible 8 es por lo tanto más corta que todo el conjunto de combustible 8.

25 La figura 2 muestra esquemáticamente una vista en sección transversal de cuatro conjuntos de combustible 8. En aras de la claridad, en la figura 2 sólo se muestran los canales de combustible cuadriláteros 14 del conjunto de combustible 8. Cada canal de combustible 14 por lo tanto tiene cuatro paredes laterales. Estas tienen en uno de los conjuntos de combustible 8 en la figura 2 que se numeran como 1, 2, 3 y 4.

30 Como se ha mencionado anteriormente, no existe en el núcleo del reactor nuclear un gran número de conjuntos de combustible 8 de la clase descrita anteriormente. Entre algunos de estos conjuntos de combustible 8, al menos durante una parte del tiempo cuando el reactor está en operación, están insertadas las barras de control. Dicha barra de control 20 se muestra muy esquemáticamente en sección transversal en la figura 2. La barra de control 20 tiene cuatro cuchillas de barras de control 22, 24, 26, 28 que contienen un material absorbente de neutrones. Los canales de combustible 14 se hacen generalmente de una aleación a base de circonio. La barra de control 20 se hace normalmente de otra aleación, a menudo de acero inoxidable.

35 En el medio ambiente muy particular que existe en el núcleo de un reactor nuclear, los componentes del mismo son influenciados de diferentes maneras. Entre otras cosas, hay una tendencia a la formación de hidruros en los canales de combustible 14. Tal formación de hidruro tiene lugar principalmente en los niveles del canal de combustible 14 que corresponden a la zona activa (donde hay combustible nuclear) en el conjunto de combustible 8. Por otra parte, los óxidos se forman en los canales de combustible 14.

40 Un fenómeno particular que se conoce en el campo es la denominada corrosión de efecto sombra. La corrosión de efecto sombra se produce en este entorno particular, en particular, en los componentes de aleaciones a base de circonio cuando estos componentes se disponen a una distancia corta de componentes de otros materiales, por ejemplo, componentes de acero inoxidable. La corrosión de efecto sombra se produce, en particular, a un nivel donde hay combustible nuclear en el conjunto de combustible, y donde por lo tanto, es el caso de una fuerte radiación. La corrosión de efecto sombra puede ser vista como una zona oscura en el componente que ha sido objeto a la corrosión de efecto sombra. Se sabe que por lo tanto se puede producir la corrosión de efecto sombra en las paredes laterales 1, 4 de los canales de combustible 14 que se enfrentan a una barra de control 20 vecina.

45 La corrosión por efecto sombra puede causar diferentes problemas. Entre otras cosas, ha aparecido que la corrosión de efecto sombra pueden dar lugar al hecho de que el canal de combustible 14 (y por lo tanto el conjunto de combustible 8) se doble. Se cree que esto es debido al hecho de que la corrosión de efecto sombra pueden conducir a un aumento de la absorción de hidrógeno, es decir, aumenta la hidratación, que a su vez puede conducir a un crecimiento inducido por hidrógeno de las paredes laterales 1, 4 del canal de combustible 14, que son el tema de la corrosión por efecto sombra. Este fenómeno se describe en, por ejemplo, en NRC Information Notice 89-69, Supplement 1: Shadow corrosion resulting in fuel channel bowing, United States Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Reactor Regulation Washington, D.C. 20555-0001, 25 de agosto de 2003.

El doblado del conjunto de combustible 8 puede, a su vez dar lugar a nuevos problemas. Por ejemplo, de esta forma, el doblado puede ser tal que surja fricción entre la barra de control 20 y conjuntos de combustible 8 vecinos. Esto puede conducir al hecho de que no es posible retirar la barra de control 20 desde el espacio entre los conjuntos de combustible 8. Además, el doblado de los conjuntos de combustible 8 puede dar lugar a restricciones relativas a la potencia crítica permitida (Coeficiente de Potencia Crítica; CPR), que a su vez conduce al hecho de que el reactor no puede ser operado con alta potencia como de otra manera. Esto constituye un alto coste para el que opera la planta de energía nuclear.

Otro problema que se ha observado es que, incluso si el conjunto de combustible 8 en cuestión sólo ha sido objeto de la corrosión de efecto sombra de una barra de control 20 durante una parte de su tiempo de operación, la corrosión de efecto sombra y el crecimiento inducido por el hidrógeno incrementado asociado con la misma del canal de combustible 14 puede conducir al hecho de que el canal de combustible 14 se doble durante la operación posterior.

El fenómeno de la corrosión de efecto sombra y su influencia en los canales de combustible 14 durante toda la vida del conjunto de combustible 8 es por lo tanto muy complicado y no es completamente entendido.

Los documentos US 5.889.401 y WO 00/34768 A1 describen procedimientos y aparatos para mediciones de corriente de Foucault en los componentes, por ejemplo las barras de combustible, en reactores de energía nuclear. Como se ha mencionado en este documento, puede ser importante ser capaz de llevar a cabo mediciones de, por ejemplo, el espesor de las capas que pueden existir en tales componentes. La capa puede ser por ejemplo una capa de óxido. También se puede realizar una medición sobre otras propiedades además del espesor de la capa, por ejemplo, sobre el contenido de hidruros en el componente. Es conveniente llevar a cabo la medición con una sonda de medición que está dispuesta en la proximidad inmediata del objeto de medición.

El documento WO 2007/053100 A1 describe un sistema que es adecuado para llevar a cabo mediciones de corriente de Foucault sobre los componentes, tales como las barras de combustible para reactores nucleares, que se encuentran bajo el agua.

El documento US 2006/0291608 A1 describe un aparato para medir las dimensiones externas de un canal de combustible de un reactor de agua en ebullición, que tiene un bastidor rígido que tiene un asiento inferior para aceptar una boquilla de un conjunto de combustible nuclear, extendiéndose el marco rígido en toda la longitud del conjunto de combustible nuclear. El aparato tiene una disposición de inspección que incluye los transductores ultrasónicos colocados sobre la estructura rígida. Los transductores de ultrasonidos están soportados por el bastidor rígido y están configurados para generar y recibir señales ultrasónicas impartidas en un medio y generar una señal eléctrica ante la recepción de la señal ultrasónica. Una disposición de procesamiento de señales está configurada para evaluar señales eléctricas recibidas desde la disposición de la inspección.

El documento US 2007/0279050 A1 describe un procedimiento para medir la concentración de hidrógeno en un material eléctricamente conductor, tal como una barra de combustible nuclear, que comprende la calibración de una sonda de corrientes de Foucault en una pluralidad de concentraciones de hidrógeno; medir las corrientes de Foucault en una pluralidad de posiciones a lo largo de un material eléctricamente conductor, y calcular una concentración de hidrógeno en el material conductor de la electricidad en cada una de las posiciones a lo largo del material eléctricamente conductor. El documento también describe un sistema para medir la concentración de hidrógeno en una barra de combustible nuclear, que comprende una sonda de corrientes de Foucault; un estándar de calibración para la barra de combustible nuclear, un sistema de manejo de datos para la recogida de los datos generados por la sonda de corrientes de Foucault y para la realización de cálculos con los datos.

### Sumario de la invención

Un objeto de la invención es proporcionar un procedimiento que hace posible investigar cómo los canales de combustible de los conjuntos de combustible para reactores nucleares de agua en ebullición han sido influenciados por la corrosión de efecto sombra de las barras de control vecinas durante la operación. Otro objetivo es que se debe ser posible llevar a cabo la investigación sin la necesidad de destruir el canal de combustible. Un objeto adicional es investigar qué propiedades diferentes tienen partes del canal de combustible después de que se ha utilizado un cierto tiempo en un reactor nuclear de agua en ebullición, con el fin de encontrar de este modo el riesgo de que el canal de combustible se doble durante su uso posterior. Un objeto adicional es investigar los canales de combustible con el fin de comprender mejor cómo el fenómeno de la corrosión de efecto sombra influye en los canales de combustible.

Los objetos mencionados anteriormente se consiguen mediante un procedimiento, según la reivindicación de la clase que se ha mencionado inicialmente con anterioridad y que comprende que:

la medición se realiza por el uso de un procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivo,

la medición se realiza en un canal de combustible que se ha utilizado al menos un cierto tiempo durante la operación en el núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición,

la medición se lleva a cabo cuando el canal de combustible se encuentra en el agua,

5 la medición se realiza en al menos una primera posición en el canal de combustible que se encuentra a un nivel tal del conjunto de combustible, donde el nivel durante la operación en el reactor nuclear hay combustible nuclear en el conjunto de combustible, donde dicha primera posición durante al menos una parte del tiempo de operación se ha ubicado en la dirección hacia una barra de control vecina en el reactor nuclear tan cerca de la barra de control que la posición en cuestión es susceptible de haber sido objeto de la corrosión de efecto sombra debido a la barra de control,

10 la medición se realiza también en al menos una segunda posición en dicho canal de combustible, donde la segunda posición está situada de tal manera que durante la operación no se ha situado de tal manera que la posición en cuestión es susceptible de haber sido objeto de corrosión de efecto sombra debido a dicha barra de control,

donde a través del procedimiento, al menos, el contenido de hidruro del canal de combustible en dichas primera y segunda posiciones se determina donde dicha segunda posición está situada en una pared lateral del canal de combustible, que durante la operación no se ha enfrentado a la barra de control vecina, y

15 donde cuando dichas mediciones se han llevado a cabo, el conjunto de combustible con el canal de combustible se coloca de nuevo en el núcleo del reactor nuclear, con el fin de ser utilizado durante la posterior operación del reactor nuclear.

20 Se ha observado que a través de dicho procedimiento se consiguen los objetivos descritos anteriormente. Mediante el uso de un procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva que no es destructiva, el conjunto de combustible puede ser utilizado después de la medición nuevamente en el núcleo. Esto hace que sea posible medir varias veces en diferentes puntos en el tiempo en el mismo canal de combustible. De esta manera se puede lograr una mayor comprensión de cómo la corrosión de efecto sombra influye en el canal de combustible durante toda su vida. Si se iba a utilizar algún otro procedimiento de medición de un procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva, de otro modo por lo general sería necesario tomar una muestra de ensayo fuera del canal de combustible para el análisis, lo que significaría que el canal de combustible sería destruido.

Dado que la medición puede llevarse a cabo cuando el canal de combustible se encuentra en el agua, la medición puede llevarse a cabo en la piscina de agua a la que los conjuntos de combustible pueden ser transferidos después de haber estado en operación en el reactor nuclear. Por otra parte, en esta piscina de agua los conjuntos de combustible están protegidos de forma tal que la radiación no deseada no alcanzará el medio ambiente.

30 Dado que la medición se realiza en al menos dos posiciones diferentes tal como se definió anteriormente, se logra el conocimiento de cómo la corrosión de efecto sombra ha influido en el canal de combustible. En particular se obtiene, el conocimiento de la forma en que la corrosión de efecto sombra ha influido en la absorción de hidruros en el canal de combustible. Por lo tanto, esencialmente se obtiene un mayor entendimiento del fenómeno de corrosión de efecto sombra mediante el procedimiento de acuerdo con la invención.

35 Dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivo es preferentemente de la clase donde con la ayuda de una bobina se genera al menos un campo alterno electromagnético que penetra en el canal de combustible en cuestión y genera en el mismo corrientes de Foucault que actúan en oposición con el campo alterno electromagnético generado, donde la medición de la propiedad en cuestión se realiza mediante la medición de una respuesta al campo alterno electromagnético generado y llevando a cabo un cálculo de la propiedad en cuestión.

40 Preferentemente, la medición se lleva a cabo en la piscina de agua a la cual ha sido transferido el conjunto de combustible desde el núcleo del reactor nuclear. A partir de esta piscina de agua del conjunto de combustible puede entonces, si no ha cumplido su tiempo completo, transferirse de nuevo al núcleo con el fin de ser utilizado de nuevo en el reactor nuclear cuando el mismo está en operación.

45 Dicha primera posición es, por lo tanto, preferentemente en una pared lateral del canal de combustible. Cuando se dice que la posición en cuestión ha sido situada tan cerca de la barra de control que la posición en cuestión es susceptible de haber sido objeto de la corrosión de efecto sombra debido a la barra de control, se quiere decir que la pared lateral en el canal de combustible donde se encuentra la posición durante la operación ha sido colocado más próximo a una barra de control, sin ningún tipo de componentes adicionales entre la posición y la cuchilla de la barra de control.

50 La corrosión de efecto sombra se produce cuando la distancia entre los componentes en cuestión (en este caso el canal de combustible y la cuchilla de la barra de control) es corta, y cuando los componentes están hechos de diferentes materiales de un tipo tal que se puede producir la corrosión de efecto sombra.

55 Cuando se dice que la segunda posición está situada de tal manera que no es susceptible de haber sido objeto de la corrosión de efecto sombra debido a la barra de control, se quiere decir que la posición en cuestión no se ha estado enfrentado a una barra de control vecina, en una distancia tan corta desde la barra de control que se puede producir corrosión de efecto sombra.

De acuerdo con el procedimiento de la invención, dicha segunda posición está situada en una pared lateral del canal de combustible, que durante la operación no se ha enfrentado a la barra de control vecina. Al medir tanto en una pared lateral que ha sido objeto de corrosión de efecto sombra y una pared lateral que no ha sido objeto de corrosión de efecto sombra, se pueden determinar las diferencias entre, por ejemplo, el contenido de hidruro en estos laterales. De este modo se obtiene la información de, por ejemplo, la susceptibilidad a que el canal de combustible se doble durante el uso futuro en el reactor nuclear.

Preferentemente, también la segunda posición está situada en un nivel tal del conjunto de combustible, a cuyo nivel durante la operación en el reactor nuclear hay combustible nuclear en el conjunto de combustible.

De acuerdo con una forma adicional de llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición se realiza en al menos una tercera posición en otra pared lateral del canal de combustible de donde se encuentra la segunda posición, donde también la tercera posición está situada en una pared lateral del canal de combustible el cual durante la operación no se ha enfrentado a la barra de control vecina.

Preferentemente, las mediciones se realizan en las cuatro paredes laterales del canal de combustible, donde dos paredes laterales han sido susceptibles de haber sido objeto de la corrosión de efecto sombra de la barra de control, mientras que los otros dos lados no han tenido esta susceptibilidad. Mediante la medición en tres o preferentemente en las cuatro paredes laterales se obtiene más información del canal de combustible, entre otras cosas, el contenido de hidruro de diferentes paredes laterales del canal de combustible. De este modo se obtiene más información de la susceptibilidad del canal de combustible a ser doblado.

Preferentemente, las mediciones se realizan en las cuatro paredes laterales del canal de combustible a un nivel tal del conjunto de combustible, en cuyo nivel durante la operación en el reactor nuclear hay combustible nuclear en el conjunto de combustible. Dado que la tendencia a la hidratación es mayor en la parte activa del núcleo, es particularmente importante medir en un nivel dentro de la zona de la parte activa del núcleo.

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, dichas mediciones se llevan a cabo desde el exterior del canal de combustible. Esto es ventajoso puesto que es más fácil de medir desde el exterior del canal de combustible y dado que el canal de combustible está objeto principalmente a la corrosión de efecto sombra desde el exterior.

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición se realiza también en al menos una posición desde el interior del canal de combustible. Tal medición es ventajosa ya que la información que se obtiene de este modo la diferencia en, por ejemplo, el contenido de hidruro en el interior y en el exterior del canal de combustible. Esta información permite entender y predecir mejor la tendencia del canal de combustible para doblarse.

Preferentemente, esta medición también se lleva a cabo en un nivel del conjunto de combustible tal, en cuyo nivel hay combustible nuclear en el conjunto de combustible durante la operación en el reactor nuclear.

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición por el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivo también se lleva a cabo, durante las mismas condiciones y en la misma piscina de agua como las mediciones mencionadas anteriormente, en al menos una muestra estándar que se compone esencialmente de la misma aleación que el canal de combustible, pero que no contiene ninguna cantidad esencial de hidruros y que está provista de una capa de un primer espesor conocido, estando dicha la capa fabricada de un material no magnético y no conductor de la electricidad, donde el resultado de la medición en una muestra tal estándar se utiliza en la determinación del contenido de hidruro en la medición en el canal de combustible, a fin de tener en cuenta la influencia sobre la medición de una posible capa de óxido que pueda existir en el canal de combustible.

La medición del contenido de hidruro en el canal de combustible es muy sensible. Una capa de óxido que existe en el canal de combustible tiene una influencia sustancialmente mayor en el resultado de la medición que el contenido de hidruro. Por lo tanto, es importante ser capaz de calibrar respecto a la influencia de la capa de óxido en el resultado de la medición. Esto se puede hacer midiendo en una, o preferentemente varias, muestras estándar con una capa de espesor conocido. De ese modo se puede establecer cómo el resultado de la medición depende del espesor de la capa, es decir, puede ser establecida una relación entre resultado de la medición y espesor de la capa. El contenido de hidruro que se ha de determinar en la medición en el canal de combustible se obtiene entonces como una desviación de la relación que se establece a través de las mediciones en las muestras patrón. Dado que el procedimiento de medición también es muy sensible a las condiciones de medición, es una ventaja importante que las mediciones en las muestras patrón se lleven a cabo en el mismo medio ambiente y bajo las mismas condiciones que las mediciones en el canal de combustible real.

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición se realiza también en al menos otra muestra estándar que está fabricada de esencialmente la misma aleación que el canal de combustible, pero que no contiene ninguna cantidad esencial de hidruros y a la que, o bien no se proporciona dicha capa o que está provista de una de dichas capas de un segundo espesor conocido que es diferente del primer espesor conocido.

Preferentemente, la medición se realiza en una muestra estándar tal sin ninguna capa de dicho tipo y también la medición en al menos dos muestras estándar adicionales con capas de dicho tipo de espesor diferente. Mediante la medición en una pluralidad de tales muestras estándar se mejora la calibración, lo que significa que se mejora la determinación del contenido de hidruro en el canal de combustible.

5 De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición también se lleva a cabo en al menos una posición en el canal de combustible que se encuentra tan alto o tan bajo en el canal de combustible que la posición está situada en un nivel tal del conjunto de combustible, en cuyo nivel durante la operación en el reactor nuclear no hay combustible nuclear en el conjunto de combustible.

10 En esa posición probablemente no se han formado hidruros (o sólo pequeñas cantidades). Por consiguiente, esta medición se puede utilizar como comparación con las mediciones en posiciones con una mayor cantidad de hidruros con el fin de verificar que es realmente el contenido de hidruro el que se ha determinado durante las mediciones.

Preferentemente, la medición se realiza así en algunas de las paredes laterales (o en ambas paredes laterales) que no se han enfrentado a la barra de control.

15 De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición por el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivo también se realiza en al menos una muestra estándar que se compone esencialmente de la misma aleación que el canal de combustible y que contiene un contenido conocido de hidruros, donde el resultado de esta medición se utiliza para la calibración de la medición en la determinación del contenido de hidruro en la medición en el canal de combustible. A través de una medición de este tipo de calibración, se mejora aún más la precisión de la medición. La medición en dicha muestra estándar constituye un tipo de verificación de que la calibración que se ha hecho sobre la base de la medición de las muestras estándar mencionadas anteriormente con capas de espesor conocido es en realidad precisa. Si este no es el caso, se puede realizar una calibración adicional con respecto a la medición de la muestra estándar (o muestras estándar) con un contenido de hidruro conocido.

20

25 Esta medición puede realizarse con ventaja en las mismas condiciones, y en la misma piscina de agua como las mediciones en el canal de combustible real. Alternativamente, sin embargo es posible llevar a cabo la medición de antemano y almacenar el resultado con el fin de utilizarlo en la calibración con respecto a la medición en el canal de combustible real.

30 De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición por el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivo se realiza con la ayuda de una bobina que genera un campo alterno electromagnético que penetra en el canal de combustible en cuestión, donde la medición se realiza en al menos dos frecuencias diferentes del campo alterno generado. Mediante la medición en una pluralidad de frecuencias, se mejora el resultado de la medición.

Preferentemente, se utilizan más de dos frecuencias diferentes durante las mediciones, por ejemplo al menos 8 frecuencias diferentes.

35 De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, la medición se realiza en al menos dos frecuencias diferentes, siendo ambas más altas que 500 KHz. El acoplamiento inductivo entre la bobina que genera el campo alterno y el objeto de medición se mejora si se utilizan frecuencias suficientemente altas. Por otra parte, una frecuencia más alta significa que la profundidad de penetración del campo alterno electromagnético generado se reduce. Esto es ventajoso, ya que con ello se impide que el espesor de la pared del canal de combustible influya en las mediciones.

40

Preferentemente, las frecuencias están por debajo de la frecuencia de resonancia de la bobina, por ejemplo por debajo de 20 MHz. Según una posibilidad ventajosa, una de dichas al menos dos frecuencias diferentes es al menos dos veces más alta, preferentemente al menos 5 veces mayor, que la segunda de dichas al menos dos frecuencias diferentes.

45 De acuerdo con una forma ventajosa adicional de llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención también se determina el espesor de una capa de óxido que se encuentra en el canal de combustible a través de las mediciones. Una ventaja importante del procedimiento según la invención es que no sólo el contenido de hidruro puede ser determinado, sino también el espesor de una capa de óxido en el canal de combustible. De este modo se obtiene más información de las propiedades del canal de combustible.

50 De acuerdo con el procedimiento de la invención es el caso que cuando dichas mediciones se han llevado a cabo, el conjunto de combustible con el canal de combustible se coloca de nuevo en el núcleo del reactor nuclear, con el fin de ser utilizado durante la posterior operación del reactor nuclear. A través de las mediciones, se obtiene la información de, por ejemplo, la susceptibilidad del canal de combustible para doblarse durante su uso posterior en el reactor nuclear. Dado que el procedimiento de acuerdo con la presente invención es no destructivo, el conjunto de combustible en cuestión puede ser utilizado de nuevo en el reactor nuclear después de las mediciones (si tiene

55 suficientemente buenas propiedades).

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, después de dicha otra operación de los reactores nucleares, se llevan a cabo mediciones de nuevo en el mismo canal de combustible como anteriormente, con el fin de determinar, al menos, cómo ha cambiado el contenido de hidruro desde la mediciones anteriores. Mediante la medición varias veces en el mismo canal de combustible en diferentes puntos de tiempo, se obtiene más información mejorada de las propiedades del canal de combustible y de cómo el fenómeno de la corrosión de efecto sombra influye en la susceptibilidad de doblarse.

De acuerdo con una forma ventajosa adicional de realizar el procedimiento de acuerdo con la invención, dichas mediciones con el procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructivos se llevan a cabo en el canal de combustible cuando el combustible nuclear ha sido retirado temporalmente del canal de combustible.

El canal de combustible no es así el objeto de una temperatura tan alta durante las mediciones, lo que significa que puede obtenerse una mejor precisión de la medición, ya que las mediciones son sensibles a la temperatura. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, alternativamente, es posible llevar a cabo las mediciones cuando el canal de combustible está lleno de combustible nuclear. Esta forma tiene la ventaja de que no es necesario sacar el combustible nuclear desde el canal de combustible cuando las mediciones son llevadas a cabo.

### 15 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 muestra esquemáticamente un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

La figura 2 muestra esquemáticamente una sección transversal de una parte del núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición con cuatro conjuntos de combustible y una barra de control insertada.

La figura 3 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo para un procedimiento de acuerdo con la invención.

### 20 **Descripción de una realización de la invención**

Con referencia a la figura 3 se describirá ahora un ejemplo de un procedimiento de acuerdo con la invención.

Los conjuntos de combustible 8 que han de ser analizados se utilizan durante la operación en el núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición. Después de un ciclo de operación (por ejemplo, después de un año) el conjunto de combustible 8 o conjuntos de combustible 8 se trasladan a una piscina de agua. En la piscina de agua se colocan muestras estándar. Por ejemplo, se utilizan cuatro muestras estándar que están fabricadas esencialmente de la misma aleación que el canal de combustible 14, pero que no contienen hidruros (o al menos ninguna cantidad esencial de hidruros). De estas muestras estándar, una no tiene una capa aplicada, mientras que las otras tres muestras estándar tienen una capa aplicada de un espesor conocido que son diferentes para las tres muestras. La capa está fabricada de un material no magnético y un no conductor de la electricidad, por ejemplo de Mylar®.

Por ejemplo, dos muestras estándar adicionales no tienen ninguna capa aplicada, pero tienen un contenido de hidruro de una cantidad conocida (que es diferente para las dos muestras).

También es posible utilizar muestras estándar que tienen un contenido de hidruro conocido y también una capa de dicho tipo de espesor conocido.

El equipo de medición se baja hacia abajo en la piscina de agua (posiblemente al mismo tiempo que las muestras estándar). Las mediciones se llevan a cabo entonces en las muestras estándar. Las mediciones tanto en las muestras patrón y en el canal de combustible 14 se pueden llevar a cabo como se describe a continuación.

La medición se lleva a cabo moviendo una sonda de medición a la vecindad inmediata del objeto de medición (la muestra estándar o el canal de combustible 14). La sonda de medición adecuada comprende al menos una bobina con la ayuda de la cual se genera un campo alterno electromagnético. El campo alterno electromagnético penetra en el objeto de medición. De este modo se producen corrientes de Foucault en el objeto de medición que se actúan en oposición con el campo alterno electromagnético generado.

El sistema de medición utilizado está configurado para, con la ayuda de la sonda de medición, medir una respuesta, causada por las corrientes de Foucault, en el campo alterno electromagnético generado. Esta respuesta puede ser medida mediante la medición de cómo se cambia la impedancia de la bobina por el campo que actúa en oposición a las corrientes de Foucault. La parte real e imaginaria de la impedancia puede así ser analizada para una o más frecuencias del campo alterno en cuestión. El sistema está así configurado adecuadamente para llevar a cabo un cálculo de la propiedad en cuestión que se va a medir del objeto de medición. El procedimiento de medición real puede llevarse a cabo por ejemplo de la manera que se describe en los documentos citados anteriormente US 5.889.401 y WO 00/34768 A1. El modelo de cálculo real puede incluir, por ejemplo, un proceso iterativo similar al que se describe en estos documentos. La presente invención sin embargo no se limita al proceso de cálculo que se describe en estos documentos. Durante las mediciones, por ejemplo, puede ser utilizado un sistema similar al que se describe en el documento mencionado WO 2007/053100 A1.

En cada posición donde se lleva a cabo la medición, la medición se realiza en una pluralidad de frecuencias, por

ejemplo en 8 frecuencias diferentes. Preferentemente, todas las frecuencias son superiores a 500 KHz.

5 Las mediciones en las muestras patrón se utilizan con el fin de, en la determinación del contenido de hidruro en la medición en el canal de combustible 14, ser capaz de tomar en cuenta la influencia sobre la medición de, en particular, una capa de óxido que existe en el canal de combustible 14. Esto se puede hacer midiendo preferentemente en varias muestras estándar con una capa de un espesor conocido, cuyo espesor es diferente para las diferentes muestras estándar. En la medición a diferentes frecuencias del campo alterno aplicado, se obtiene, a través de la medición en muestras estándar, una relación particular de cómo, por ejemplo, la parte real e imaginaria de la impedancia medida como una función de la frecuencia depende del espesor de la capa. El contenido de hidruro de que debe determinarse en la medición en el canal de combustible se obtiene entonces como una desviación sistemática de la relación determinada sobre la base de las mediciones en las muestras estándar.

Preferentemente, también se mide en muestras estándar con un contenido de hidruro conocido.

15 Después de realizar la medición en muestras estándar (o alternativamente, antes de tales mediciones) las mediciones se realizan en el canal de combustible 14. Se mide así preferentemente en el exterior de las paredes laterales 1, 4 en ambos lados del canal de combustible 14 que hayan sido sometidos a la corrosión de efecto sombra. Por otra parte, se mide preferentemente también desde el exterior en ambas de las paredes laterales 2, 3 del canal de combustible 14 que no han sido objeto de corrosión de efecto sombra.

20 Por otra parte, se puede realizar una medición desde el interior del canal de combustible 14 en diferentes paredes laterales. Las mediciones se realizan preferentemente a un nivel de las paredes laterales que está en el nivel donde hay combustible nuclear en el conjunto de combustible 8 durante la operación. Sin embargo, el combustible nuclear puede posiblemente retirarse del conjunto de combustible 8 antes de que se realicen las mediciones. En particular, si una medición se realiza desde el interior de las paredes laterales, debe retirarse del conjunto de combustible 8 para que sea más fácil poder medir el combustible nuclear desde el interior.

25 Además, la medición de forma adecuada se puede realizar hacia arriba o hacia abajo en una pared lateral del canal de combustible 14, que está a un nivel donde no hay combustible nuclear en el conjunto de combustible 8 durante la operación. Esta medición puede realizarse en diferentes paredes laterales, pero preferentemente en una pared lateral 2, 3, que no es objeto de la corrosión de efecto sombra.

30 Mediante las mediciones, se determinan el contenido de hidruro y el espesor de óxido en los diferentes posiciones de medición. A través de estas mediciones, se obtiene información que es importante para entender cómo la corrosión de efecto sombra puede influir en el doblado de los canales de combustible 14. A través de la medición da como resultado también que puede hacerse un pronóstico para la probabilidad de que el canal de combustible 14 en cuestión se doblará durante el uso adicional en el núcleo en el reactor nuclear.

35 Debe tenerse en cuenta que los conjuntos de combustible pueden contener canales en los que el agua de ebullición no fluye cuando se utiliza el conjunto de combustible durante la operación. Hay, por ejemplo, un tipo de conjunto de combustible con dichos canales que está diseñado de tal manera que juntos forman una disposición cruciforme. Excepto para llevar a cabo mediciones en el canal de combustible real, las mediciones pueden, por supuesto, realizarse también en las paredes de dichos canales de agua.

40 Como se ha mencionado anteriormente, la medición en el canal de combustible se realiza preferentemente porque la sonda de medición se mueve a la proximidad inmediata del canal de combustible. La sonda de medición, por lo tanto, se apoya preferentemente contra el canal de combustible cuando se realiza la medición. Sin embargo, es también posible realizar las mediciones cuando la sonda de medición se encuentra a una corta distancia del canal de combustible (u otro objeto de medición). Por ejemplo, las mediciones también se pueden realizar cuando la sonda de medición se encuentra a una distancia de 50  $\mu\text{m}$  y 75  $\mu\text{m}$  desde el canal de combustible. Esto puede realizarse, por ejemplo, en que una lámina de un espesor conocido (por ejemplo 50  $\mu\text{m}$  y 75  $\mu\text{m}$ , respectivamente, de espesor) se encuentra entre la sonda de medición y el objeto de medición cuando se realizan las mediciones. La sonda de medición, por lo tanto, se mantiene en estos casos contra la lámina que se encuentra entre la sonda de medición y el objeto de medición.

Como también se ha mencionado anteriormente, las mediciones son sensibles a la temperatura. Por lo tanto, la temperatura debe controlarse durante el procedimiento de medición. Esto puede hacerse, por ejemplo, de las maneras descritas en el documento mencionado WO 2007/053100 A1.

50 Si el conjunto de combustible 8 ha cumplido su tiempo completo, el conjunto de combustible 8 se mueve a una posición para el combustible nuclear usado. Sin embargo, si el conjunto de combustible 8 no ha cumplido su tiempo completo (por ejemplo, si sólo se ha utilizado durante un ciclo de operación en el reactor nuclear), el conjunto de combustible 8 se coloca de nuevo en el núcleo en el reactor nuclear de agua en ebullición. El conjunto de combustible 8 en cuestión así se puede utilizar durante otra operación.

55 Después de un ciclo de operación adicional, el procedimiento que se ha descrito anteriormente puede realizarse de nuevo. A través de este procedimiento de medición no destructivo se puede obtener información muy detallada de las propiedades del canal de combustible 14 en diferentes etapas de la utilización del conjunto de combustible 8



durante la operación.

La invención no se limita al ejemplo anteriormente descrito, sino que puede variarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

**1.** Procedimiento que comprende la medición de al menos una propiedad de al menos un canal de combustible (14) de los conjuntos de combustible (8) para reactores nucleares de agua en ebullición, cuyo procedimiento comprende que:

5 la medición se realiza en un canal de combustible (14) que se ha utilizado al menos un cierto tiempo durante la operación en el núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición,

la medición se realiza cuando el canal de combustible (14) está situado en agua,

la medición se realiza mediante el uso de un procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructiva,

10 la medición se realiza en al menos una primera posición en el canal de combustible (14) que se encuentra en un nivel tal del conjunto de combustible (8), en el que el nivel durante la operación en el reactor nuclear hay combustible nuclear (12) en el conjunto de combustible (8), en el que dicha primera posición durante al menos una parte del tiempo de operación se ha colocado en la dirección hacia una barra de control (20) vecina en el reactor nuclear tan cerca de la barra de control (20) que la posición en cuestión es susceptible de haber sido objeto de corrosión por efecto sombra de la barra de control (20),

15 la medición se realiza también en al menos una segunda posición en dicho canal de combustible (14), en el que la segunda posición está situada de tal manera que durante la operación no se ha colocado de tal manera que la posición en cuestión es susceptible de haber sido objeto de corrosión por efecto sombra de dicha barra de control (20),

20 en el que a través del procedimiento, al menos, se determina el contenido de hidruro del canal de combustible (14) en dichas primera y segunda posiciones,

en el que dicha segunda posición está situada en una pared lateral (2, 3) del canal de combustible (14) que durante la operación no está frente a la barra de control (20) vecina y

25 en el que cuando dichas mediciones se han realizado, el conjunto de combustible (8) con el canal de combustible (14) se coloca de nuevo en el núcleo del reactor nuclear, para utilizarse durante la posterior operación del reactor nuclear.

**2.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la medición se realiza en al menos una tercera posición en otra pared lateral del canal de combustible (14) de donde se encuentra la segunda posición, en el que también la tercera posición está situada en una pared lateral (2, 3) del canal de combustible (14) que durante la operación no está frente a la barra de control (20) vecina.

**3.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas mediciones se realizan desde el exterior del canal de combustible (14).

**4.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición se realiza también, en al menos una posición, desde el interior del canal de combustible (14).

35 **5.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición mediante el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructiva también se realiza, durante las mismas condiciones y en la misma piscina de agua que las mediciones mencionadas anteriormente, en al menos una muestra estándar que está fabricada esencialmente de la misma aleación que el canal de combustible (14) pero que no contiene ninguna cantidad esencial de hidruros y que está provista de una capa de un primer espesor conocido, que está fabricada de una capa no magnética y material eléctricamente no conductor, en el que se utiliza el resultado de la medición en tal muestra estándar, en la determinación del contenido de hidruro en la medición en el canal de combustible (14), para tener en cuenta la influencia sobre la medición de un posible capa de óxido que pueda existir en el canal de combustible (14).

45 **6.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la medición se realiza también en al menos otra muestra estándar que está fabricada esencialmente de la misma aleación que el canal de combustible (14) pero que no contiene ninguna cantidad esencial de hidruros y que, o bien no está provista de dicha capa o está provista de una de dichas capas de un segundo espesor conocido que es diferente del primer espesor conocido.

**7.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición también se realiza, en al menos una posición en el canal de combustible (14) que está situado tan alto o tan bajo en el canal de combustible (14) que la posición se encuentra a tal nivel del conjunto de combustible (8), en el que el nivel durante la operación en el reactor nuclear no hay combustible nuclear (12) en el conjunto de combustible (8).

**8.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición mediante el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructiva también se realiza en al

menos una muestra estándar que está fabricada de esencialmente la misma aleación que el canal de combustible (14) y que contiene un contenido conocido de hidruros, en el que el resultado de esta medición se utiliza para la calibración de la medición en la determinación del contenido de hidruro en la medición en el canal de combustible (14).

- 5 **9.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición mediante el uso de dicho procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructiva se realiza con la ayuda de una bobina que genera un campo alterno electromagnético que penetra en el canal de combustible (14) en cuestión, en el que la medición se realiza en al menos dos frecuencias diferentes del campo alterno generado.
- 10 **10.** Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la medición se realiza en al menos dos frecuencias diferentes, que ambas son mayores de 500 kHz.
- 11.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que a través de las mediciones también se determina el espesor de una capa de óxido que se encuentra en el canal de combustible (14).
- 15 **12.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que después de que dicha operación adicional de las mediciones de reactores nucleares se realizan de nuevo en el mismo canal de combustible (14) como anteriormente, para determinar, al menos, cómo ha cambiado el contenido de hidruro desde las medidas anteriores.
- 20 **13.** Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas mediciones con el procedimiento de medición de corriente de Foucault inductiva no destructiva se realizan en el canal de combustible (14) cuando el combustible nuclear ha sido retirado temporalmente del canal de combustible (14).

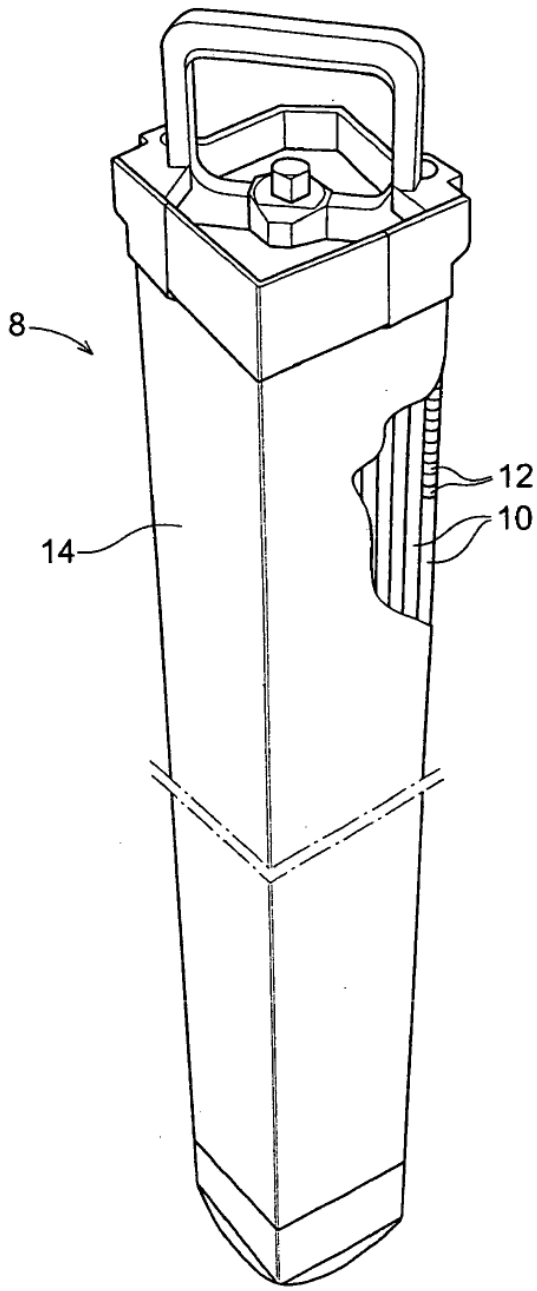


Fig. 1

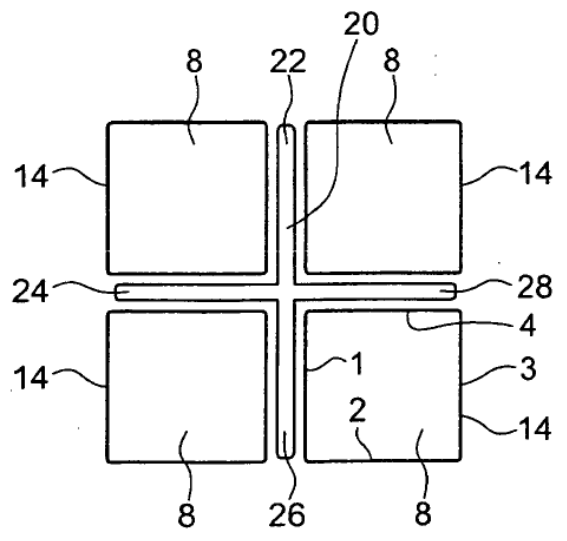


Fig. 2

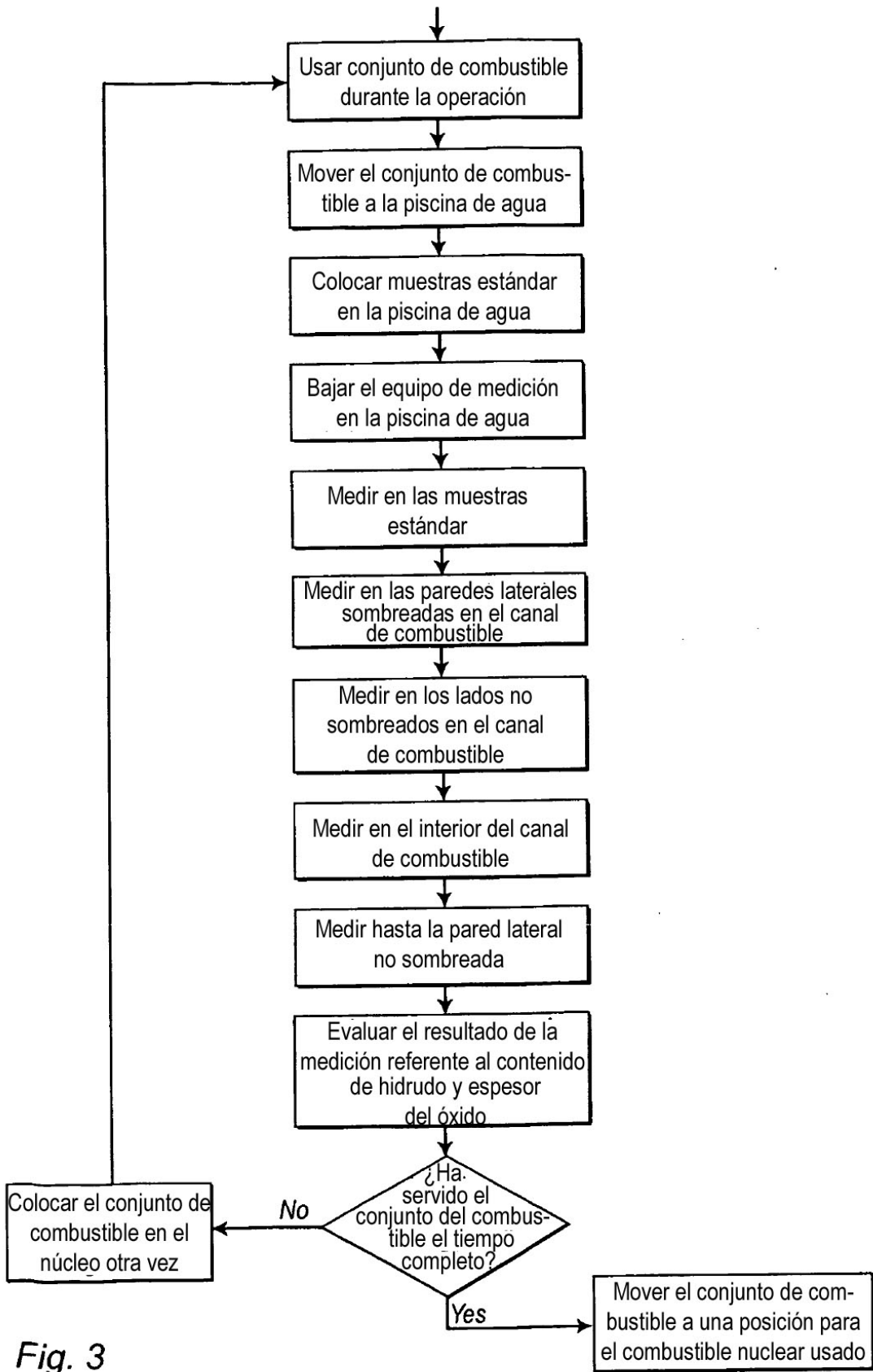


Fig. 3