

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 357**

51 Int. Cl.:

G01M 3/20 (2006.01)

G21C 17/07 (2006.01)

G21C 19/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.12.2015 PCT/EP2015/078808**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2016 WO16096499**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2015 E 15805185 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3234537**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para realizar una prueba de estanqueidad en cápsulas de barras de combustible**

30 Prioridad:
15.12.2014 DE 102014118623

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.04.2020

73 Titular/es:
**FRAMATOME GMBH (100.0%)
Paul-Gossen-Strasse 100
91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:
HUMMEL, WOLFGANG

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 754 357 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 y dispositivo para realizar una prueba de estanqueidad en cápsulas de barras de combustible

5 La invención se refiere a un dispositivo para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba, comprendiendo un recipiente de prueba realizado para el alojamiento de al menos una cápsula de barra de combustible, que puede bajarse en un depósito lleno de agua de una planta nuclear. La invención se refiere además a un procedimiento para realizar la prueba de estanqueidad en la cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba con un dispositivo de este tipo.

15 Es conocido que las barras de combustible de reactores nucleares pueden perder su estanqueidad durante el funcionamiento, es decir, que puede infiltrar agua en las mismas. En cuanto se identifique una barra de combustible con un defecto de este tipo, esta se encapsula habitualmente bajo agua en una cápsula de barra de combustible, para impedir una salida de productos de fisión radioactivos, en particular de gases radioactivos. La encapsulación de la barra de combustible se realiza aquí a una profundidad suficiente, de modo que la apertura y el cierre de la cápsula de barra de combustible se realiza con control a distancia mediante unos manipuladores adecuados. Una vez abierta la cápsula de barra de combustible e introducida la barra de combustible, se desplaza el agua que ha infiltrado en la cápsula de barra de combustible mediante insuflado de un gas de prueba y la cápsula de barra de combustible se transfiere a un dispositivo de encapsulación. En este dispositivo de encapsulación, la barra de combustible que se encuentra en la cápsula de barra de combustible se calienta con gas de prueba caliente que fluye por la cápsula de barra de combustible haciéndose evaporar así el agua que se encuentra en la barra de combustible. Después de haberse eliminado el vapor de agua del dispositivo de encapsulación mediante secado del gas de prueba o intercambio del gas húmedo por gas de prueba seco, se cierra la cápsula de barra de combustible y se une por soldadura en el punto de cierre. Después de retirar la cápsula de barra de combustible soldada y por lo tanto estanca del dispositivo de encapsulación, aún hay que comprobar la estanqueidad de la misma. La cápsula de barra de combustible que contiene la barra de combustible se almacena a continuación dado el caso de forma intermedia en un depósito de almacenamiento lleno de agua, antes de poder ser transportada a un almacén definitivo o a una planta de procesamiento.

30 Es conocido comprobar la estanqueidad de las barras de combustible propiamente dichas o de la cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible.

35 Por el documento DE 195 42 330 A1 se conoce por ejemplo un procedimiento para comprobar la estanqueidad de barras de combustible, en el que se analizan gases que salen del elemento combustible respecto a su contenido de productos de fisión gaseosos.

40 El documento WO 2007/071337 describe la comprobación de cápsulas de barras de combustible que contienen al menos una barra de combustible. La cápsula de barra de combustible se introduce en un recipiente de prueba que se encuentra en el interior de un depósito lleno de una planta nuclear por debajo de la superficie de agua. Las fugas se detectan mediante una cámara subacuática, estimándose una tasa de fugas con ayuda del número y tamaño de las burbujas de gas detectadas.

45 Partiendo de este estado de la técnica, la presente invención tiene el objetivo de mejorar la realización de la prueba de estanqueidad en cápsulas de barras de combustible en el sentido de poder determinar de forma especialmente precisa las tasas de fugas.

50 Respecto al dispositivo, el objetivo se consigue mediante el dispositivo para realizar la prueba de estanqueidad del tipo indicado al principio con las otras características de la reivindicación 1.

Las reivindicaciones subordinadas se refieren a realizaciones ventajosas de la invención.

55 Un dispositivo configurado para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba comprende un recipiente de prueba realizado para el alojamiento de al menos una cápsula de barra de combustible que puede bajarse en un depósito lleno de agua de una planta nuclear. De acuerdo con la invención, un espectrómetro de masa puede conectarse fluidicamente con un interior del recipiente de prueba de modo que puede alimentarse al espectrómetro de masa una corriente de gas para la detección de una concentración del gas de prueba difundido desde la cápsula de barra de combustible al interior del recipiente de prueba.

60 Por lo tanto, todo el proceso de la prueba de estanqueidad, al igual que el proceso de la encapsulación de la barra de combustible puede realizarse bajo agua. Para ello, el recipiente de prueba se ha bajado en el depósito, por ejemplo un depósito de almacenamiento de una planta nuclear. La cápsula de barra de combustible contiene además de la al menos una barra de combustible gas de prueba bajo una presión predeterminada, conocida. El gas de prueba difunde a través de fugas eventualmente presentes en la cápsula de barra de combustible al interior del recipiente de prueba. El interior del recipiente de prueba está conectado mediante tuberías y dado el caso válvulas

dispuestas entre ellas con el espectrómetro de masa, de modo que el gas de prueba puede alimentarse al espectrómetro de masa después de haberse establecido una conexión fluidica. La detección selectiva del gas de prueba mediante el espectrómetro de masa permite una determinación especialmente exacta de la concentración del gas de prueba contenido en la corriente de gas. La tasa de fugas deducida de la concentración así determinada del gas de prueba presenta por lo tanto una mayor precisión.

Para la prueba de estanqueidad según normas industriales de uso corriente se usa habitualmente helio como gas de prueba. En el presente caso de aplicación ha resultado ser ventajoso, no obstante, a diferencia de ello, prever argón como gas de prueba. El espectrómetro de masa está realizado por lo tanto preferentemente para detectar la concentración del argón que difunde desde la cápsula de barra de combustible. Después de haber encerrado las barras de combustible bajo agua en cápsulas de barras de combustible, no puede excluirse que quede cierta humedad residual en el interior de la cápsula de barra de combustible. Lo mismo es válido para el recipiente de prueba propiamente dicho, que se llena habitualmente con agua del depósito al introducir la cápsula de barra de combustible. Por lo tanto, el interior de la cápsula de barra de combustible o del recipiente de prueba no puede secarse completamente antes de realizarse la comprobación de la estanqueidad. Esto es especialmente problemático cuando debe realizarse una comprobación de la estanqueidad mediante una concentración detectada mediante espectrometría de masa de helio difundido hacia el exterior, puesto que el helio y el hidrógeno que procede de la humedad residual tienen masas atómicas comparables. Los resultados de medición presentan por lo tanto inexactitudes relativamente grandes, en caso de usarse helio como gas de prueba. Este problema puede evitarse si en el interior de la cápsula de barra de combustible se introduce argón, que tiene una masa atómica que difiere claramente de la del hidrógeno, como gas de prueba bajo una presión definida.

Como alternativa a ello, también puede usarse otro gas inerte como gas de prueba.

En un ejemplo de realización preferible, el recipiente de prueba está realizado de forma que puede evacuarse de tal modo que en el interior del recipiente de prueba puede ajustarse una presión interior reducida en comparación con la presión hidrostática causada por el agua que rodea el recipiente de prueba. Dicho de otro modo, el interior del recipiente de prueba puede aislarse en particular mediante disposiciones de válvulas o similares de tal modo de la presión hidrostática del entorno que la presión interior en el interior del recipiente de prueba puede ajustarse por ejemplo mediante bombas de vacío a un valor adecuado para la prueba de estanqueidad. Esto es deseable, en particular para especificar condiciones supletorias definidas en la determinación de tasas de fugas, debiendo conocerse la diferencia de presión que hay entre el interior de la cápsula de barra de combustible y el interior del recipiente de prueba. Una reducción adecuada de la presión interior en el interior del recipiente de prueba respecto a la presión que hay en el interior de la cápsula de barra de combustible favorece la difusión del gas de prueba desde la cápsula de barra de combustible, de modo que el proceso de la prueba requiere menos tiempo.

Preferentemente, el recipiente de prueba presenta en un extremo inferior un dispositivo de conexión con el interior del depósito. El dispositivo de conexión sirve como salida para agua existente en el recipiente de prueba, que ha infiltrado en el mismo al introducir la al menos una cápsula de barra de combustible. Para ello está previsto en particular introducir un gas de lavado bajo presión en el interior del recipiente de prueba, que desplaza el agua y sale a través del dispositivo de conexión dispuesto en el punto más bajo del recipiente de prueba al depósito. Para ello, el transporte del gas de lavado al recipiente de prueba puede realizarse por ejemplo mediante una bomba de vacío con una capacidad de elevación correspondiente. Es deseable vaciar en gran medida el recipiente de prueba de agua, en particular en ejemplos de realización que usan argón como gas de prueba. El argón presenta una solubilidad en agua comparativamente buena, de modo que el agua restante que queda en el recipiente de prueba puede influir en los resultados de medición y adulterarlos de forma determinante.

De forma especialmente preferible, el extremo superior del recipiente de prueba puede conectarse fluidicamente con un primer reservorio en el que puede almacenarse gas de lavado bajo presión. El gas de lavado está en el primer reservorio bajo una presión tan grande que un recipiente de prueba lleno de agua puede llenarse completamente con gas de lavado proporcionándose una conexión fluidica entre el primer reservorio y el recipiente de prueba, por ejemplo mediante la apertura de válvulas. Para ello es necesario que la presión en el interior del primer reservorio sea más grande que la presión hidrostática generada por el agua que rodea el recipiente de prueba. Un dispositivo realizado de este modo presenta una forma de construcción especialmente sencilla y robusta, puesto que se evitan dispositivos de transporte que requieren un mantenimiento intenso, en particular bombas de vacío para el transporte del gas de lavado.

El primer reservorio puede conectarse con preferencia fluidicamente con un punto de toma del espectrómetro de masa. Por lo tanto, es posible lavar con gas de lavado tuberías que conducen la corriente de gas al espectrómetro de masa y, dado el caso, secarlas.

En una variante de la invención está previsto un segundo reservorio, en el que puede almacenarse gas de prueba bajo presión. El segundo reservorio también puede conectarse fluidicamente con el punto de toma, por ejemplo mediante una posición adecuada de las válvulas. Para ello, la alimentación al punto de toma se realiza para fines de calibrado del espectrómetro de masa. El gas de prueba está almacenado en el segundo reservorio bajo una presión conocida y puede alimentarse de forma controlada al punto de toma, de modo que el calibrado del espectrómetro de

masa tiene lugar en condiciones definidas. El gas de prueba comprende gas de lavado con una pequeña parte de gas de prueba. La concentración del gas de prueba contenido en el gas de lavado está situada poco por encima del límite de determinación del espectrómetro de masa, de modo que este puede calibrarse mediante una alimentación controlada de gas de prueba.

5 Preferentemente, entre el punto de toma y el primer reservorio y/o entre el punto de toma y el segundo reservorio está prevista una válvula reguladora de caudal, para ajustar el caudal del gas de lavado o del gas de prueba. Mediante la al menos una válvula reguladora de caudal para el gas de prueba, el caudal puede variarse de tal modo y ajustarse en valores que está garantizado un calibrado preciso del espectrómetro de masa.

10 Además, el dispositivo de conexión previsto en el extremo inferior del recipiente de prueba puede servir en un ejemplo de realización preferible para el llenado controlado del recipiente de prueba con agua del depósito. En este ejemplo de realización, el interior del recipiente de prueba puede conectarse fluidicamente en un extremo superior con un punto de toma del espectrómetro de masa, por ejemplo mediante disposiciones de válvulas o similares, de modo que es posible un transporte de la columna de gas existente en el recipiente de prueba al punto de toma mediante la introducción de agua a través del dispositivo de conexión. Según esta realización es posible, por lo tanto, aprovechar la presión hidrostática del agua del entorno para alimentar una columna de gas existente en el recipiente de prueba y que en caso de una fuga contiene gas de prueba prácticamente por completo al espectrómetro de masa, porque el recipiente de prueba se llena de forma controlada con agua del depósito.

20 En un ejemplo de realización concreto, el dispositivo de conexión comprende un dispositivo de intercambio de gases para el llenado controlado del recipiente de prueba. El dispositivo de intercambio de gases comprende un recipiente interior, por encima del cual está colocado un segundo recipiente. En el recipiente interior hay agua del depósito, que puede contener en algunos casos argón disuelto. Al soplar el recipiente de prueba con gas de lavado, en particular nitrógeno, se insufla gas de lavado en el recipiente interior, por lo que se produce un intercambio de gases en el agua. Durante este proceso en particular el argón puede ser sustituido en gran parte por nitrógeno. Mediante el insuflado de gas de lavado en el recipiente interior, se llena el segundo recipiente que lo envuelve con gas de lavado. Esto tiene como consecuencia que gracias al recipiente exterior tiene lugar una separación hermética respecto al depósito que lo envuelve. Los volúmenes del primero y del segundo recipiente pueden estar dimensionados de tal modo que durante el proceso de refluj (fase de medición) del agua que se encuentra en el recipiente interior no llega agua del depósito a través del recipiente exterior al recipiente interior, antes de alcanzar la superficie de agua en el recipiente de prueba el nivel de la superficie de agua del depósito. Esto es especialmente recomendable cuando se usa argón como gas de prueba, puesto que siempre puede haber argón disuelto en el agua.

35 Preferentemente, puede cambiarse, en particular controlarse o regularse, un caudal de la corriente de gas alimentada al punto de toma del espectrómetro de masa mediante un dispositivo de ajuste, por ejemplo mediante al menos otra válvula reguladora de caudal o una bomba de vacío. La toma en el punto de toma se realiza por lo tanto preferentemente con presión constante, para evitar una adulteración de los resultados de medición. Para el control o la regulación de la presión en el punto de toma, la capacidad de bombeo de la bomba de vacío y/o el paso de la válvula reguladora de caudal puede variarse correspondientemente.

40 De forma especialmente preferible, el dispositivo de ajuste, en particular la otra válvula reguladora de caudal o la bomba de vacío, están conectados con un sensor de presión para la medición de la presión en el punto de toma.

45 De acuerdo con un ejemplo de realización posible, el recipiente de prueba está realizado para el alojamiento de solo una única cápsula de barra de combustible. En un ejemplo de realización alternativo, el recipiente de prueba está dimensionado de tal forma que pueden alojarse varias cápsulas de barras de combustible.

50 Preferentemente, la al menos una cápsula de barra de combustible puede introducirse en el recipiente de prueba a través de una abertura que puede cerrarse dispuesta en un extremo. Para el cierre de la cápsula de barra de combustible pueden usarse uniones atornilladas, aunque también son habituales en particular uniones soldadas con unión material.

55 Para la determinación precisa de la tasa de fugas es deseable conocer lo más exactamente posible las demás magnitudes de estado, en particular de la temperatura. Por lo tanto, están previstos preferentemente sensores de temperatura en diferentes componentes del dispositivo para la detección de la temperatura.

60 De acuerdo con unas realizaciones posibles de la invención, el dispositivo comprende componentes, en particular tuberías y/o tramos de tuberías que están dispuestos en el interior del depósito bajo agua y otros que están dispuestos en el exterior del depósito. Por la potencia del calor de desintegración del combustible, en el interior del depósito hay una temperatura un poco más elevada y casi constante de aproximadamente 30°C a 40°C. Los componentes dispuestos en el exterior del depósito presentan, por lo tanto, debido al entorno más fresco en muchos casos una temperatura más baja, que favorece una condensación de la corriente de gas, mientras esta se alimenta al punto de toma. No obstante, una condensación de este tipo puede adulterar los resultados de medición. Por lo tanto, hay preferentemente en toda la zona del dispositivo una temperatura lo más constante posible. Para

garantizarlo, los componentes del dispositivo que están dispuestos en el exterior del depósito están provistos al menos por tramos de un aislamiento térmico.

5 En una variante de la invención está previsto un dispositivo de calefacción, mediante el que pueden calentarse los componentes dispuestos en el exterior del depósito, al menos por tramos. De este modo se reducen al menos los gradientes de temperatura que se producen para impedir una condensación, en particular en la zona del punto de toma. La temperatura en el punto de toma ha de ajustarse preferentemente mediante el dispositivo de calefacción a la temperatura que hay en el depósito.

10 Respecto al procedimiento; el objetivo se consigue mediante un procedimiento para realizar una prueba de estanqueidad del tipo indicado al principio con las características adicionales de la reivindicación 15.

15 En el procedimiento para realizar la prueba de estanqueidad en la cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba se usa uno de los dispositivos anteriormente descritos, de modo que se remite en primer lugar a las explicaciones anteriormente expuestas.

20 Para la comprobación de la estanqueidad se introduce en primer lugar una cápsula de barra de combustible en el recipiente de prueba que se ha bajado en el depósito lleno de una planta nuclear. De acuerdo con la invención, la corriente de gas que contiene el gas de prueba que ha difundido desde la cápsula de barra de combustible al interior del recipiente de prueba se alimenta a un espectrómetro de masa. Además, se detecta en la corriente de gas mediante el espectrómetro de masa una concentración del gas de prueba que ha difundido desde la cápsula de barra de combustible al interior del recipiente de prueba para la determinación de la tasa de fugas.

25 Para ello está previsto en particular determinar la tasa de fugas de forma indirecta. Para comprobar que no se ha rebasado una tasa de fugas admisible, la concentración detectada del gas de prueba debe quedar por debajo de un valor umbral predeterminado después de haber transcurrido una duración de medición previamente definida (duración de liberación del gas de prueba en el recipiente de prueba), debiendo garantizarse que la concentración a medir del gas de prueba quede por encima del límite de determinación del espectrómetro de masa.

30 En caso de usarse argón como gas de prueba, el límite de determinación del espectrómetro de masa está situado habitualmente entre 10 ppb (partes por mil millones) y 1 ppm (partes por millón).

35 Preferentemente, se introduce la al menos una cápsula de barra de combustible bajo agua en el recipiente de prueba y el agua que ha infiltrado en el recipiente de prueba es sustituida por un gas de lavado. Para ello, el gas de lavado se introduce bajo presión en el recipiente de prueba.

40 El gas de lavado permanece preferentemente durante un intervalo de tiempo que puede ser predeterminado en el recipiente de prueba, antes de alimentarse la corriente de gas que contiene el gas de lavado y el gas de prueba que ha difundido desde la cápsula de barra de combustible al espectrómetro de masa. Con unas condiciones supletorias determinadas, que comprenden las presiones y temperaturas que hay en los diferentes componentes, puede determinarse la tasa de fugas a partir de la concentración detectada y la cápsula de barra de combustible comprobada puede clasificarse respecto a su estanqueidad.

45 En un ejemplo de realización especialmente preferible, el recipiente de prueba se llena con agua del depósito para la generación de la corriente de gas. El recipiente de prueba se llena de forma controlada, en particular después de haber transcurrido el intervalo de tiempo que puede ser predeterminado, para alimentar la corriente de gas que contiene el gas de prueba al punto de toma.

50 Preferentemente, la corriente de gas alimentada al punto de toma del espectrómetro de masa se regula respecto a su volumen de tal modo que haya una presión constante en el punto de toma.

55 En un ejemplo de realización preferible, se alimenta al punto de toma de forma controlada una mezcla de gases que comprende un gas de prueba y un gas de lavado en una relación de mezcla predeterminada. La alimentación de la mezcla de gases con la relación de mezcla predeterminada puede realizarse antes de la puesta en marcha del espectrómetro de masa para fines de calibrado del espectrómetro de masa.

60 Los componentes del dispositivo, en particular tuberías y/o tramos de tuberías que están dispuestos en el exterior del depósito se calientan preferentemente al menos por tramos durante el funcionamiento. De este modo puede impedirse que se produzcan gradientes de temperatura relativamente grandes, que favorecen una condensación en la corriente de gas.

65 Como gas de prueba puede usarse un gas inerte. De forma especialmente preferible se usa argón como gas de prueba. En caso de que la encapsulación de las barras de combustible en cápsulas de barras de combustible se realice en el mismo depósito de la planta nuclear, está previsto realizar la encapsulación y la prueba de estanqueidad en diferentes lugares en el interior del depósito. La razón es que el argón tiene una solubilidad en agua relativamente buena. Por lo tanto, los resultados de medición pueden quedar adulterados por una humedad

residual que queda en el recipiente de prueba y que contiene argón. Gracias a una separación en el espacio de los procesos que comprenden la encapsulación y la prueba de estanqueidad, este efecto se minimiza al menos.

5 Preferentemente, el agua se retira de la forma más completa posible del recipiente de prueba. Esto puede realizarse por ejemplo porque se usa como gas de lavado nitrógeno de primera calidad.

A continuación, se explicarán más detalladamente posibles ejemplos de realización de la invención haciéndose referencia a los dibujos. Muestran:

10 La Figura 1 un dispositivo para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba de acuerdo con un primer ejemplo de realización de la invención,

15 La Figura 2 un dispositivo para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible que contiene al menos una barra de combustible y gas de prueba de acuerdo con un segundo ejemplo de realización de la invención.

20 Las partes que se corresponden unas a las otras se identifican en todas las Figuras con el mismo signo de referencia.

La Figura 1 muestra la construcción esquemática de un dispositivo 1 para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible 3 que contiene al menos una barra de combustible 2 y gas de prueba P de acuerdo con un primer ejemplo de realización de la invención.

25 En el ejemplo mostrado, la cápsula de barra de combustible 3 está llena de argón como gas de prueba P. En el interior de la cápsula de barra de combustible 3 hay una presión interior de aproximadamente 2,5 a 3,5 bar.

30 La cápsula de barra de combustible 3 se ha introducido en un recipiente de prueba 4, que se encuentra en un depósito 5 de una planta nuclear. El depósito 5 está lleno de agua y el recipiente de prueba 4 se ha bajado por debajo de la superficie de agua en el depósito 5.

35 El recipiente de prueba 4 presenta en un extremo una abertura 6 que puede cerrarse, a través de la cual la cápsula de barra de combustible 3 puede introducirse en el recipiente de prueba 4 bajo agua. En la zona de la abertura 6 que puede cerrarse está dispuesto un primer sensor de temperatura 7 para la medición de la temperatura en el interior del recipiente de prueba 4.

40 En el extremo inferior del recipiente de prueba 4 está previsto un dispositivo de conexión 8, que establece una conexión con el interior del depósito. En el ejemplo de realización mostrado en la Figura 1, el dispositivo de conexión 8 comprende una válvula 9 y un dispositivo de intercambio de gases 10. El dispositivo de conexión 8 con el interior del depósito 5 sirve como salida para agua que ha infiltrado en el interior del recipiente de prueba 4. Además, el dispositivo de conexión 8 permite un llenado controlado del recipiente de prueba 4 con agua del depósito 5, para transportar una columna de gas que se encuentra en el interior del recipiente de prueba 4 mediante tuberías 11, 12 en dirección a un punto de toma 13 para un espectrómetro de masa 14.

45 El dispositivo 1 comprende componentes que están asignados a una unidad de análisis 15 y que están dispuestos en el exterior del depósito 5. Los componentes asignados a la unidad de análisis 15 comprenden en particular tuberías 12, 16, 17, 18 y un tramo de la tubería 11. Además, la unidad de análisis 15 comprende sensores de presión 19, 20, válvulas 21, 22, 23, 24, válvulas reguladoras de caudal 25, 26, 27, el punto de toma 13 y el espectrómetro de masa 14. Los componentes de la unidad de análisis 15 están provistos de un aislamiento térmico 28, para impedir en particular una condensación en la corriente de gas durante la realización de la prueba de estanqueidad. Un segundo sensor de temperatura 29 está previsto para la detección de la temperatura en el interior de la unidad de análisis 15.

55 La válvula reguladora de caudal 25 dispuesta en la entrada al punto de toma 13 está conectada con el sensor de medición de la presión 20 (representado con línea de trazo interrumpido). Mediante la válvula reguladora de caudal 25 y el sensor de medición de la presión 20, la presión en el punto de toma puede controlarse y en particular regularse de tal modo que la alimentación de la corriente de gas al espectrómetro de masa 14 se realiza a una presión sustancialmente constante.

60 En un primer reservorio 30 está almacenado gas de lavado, en el ejemplo representado nitrógeno bajo presión. Un segundo reservorio 31 contiene gas de prueba, en el ejemplo aquí mostrado nitrógeno con una pequeña parte de argón como gas de prueba P bajo presión. Mediante las tuberías 12, 17, 18 puede alimentarse al punto de toma 13 gas de lavado o de prueba, en particular para el lavado o calibrado del espectrómetro de masa 14. Para ello, puede ajustarse el caudal del gas de lavado y de prueba mediante las válvulas reguladoras de caudal 22, 23.

65 El procedimiento para realizar la prueba de estanqueidad en la cápsula de barra de combustible 3 se realiza

usándose el dispositivo 1 mostrado en la Figura 1 de la siguiente manera:

En primer lugar, se cierran todas las válvulas 9, 21, 22, 23, 24 y se llena el dispositivo de intercambio de gases 10 con agua. A continuación, se abre la abertura del extremo 6 del recipiente de prueba 4 y se introduce la cápsula de barra de combustible 3 bajo agua en el recipiente de prueba 4. La abertura 6 del recipiente de prueba 4 vuelve a cerrarse a continuación y el agua infiltrada en el recipiente de prueba 4 se elimina en gran medida. Esto se hace mediante la apertura de las válvulas 9, 21 y la alimentación de gas de lavado del primer reservorio 30. El agua que se encuentra en el recipiente de prueba 4 queda por lo tanto desplazada y se expulsa mediante el dispositivo de conexión 8 al depósito. Para reducir suficientemente la humectación del lado interior del recipiente de prueba 4 con agua, el recipiente de prueba 4 se lava suficientemente con gas de lavado. El gas de lavado sobrante sale del dispositivo 1 a través del dispositivo de conexión 8. Durante el lavado, se introduce gas de lavado en un primer recipiente interior que contiene agua del dispositivo de intercambio de gases 10. Durante este proceso se produce un intercambio de gases de los gases disueltos en el agua. En particular, puede ser sustituido así el argón disuelto por nitrógeno. Además, durante el lavado se llena al menos en parte con gas de lavado un segundo recipiente del dispositivo de intercambio de gases 10 que envuelve el primer recipiente. Los primeros y segundos recipientes del dispositivo de intercambio de gases 10 están dimensionados aquí de tal modo que durante el llenado del recipiente de prueba 4 no entra agua del depósito 5 en el recipiente de prueba.

A continuación, se cierran las válvulas 9, 21. En una zona de domo del dispositivo de intercambio de gases 10 queda una cantidad de gas que impide que pase agua del depósito 5. El agua que se encuentra en el dispositivo de intercambio de gases 10 está en gran medida libre de aire y/o argón. Después de abrir la válvula 24, se reduce la presión interior en el interior del recipiente de prueba 4. En el ejemplo aquí mostrado, la presión interior se ajusta en aproximadamente 1 bar. A continuación, se vuelve a cerrar la válvula 24.

Para conseguir un aumento de la concentración de gas de prueba P en el recipiente de prueba 4, se espera un intervalo de tiempo que puede ser predeterminado, en el caso mostrado aquí a modo de ejemplo, 1 hora, antes de alimentarse la columna de gas que se encuentra en el recipiente de prueba 4 al espectrómetro de masa 14 para el análisis. Durante este intervalo de tiempo se abre la válvula 22 y se lava la tubería 12 con gas de lavado, de modo que no puede entrar aire desde el exterior a través de una salida 32 en un extremo de la tubería 12.

La válvula reguladora de caudal 22 prevista en la alimentación para gas de lavado está ajustada de tal modo que puede realizarse una regulación mediante la válvula reguladora de caudal 25 dispuesta en la entrada al punto de toma 13. En particular, la corriente de gas se regula de tal modo que la presión medida por el sensor de presión 20 permanece en un nivel casi constante, mientras se pone en marcha el espectrómetro de masa 14.

Durante el intervalo de tiempo que puede ser predeterminando, que sirve en primer lugar para la acumulación de gas de prueba P en el interior del recipiente de prueba 4, se realiza preferentemente el calibrado del espectrómetro de masa 14. Para ello se abre en primer lugar la válvula 23 antes de cerrarse la válvula 22. El punto de toma 13 tiene en este caso una conexión fluidica con el segundo reservorio 31, en el que está almacenado gas de prueba P bajo presión. En este caso, la válvula reguladora de caudal 23 se ajusta de tal modo que puede realizarse una regulación mediante la otra válvula reguladora de caudal 25 de tal modo que en el punto de toma 13 haya una presión sustancialmente constante.

Después del calibrado del espectrómetro de masa 13, se vuelve a abrir en primer lugar la válvula 22, antes de cerrarse la válvula 23. Después de haber transcurrido el intervalo de tiempo que puede ser predeterminado, se abren las válvulas 9, 24 y se cierra la válvula 22, para dejar entrar agua del depósito 5 a través del dispositivo de intercambio de gases 10 en el recipiente de prueba 4. El agua entra por la presión hidrostática en el recipiente de prueba 4 y transporta la columna de gas que se encuentra en el recipiente de prueba 4 en dirección al punto de toma 13. El espectrómetro de masa 14 detecta la concentración de gas de prueba P, en este caso argón, en la corriente de gas. Durante este proceso ha de tenerse en cuenta la inercia del sistema de medición, es decir, el tiempo mínimo de medición. Por lo tanto, el caudal se regula de tal modo que haya una presión constante en el punto de toma 13. A partir de la concentración detectada se calcula la tasa de fugas teniendo en cuenta las presiones y las temperaturas medidas.

Después de la medición se vuelve a cerrar la válvula 24, se abre el recipiente de prueba 4 y se vuelve a retirar la cápsula de barra de combustible 3.

La Figura 2 muestra un dispositivo 1 para realizar una prueba de estanqueidad de acuerdo con un segundo ejemplo de realización de la invención. El funcionamiento del ejemplo de realización mostrado corresponde sustancialmente al dispositivo del primer ejemplo de realización, de modo que se remite en primer lugar a la descripción expuesta al respecto.

El ejemplo de realización mostrado en la Figura 2 presenta una bomba de vacío 42 para la alimentación de la corriente de gas al espectrómetro de masa 14. Además, están previstas válvulas 33, 34, 43 que están realizadas como válvulas esféricas para proporcionar conexiones fluidicas entre las tuberías 11, 12, 35, 36, 37, 40, 41, 43.

El procedimiento para realizar la prueba de estanqueidad se realiza usándose el dispositivo 1 del segundo ejemplo

de realización representado en la Figura 2 de la siguiente manera:

En primer lugar, se introduce la cápsula de barra de combustible 3 a través de la abertura 6 en el extremo en el recipiente de prueba 4. Para ello, la válvula 33 realizada como válvula esférica está abierta en dirección al recipiente de prueba 4. La válvula 9 también está abierta en la dirección de paso. La cápsula de barra de combustible 3 introducida en el recipiente de prueba 4 se extiende hasta poco por debajo de la válvula 33.

A continuación, se expulsa del recipiente de prueba 4 el agua que ha infiltrado durante la introducción de la cápsula de barra de combustible 3 en el recipiente de prueba 4. Para ello se cierra en primer lugar la válvula 33 y se abre la válvula 9. En una entrada 38 se conecta un reservorio que contiene el gas de lavado bajo presión, en particular una botella de gas. La válvula 34 se ajusta de tal modo que quedan conectadas fluidicamente la tubería 35 y la tubería 12. A continuación, se expulsa el agua mediante insuflado de gas de lavado, en particular nitrógeno, del recipiente de prueba 4 a través del dispositivo de conexión 8 al depósito 5. La tubería 35 se conecta a continuación fluidicamente mediante la tubería 37 y conmutación de la válvula 34 con la tubería 35. Las tuberías 34, 36 también se vacían mediante insuflado de gas de lavado. Cuando el recipiente de prueba 4 o las tuberías 34, 35, 36, 37 ya solo contienen pequeñas cantidades residuales de agua, se cierra la válvula 9.

Para generar una depresión en el recipiente de prueba 4 se ajusta en primer lugar la válvula 34 de tal modo que se proporciona una conexión fluidica entre las tuberías 11, 12. Correspondientemente, la válvula 39 se ajusta de tal modo que hay una conexión de las tuberías 40, 41. A continuación, se pone en marcha la bomba de vacío 42. Después de alcanzar la diferencia de presión necesaria entre el interior de la cápsula de barra de combustible 3 y el interior del recipiente de prueba 4 se desconecta la evacuación y la válvula 39 se conmuta de tal modo que las tuberías 40, 43 quedan conectadas fluidicamente una con la otra.

La bomba de vacío 42 sigue funcionando también después de alcanzarse la depresión necesaria en el interior del recipiente de prueba 4, para transportar de forma continua gas de lavado con partes eventualmente liberadas del gas de prueba del recipiente de prueba 4 al espectrómetro de masa 14 y viceversa. Mediante el espectrómetro de masa 14 se analiza la corriente de gas transportada respecto a las partes contenidas de gas de prueba. A partir de la concentración medida y el tiempo de la prueba se determina a continuación la tasa de fugas teniéndose en cuenta las demás magnitudes de estado.

La invención se ha explicado anteriormente haciéndose referencia a unos ejemplos de realización preferibles. No obstante, se entiende que la invención no está limitada a la configuración concreta de los ejemplos de realización mostrados, pudiendo deducir por el contrario el experto competente con ayuda de la descripción variaciones, sin desviarse de la idea base esencial de la invención.

Lista de signos de referencia

| | | | |
|----|-------------------------------------|----|------------------------------|
| 1 | Dispositivo | 23 | Válvula |
| 2 | Barra de combustible | 24 | Válvula |
| 3 | Cápsula de barra de combustible | 25 | Válvula reguladora de caudal |
| 4 | Recipiente de prueba | 26 | Válvula reguladora de caudal |
| 5 | Depósito | 27 | Válvula reguladora de caudal |
| 6 | Abertura | 28 | Aislamiento |
| 7 | Sensor de temperatura | 29 | Sensor de temperatura |
| 8 | Dispositivo de conexión | 30 | Reservorio |
| 9 | Válvula | 31 | Reservorio |
| 10 | Dispositivo de intercambio de gases | 32 | Salida |
| 11 | Tubería | 33 | Válvula |
| 12 | Tubería | 34 | Válvula |
| 13 | Punto de toma | 35 | Tubería |
| 14 | Espectrómetro de masa | 36 | Tubería |
| 15 | Unidad de análisis | 37 | Tubería |
| 16 | Tubería | 38 | Entrada |
| 17 | Tubería | 39 | Válvula |
| 18 | Tubería | 40 | Tubería |
| 19 | Sensor de presión | 41 | Tubería |
| 20 | Sensor de presión | 42 | Bomba de vacío |
| 21 | Válvula | 43 | Tubería |
| 22 | Válvula | P | Gas de prueba |

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) configurado para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible (3) que contiene al menos una barra de combustible (2) y gas de prueba (P) bajo agua, comprendiendo un recipiente de prueba (4) realizado para el alojamiento de al menos una cápsula de barra de combustible (3), que puede bajarse en un depósito (5) lleno de agua de una planta nuclear, caracterizado por que un espectrómetro de masa (14) está conectado fluidicamente con un interior del recipiente de prueba (4) de modo que puede alimentarse al espectrómetro de masa (14) una corriente de gas para la detección de una concentración del gas de prueba (P) difundido desde la cápsula de barra de combustible (3) al interior del recipiente de prueba (4).
2. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que como gas de prueba (P) está previsto argón y el espectrómetro de masa (14) detecta la concentración del argón que ha difundido desde la cápsula de barra de combustible (3).
3. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el recipiente de prueba (4) puede evacuarse de tal modo que en el interior del recipiente de prueba (4) puede ajustarse una presión interior reducida en comparación con la presión hidrostática causada por el agua que rodea el recipiente de prueba (4).
4. Dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el recipiente de prueba (4) presenta en un extremo inferior un dispositivo de conexión (8) con el interior del depósito (5).
5. Dispositivo (1) de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que el dispositivo de conexión (8) está dispuesto en el depósito (5) a una profundidad por debajo de una superficie de agua y un extremo superior del recipiente de prueba (4) está conectado fluidicamente con un primer reservorio (30) en el que puede almacenarse un gas de lavado bajo presión, siendo esta presión mayor que la presión hidrostática que corresponde a la profundidad del dispositivo de conexión (8) del agua que lo rodea, estando conectado el primer reservorio (30) en particular fluidicamente con un punto de toma (13) del espectrómetro de masa (14) y/o estando conectado el punto de toma (13) del espectrómetro de masa (14) fluidicamente en particular con un segundo reservorio (31), en el que puede almacenarse gas de prueba (P) bajo presión, y estando dispuesta entre el punto de toma (13) y el primer reservorio (30) y/o entre el punto de toma (13) y el segundo reservorio (31) en particular al menos una válvula reguladora de caudal (22, 23, 25).
6. Dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 o 5, caracterizado por que el interior del recipiente de prueba (5) está conectado fluidicamente en un extremo superior con un punto de toma (13) del espectrómetro de masa (14) de tal modo que puede transportarse una columna de gas existente en el recipiente de prueba (4) al punto de toma (13) mediante la introducción de agua a través del dispositivo de conexión (8) dispuesto en el extremo inferior del recipiente de prueba.
7. Dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que puede variarse un caudal de la corriente de gas alimentada al punto de toma (13) del espectrómetro de masa (14) mediante un dispositivo de ajuste, en particular mediante al menos otra válvula reguladora de caudal (25) o una bomba de vacío (42), estando conectado el dispositivo de ajuste en particular con un sensor de presión (20) para la medición de la presión en el punto de toma.
8. Dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la al menos una cápsula de barra de combustible (3) puede introducirse en el recipiente de prueba (4) a través de una abertura (6) que puede cerrarse dispuesta en un extremo.
9. Dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los componentes del dispositivo (1), en particular tuberías (12, 16, 17, 18) y/o tramos de tuberías (11) que están dispuestos en el exterior del depósito presentan al menos por tramos un aislamiento térmico (28) y pueden calentarse al menos por tramos, en particular mediante un dispositivo de calefacción.
10. Procedimiento para realizar una prueba de estanqueidad en una cápsula de barra de combustible (3) que contiene al menos una barra de combustible (2) y gas de prueba (P) bajo agua, con un dispositivo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, introduciéndose al menos una cápsula de barra de combustible (3) en un recipiente de prueba (4) bajado en un depósito (5) lleno de una planta nuclear, caracterizado por que una corriente de gas que contiene el gas de prueba (P) difundido desde la cápsula de barra de combustible (3) al interior del recipiente de prueba (4) se alimenta a un espectrómetro de masa (14) y se detecta mediante el espectrómetro de masa (14) una concentración del gas de prueba (P) difundido desde la cápsula de barra de combustible (3) al interior del recipiente de prueba (4) en la corriente de gas para la determinación de una tasa de fugas.
11. Procedimiento (1) de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que la al menos una cápsula de barra de combustible (3) se introduce bajo agua en el recipiente de prueba (4) y el agua que ha infiltrado en el recipiente de prueba (4) es sustituido por un gas de lavado, permaneciendo el gas de lavado en particular durante un intervalo de tiempo que puede ser predeterminado en el recipiente de prueba (4), antes de alimentarse la corriente de gas

que contiene el gas de lavado y el gas de prueba (P) que ha difundido desde la cápsula de barra de combustible (3) al espectrómetro de masa (14).

- 5 12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 u 11, caracterizado por que el recipiente de prueba (4) se llena con agua del depósito (5) para generar la corriente de gas y/o la corriente de gas se alimenta en un punto de toma (13) al espectrómetro de masa (14) y un caudal de la corriente de gas se regula de tal modo que en el punto de toma (13) hay una presión constante.
- 10 13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado por que al punto de toma (13) se alimenta de forma controlada una mezcla de gases que contiene gas de lavado o gas de prueba en una relación de mezcla predeterminada.
- 15 14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, caracterizado por que los componentes del dispositivo (1), en particular tuberías (12, 16, 17, 18) y/o los tramos de tuberías (11) que están dispuestos en el exterior del depósito (5) se calientan al menos por tramos.
- 15 15. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 14, caracterizado por que como gas de prueba (P) se usa un gas inerte, en particular argón.

FIG 1

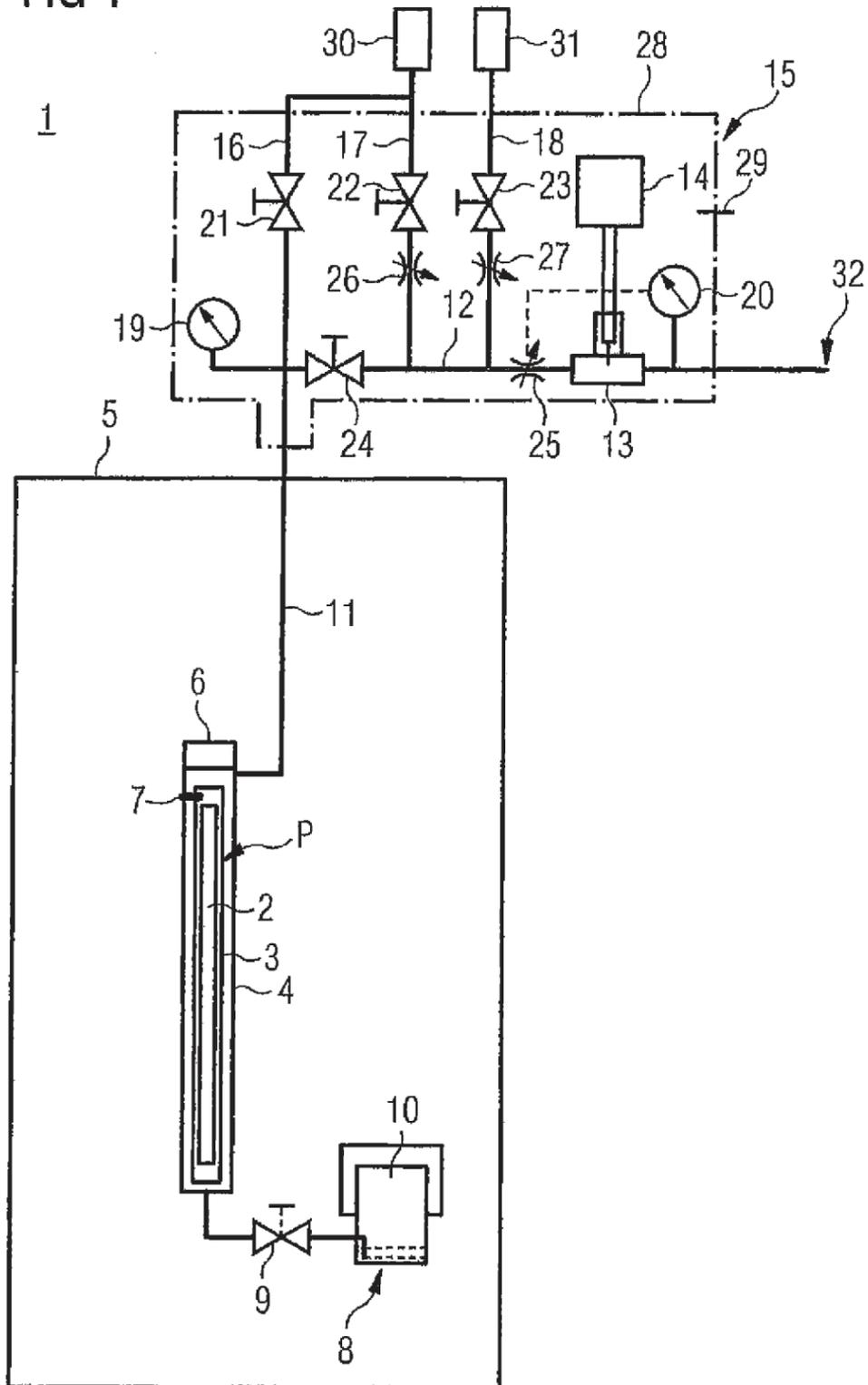


FIG 2

