

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 619 655**

51 Int. Cl.:

G21F 5/06 (2006.01)

G21G 1/02 (2006.01)

G21G 1/08 (2006.01)

G21K 5/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2015** **E 15151770 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2899724**

54 Título: **Dispositivo para la irradiación de muestras en el núcleo y en la periferia del núcleo de un reactor**

30 Prioridad:

22.01.2014 FR 1450519

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

26.06.2017

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, rue Leblance, Bâtiment "le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**MOULIN, DAMIEN y
CHRISTIN, SÉBASTIEN**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 619 655 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para la irradiación de muestras en el núcleo y en la periferia del núcleo de un reactor

5 Campo técnico y técnica anterior

La presente invención se refiere a un dispositivo para la irradiación de materiales en el núcleo y en la periferia del núcleo de un reactor nuclear, más concretamente en un reactor nuclear de investigación.

10 Para poder realizar experimentos en materiales o muestras para observar su comportamiento a la irradiación, es necesario poder colocarlas en el núcleo o en la periferia del núcleo de un reactor nuclear de investigación.

15 Por lo tanto, se quiere disponer de un dispositivo que permita introducir una (o varias) muestras para irradiarlas en la zona del reactor experimental donde el flujo neutrónico es más elevado, correspondiente al medio de los elementos combustibles del reactor. En esta zona, las muestras y las estructuras bajo irradiación se someten a la irradiación nuclear (gamma y neutrones) provenientes del núcleo del reactor, lo que provoca su calentamiento.

Este dispositivo experimental alcanza temperaturas elevadas y una presión elevada.

20 No obstante, es difícil elegir materiales capaces de mantener tanto una presión elevada como una temperatura elevada, por ejemplo, del orden de 800 °C. Esto es aún más difícil en las condiciones de irradiación del experimento.

25 Por ejemplo, los aceros austeníticos ven reducida significativamente su vida útil por temperaturas superiores a 450 °C. Por ejemplo, para el acero austenítico X2CrNiMo17-12-2, su vida útil bajo irradiación en el núcleo de un reactor de investigación (típicamente con un grado de deterioro de 12 dpa/año) es de 4,4 años por debajo de 375 °C y de 2 años por encima de 425 °C. Asimismo, la fluencia y el envejecimiento del material son insignificantes con independencia de la vida útil por debajo de 450 °C, pero se convierten en significativos a partir de 2000 horas a 525 °C.

30 Los documentos JP 2000111690 A, EP 2428966 A2 y JP 2005003458 A divulgan ejemplos de dispositivos de irradiación de muestras de acuerdo con la técnica anterior.

Exposición de la invención

35 Como consecuencia, es un objetivo de la presente invención ofrecer un dispositivo experimental para la irradiación de muestras en un reactor que permita que las muestras alcancen temperaturas elevadas, garantizando al mismo tiempo un comportamiento mecánico del conjunto para satisfacer las normas de seguridad.

40 El objetivo anteriormente enunciado se alcanza mediante un dispositivo para irradiar muestras que consiste en una cámara delimitada por un receptáculo encamisado, de forma que la cámara contiene un recipiente destinado a contener un fluido caloportador, un soporte de muestras que penetra en el recipiente, de modo que las muestras se sumerjan en el fluido caloportador, siendo apto el recipiente para mantener temperaturas elevadas y estando el interior y el exterior de recipiente en comunicación de fluido, de manera que se mantenga la misma presión entre el interior del recipiente, donde se sitúa el portamuestras, y el exterior del recipiente.

45 Gracias a la invención, al mantener a equipresión el interior y el exterior del recipiente, el material que forma el recipiente no está destinado a soportar una presión elevada, por lo que el material o materiales que lo forman se pueden elegir para mantener temperaturas elevadas y presentar un comportamiento mecánico debilitado frente a la presión. Además, el gas en el exterior del recipiente, aísla térmicamente el receptáculo de la zona de calentamiento de las muestras, por lo que esta última puede fabricarse en uno o más materiales aptos para soportar una presión elevada, pero aptos para soportar una temperatura menor que la del recipiente.

50 De manera muy ventajosa, los medios de regulación de la temperatura de las muestras están previstos en la pared del recipiente o sobre la misma. Preferentemente, se trata de medios de calentamiento adicional de las muestras. 55 Esto permite tener un control preciso de la temperatura de las condiciones de irradiación de las muestras.

60 El comportamiento mecánico del receptáculo depende de la presión, de la temperatura y de la duración de la irradiación. De acuerdo con la invención, manteniendo el receptáculo a una temperatura que no influya sensiblemente en su comportamiento mecánico gracias a la utilización muy sagaz del gas cielo del fluido caloportador en el que se sumergen las muestras como aislante térmico entre el recipiente que mantiene la temperatura y el receptáculo, este puede garantizar su función de seguridad y el dispositivo puede someter a las muestras a temperaturas elevadas. Así, con una estructura relativamente sencilla, se pueden alcanzar temperaturas de muestras del orden de 800 °C e incluso más, respetando las normas de seguridad nuclear, es decir, conservando un receptáculo encamisado.

65 Por lo tanto, la presente invención tiene por objeto un dispositivo para irradiar una muestra en el núcleo o en la

periferia del núcleo de un reactor nuclear que comprende:

- un receptáculo con doble pared que delimita una cámara,

5 - un recipiente contenido en dicha cámara, estando mantenido dicho recipiente a una distancia de la pared interior del receptáculo, estando destinado dicho recipiente a contener un fluido caloportador,

- un portamuestras del cual un extremo libre está destinado a estar situado en el recipiente,

10 en el que el interior del recipiente está en comunicación de fluido con el exterior del recipiente y en el que un volumen entre la pared interior del receptáculo y el recipiente está destinado a estar lleno de un gas o una mezcla de gases, llamado gas cielo caloportador.

15 El receptáculo puede comprender una pared exterior destinada a estar en contacto con un fluido caloportador del reactor y delimitando con la pared interior un volumen de gas.

En un ejemplo ventajoso, el dispositivo comprende medios de regulación térmica montados en el recipiente.

20 De manera ventajosa, los medios de regulación térmica pueden comprender, al menos, medios de calentamiento adicional.

Por ejemplo, los medios de calentamiento adicional comprenden, al menos, un elemento calentador sobre la superficie exterior del recipiente o, preferentemente, varios elementos calentadores repartidos sobre la totalidad o parte de la superficie exterior del recipiente.

25 Por ejemplo, los elementos calentadores se reparten sobre la totalidad o parte de la superficie exterior del recipiente a lo largo del eje longitudinal, de forma que puedan calentar por separado diferentes zonas del recipiente a lo largo del eje longitudinal.

30 Preferentemente, los medios de regulación térmica están recubiertos por un revestimiento de protección, por ejemplo, fabricado mediante metalización.

De acuerdo con una característica adicional, el dispositivo puede comprender, al menos, un sensor de temperatura montado en el recipiente, por ejemplo, un termopar.

35 El interior del recipiente puede estar en comunicación de fluido con el exterior del recipiente al nivel de un extremo superior del recipiente por el cual se introduce la muestra en el recipiente.

40 Por ejemplo, las paredes interior y exterior y el recipiente tienen forma tubular, cerrados en un extremo inferior por un fondo.

Las paredes interior y exterior del encamisado puede ser, por ejemplo, de Inox X2CrNiMo17-12-2 y el recipiente es de Inconel®718.

45 Asimismo, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de irradiación de una muestra que implementa un dispositivo de acuerdo con la invención, que comprende las etapas:

- colocación de, al menos, una muestra en el recipiente mediante la introducción del portamuestras en el dispositivo, de forma que el recipiente contenga un fluido caloportador,

50 - colocación del dispositivo en el núcleo o en la periferia del núcleo de un reactor nuclear,

- retirada del dispositivo del reactor y retirada de, al menos, una muestra del dispositivo.

55 En un ejemplo, el caloportador es líquido, por ejemplo, formado por un metal líquido o una aleación líquida, por ejemplo, NaK o Na, y el gas cielo caloportador se sitúa entre el receptáculo y el recipiente.

En otro ejemplo, el caloportador es un gas o una mezcla de gases.

60 Durante la irradiación, se puede realizar de manera ventajosa un aporte adicional de calor a la muestra.

Breve descripción de los dibujos

65 La presente invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción que sigue y de los dibujos que constan anexos sobre los cuales:

- la figura 1 es una vista transversal longitudinal de una representación esquemática de un ejemplo de un modo de realización de un dispositivo para la irradiación de una muestra de acuerdo con la invención,

- la figura 2 es una vista detallada de la figura 1,

5 - la figura 3A es una representación gráfica de la variación de la temperatura en el interior del dispositivo en función de la radiación del dispositivo, en el caso de un caloportador líquido,

10 - la figura 3B es una representación gráfica de la variación de la temperatura en el interior del dispositivo en función de la radiación del dispositivo, en el caso de un caloportador gaseoso,

- la figura 4 es una representación esquemática de un ejemplo de un modo de realización de los medios de calentamiento adicional que pueden implementarse en el dispositivo de acuerdo con la invención,

15 - las figuras 5A y 5B son representaciones esquemáticas de otro ejemplo de un modo de realización de los medios de calentamiento adicional que pueden implementarse en el dispositivo de acuerdo con la invención,

- la figura 6 es una representación de un ejemplo de un perfil de variación del espesor de la lámina de gas entre el recipiente y la superficie interna del receptáculo.

20 **Exposición detallada de modos de realización particulares**

En la figura 1, se puede ver una representación esquemática de un dispositivo para la irradiación de muestras en un reactor nuclear de investigación, más particularmente en el núcleo o en la periferia del núcleo de un reactor nuclear de investigación.

El dispositivo para irradiación y los elementos que lo componen presentan, de manera ventajosa, una forma de revolución alrededor de un eje longitudinal X. El dispositivo comprende varios elementos concéntricos, preferentemente, tubular.

30 El dispositivo para irradiación mide varios metros de longitud, por ejemplo, 5 m, y comprende una parte longitudinal destinada a situarse en la zona de flujo neutrónico correspondiente a los elementos combustibles del reactor, que se extiende, por ejemplo, sobre una altura de 1 m.

35 En las figuras 1 y 2, es la parte destinada a su colocación en la zona de flujo neutrónico que está representada y que se describirá en detalle.

El dispositivo comprende un portamuestras 2 con un eje X que comprende un extremo longitudinal libre 2.1 destinado a mantener las muestras; este extremo longitudinal libre 2.1 comprende, por ejemplo, una varilla roscada o cualquier medio de mantenimiento de una estructura adaptada a la geometría de las muestras, a su colocación y a su retirada. Cada portamuestras está concebido para responder a la necesidad propia de la experiencia; por ejemplo, puede incluir accionadores para someter a estrés a las muestras. Asimismo, puede comprender diferentes sensores de medición necesarios para el seguimiento del experimento sometido bajo irradiación; por ejemplo, para medir la temperatura, la presión, la evolución de las dimensiones de las muestras, el flujo de neutrones y de gamma, etc. El portamuestras 2 se puede introducir y retirar por deslizamiento a lo largo del eje longitudinal X para permitir el cambio de muestra.

50 El dispositivo comprende, asimismo, un recipiente 4 en el cual se encuentra el extremo longitudinal libre 2.1 del portamuestras cuando las muestras están colocadas. El recipiente está destinado a contener un fluido caloportador en el que se sumergen las muestras y por intermediación del cual se realizan los intercambios térmicos. El recipiente comprende un fondo inferior cerrado 4.1 y un fondo superior abierto 4.2 por el cual se introduce el portamuestras 2. El fondo inferior 4.1 está, por ejemplo, unido a la pared lateral del recipiente.

55 El caloportador garantiza los intercambios térmicos entre las muestras, el recipiente y el receptáculo en contacto con el caloportador del reactor.

La distancia entre el fondo 4.1 del recipiente y el 8.1 de la pared tubular inferior es tal que permite una dilatación libre entre el depósito y el receptáculo.

60 El recipiente 4 permite, de manera ventajosa, recibir también los sensores de medición, por ejemplo, los sensores de temperatura y/o de irradiación.

El dispositivo comprende, asimismo, un receptáculo 6 de doble pared que delimita una cámara 7 para el recipiente.

65 El receptáculo comprende una pared tubular interior 6 y una pared tubular exterior 10, siendo concéntricas las dos paredes 8, 10. Cada una de las paredes tubulares 8, 10 está cerrada al nivel de su extremo inferior por un fondo

inferior 8.1, 10.1, respectivamente. Por ejemplo, los fondos inferiores 8.1, 10.1 están unidos a un extremo de cada pared tubular. La distancia entre los fondos inferiores 8.1, 10.1 es tal que permite su libre dilatación. El recipiente está fijado por su parte inferior sobre la pared interior del receptáculo, mediante un medio mecánico adaptado, siendo posible la libre dilatación hacia la parte inferior.

5 Se han previsto, de manera ventajosa, medios de centrado para mantener una lámina de gas 9 de espesor sensiblemente constante entre las dos paredes tubulares sobre toda la altura del receptáculo. Por ejemplo, en frío, la distancia entre la superficie interior de la pared tubular exterior 10 y la superficie exterior de la pared tubular interior puede ser del orden de 0,2 mm.

10 Las dos paredes 8, 10 definen entre ellas un volumen destinado a contener el gas del receptáculo.

El volumen definido entre las dos paredes está cerrado. El gas puede introducirse mediante una derivación tubular de pequeño diámetro, por ejemplo, de 2 mm de diámetro interno, situada en la parte alta del receptáculo.

15 Cuando se utiliza un caloportador líquido, como un metal líquido como NaK (aleación de sodio y de potasio), y este llena el fondo del recipiente 4, la cámara 7 se llena de un gas inerte, por ejemplo, helio, o de una mezcla de gases compatible con el caloportador. En efecto, la parte superior del recipiente se llena de este gas o mezcla de gases, denominado gas cielo caloportador, y como el interior del recipiente está en comunicación con la cámara 7 por el extremo superior del recipiente, la cámara 7 se llena de gas cielo caloportador.

20 El caloportador líquido puede ser un metal o metales líquidos, como sodio, una o varias aleaciones líquidas como NaK, una o varias sales, uno o varios líquidos orgánicos, etc.

25 En adelante en la descripción, la expresión "gas cielo superior" designa un gas o una mezcla de gases.

Cuando se utiliza un caloportador gaseoso, como helio, por ejemplo, en el recipiente, llena también la cámara 7. El caloportador puede ser un gas o una mezcla de gases.

30 La superficie interior de la pared tubular interior 8 está en contacto con el gas cielo caloportador.

La superficie exterior de la pared tubular exterior 10 está en contacto con el fluido caloportador del reactor de investigación, por ejemplo agua, cuya circulación se simboliza por las flechas F.

35 De manera ventajosa, en la pared del recipiente o sobre la misma se prevén medios de regulación térmica 14 del caloportador contenido en el recipiente. Por ejemplo, se trata de medios de calentamiento; de forma alternativa se pueden prever medios de enfriamiento o, simultáneamente, de medios de calentamiento y de medios de enfriamiento.

40 Los medios de calentamiento están formados, por ejemplo, por elementos calefactores por efecto Joule. A continuación se describirán ejemplos de modos de realización de estos medios.

Las paredes tubulares 8, 10 se fabrican en un material capaz de soportar presiones elevadas, por ejemplo, del orden de 16 bares para los valores de diámetro dados en la tabla 1 más adelante.

45 Por ejemplo, se fabrican en acero inoxidable, en una aleación de circonio, en una aleación de níquel. La pared tubular interior 8 y la pared tubular exterior 10 pueden fabricarse en el mismo material o en materiales diferentes.

50 A título de ejemplo, las paredes tubulares 8, 10 pueden fabricarse en acero inoxidable X2CrNiMo17-12-2.

El recipiente se fabrica en un material apto para soportar temperaturas elevadas, por ejemplo, del orden de, al menos, 800 °C, con una deformación débil; se puede tratar de un material metálico, tal como aleaciones de níquel (por ejemplo, Inconel®, Incoloy®), aceros inoxidables.

55 Además, de manera ventajosa, se han previsto medios de centrado para garantizar sobre toda la altura de la zona de calentamiento una lámina de gas regular entre la superficie exterior del recipiente y la pared tubular interior 8 del receptáculo del dispositivo. Esta lámina de gas puede ser de espesor constante en toda la altura del recipiente o, por el contrario, comprender secciones longitudinales de espesores diferentes a lo largo del recipiente. Se prevén medios de centrado sobre la superficie del recipiente; son de dimensiones pequeñas para limitar los puentes térmicos. Se puede tratar de tubuladuras metálicas o de centradores cerámicos.

60

Vamos a explicar ahora el funcionamiento de este dispositivo.

65 Se fijan las muestras al extremo libre 2.1 del portamuestras 2 que a continuación se introduce en el interior del dispositivo, en el recipiente 4 que contiene el fluido caloportador.

5 El dispositivo se introduce seguidamente en el núcleo del reactor de investigación o en la periferia del mismo. Se sumerge entonces el dispositivo en el fluido caloportador del reactor. Se somete el dispositivo a la radiación nuclear (rayos gamma y neutrones), lo que provoca el calentamiento de diferentes elementos del dispositivo y del caloportador contenido en el recipiente. También se calientan las muestras. Se pueden activar los medios de regulación térmica, por ejemplo, para aumentar la temperatura de la muestra calentando el caloportador. Dicha temperatura es, por ejemplo de aproximadamente 800 °C en el caso de un caloportador líquido. El material del recipiente permite al recipiente soportar temperaturas elevadas. El recipiente 4 está rodeado de gas cielo caloportador.

10 El gas cielo caloportador contenido en la cámara 7 forma un aislante térmico entre el recipiente, es decir, la zona con temperatura elevada, y la pared tubular interior 8, lo que permite limitar la temperatura vista por esta pared tubular y, más generalmente, vista por el receptáculo; la temperatura es, por ejemplo, del orden de 350 °C. Como consecuencia, los materiales utilizados para el receptáculo, aunque fragilizados por la irradiación, conservan propiedades mecánicas suficientes para que el receptáculo sea apto para soportar las tensiones mecánicas impuestas por la diferencia de presión entre el interior y el exterior. Así, es posible alcanzar temperaturas elevadas en el centro del dispositivo para la muestra, garantizando el comportamiento mecánico del dispositivo.

20 En las figuras 3A y 3B, se pueden ver representaciones gráficas de la temperatura en °C en el dispositivo a lo largo del rayo R en mm, estando sometido el dispositivo a irradiación.

En el caso de la figura 3A, el caloportador es del metal líquido NaK y el caloportador del reactor es agua, para una potencia nuclear de 12,5 W/g y una potencia eléctrica de 200 W/cm.

25 Se constata que, en una zona central designada I de radio inferior a aproximadamente 14,55 mm, la temperatura es sensiblemente constante y de aproximadamente 800 °C. Entre 14,55 mm y 15,6 mm, esta zona se designa como II y corresponde sensiblemente al diámetro exterior del recipiente y a la pared tubular interna del receptáculo 8, cayendo la temperatura en el espacio gaseoso 7, hasta 350 °C, que corresponde a la temperatura de la pared tubular interior 8; luego, en el espacio gaseoso 9 entre las dos paredes del receptáculo, la temperatura cae de nuevo hasta 100 °C al nivel de la pared tubular exterior 10. Más allá, la zona III a partir de la pared tubular 10 en el exterior del receptáculo 4 donde circula el caloportador del reactor, la temperatura disminuye más lentamente para alcanzar la temperatura del caloportador del reactor.

35 En el caso de la figura 3B, el caloportador es helio y el caloportador del reactor es agua, para una potencia nuclear de 12,5 W/g y una potencia eléctrica de 200 W/cm. Se pueden obtener temperaturas aún más elevadas utilizando un gas como caloportador, puesto que se alcanzan temperaturas del orden de 1400 °C en el centro del dispositivo (zona I').

40 Se constata que, en una zona central correspondiente a las muestras, designada como I' de radio inferior a aproximadamente 9,3 mm, la temperatura es sensiblemente constante y de aproximadamente 1400 °C. Luego, entre 9,3 mm y 12 mm, la zona II' corresponde a la caída de la temperatura en el caloportador gaseoso en el interior del recipiente. En el recipiente (zona III'), entre 12 mm y 14,6 mm la temperatura se mantiene constante alrededor de 750 °C, cayendo después en el espacio gaseoso 7. En el receptáculo (zona IV') entre 14,9 mm y 16,6 mm, la pared tubular interna 8 está a aproximadamente 350 °C; luego, en el espacio gaseoso 9 la temperatura cae de nuevo hasta 100 °C al nivel de la pared tubular exterior. Más allá, la temperatura disminuye lentamente para alcanzar en el exterior del receptáculo 4 la temperatura del caloportador del reactor.

50 El gas caloportador es mucho menos conductor que el caloportador NaK, haciéndose menos bien los intercambios térmicos, lo que permite alcanzar una temperatura de las muestras más elevada que en el caso del NaK. Además, la caída de la temperatura es más acusada en el caloportador gaseoso que en el NaK, lo que explica la diferencia de perfil entre las curvas de las figuras 3A y 3B.

55 Se puede constatar entonces la eficacia del dispositivo de acuerdo con la invención, puesto que las temperaturas a las que se somete el receptáculo corresponden a las temperaturas a las que se conservan sus propiedades mecánicas.

En las figuras 4 y 5A-5B, se pueden ver ejemplos de modos de realización de medios de regulación térmicos formados por medios de calentamiento. Estos se representan en plano.

60 En la figura 4, los medios de calentamiento comprenden elementos calentadores en forma de cables, representada en el ejemplo por seis hilos incandescentes distintos designados de 14.1 a 14.6. Los hilos comprenden extremos de alimentación situados completamente al nivel de un mismo extremo del recipiente, preferentemente el extremo superior para su conexión a una fuente de corriente. Cada hilo serpentea sobre la superficie exterior del recipiente, de forma que recubre uniformemente la totalidad o parte de la altura de recipiente, así como la totalidad o parte de su perímetro. Los elementos calefactores se reparten sobre la altura de recipiente, de forma que se definen seis zonas de calentamiento repartidas axialmente. Estas seis zonas se pueden controlar por separado. Las zonas axiales C y D comprenden cada una dos elementos calefactores 14.3 y 14.4, y 14.5 y 14.6, respectivamente.

Preferentemente, los elementos calefactores 14.3 y 14.4 se controlan de forma que se tenga un calentamiento homogéneo de la zona C, y los elementos calefactores 14.5 y 14.6 se controlan de forma que se tenga un calentamiento homogéneo de la zona D.

5 En una variante, podría utilizarse un único hilo incandescente que cubre toda la altura y toda la periferia del recipiente. Se puede utilizar un número cualquiera de hilos incandescentes. Asimismo, los hilos incandescentes que se extiendan por la totalidad de la altura del recipiente pero que no cubran más que una parte angular de la periferia del recipiente no se salen del alcance de la presente invención. La utilización de varias zonas independientes permite modular el aporte de calor siguiendo los gradientes de calentamiento nucleares axiales y radiales. Asimismo, utilizando un solo elemento, sería más difícil aportar toda la potencia deseada. Por otra parte, utilizando varios elementos, si uno de ellos es defectuoso, sigue siendo posible el aporte de calor.

10 Se puede utilizar todo medio de calentamiento adicional compatible con la geometría, el medio nuclear, el caloportador; por ejemplo, un medio de calentamiento por inducción o por efecto Joule.

15 En la figura 5A, puede verse otro modo de realización de medios de calentamiento que comprenden, asimismo, seis hilos, pero repartidos de modo distinto. En la figura 5B, se puede ver una vista lateral en la que el recipiente comprende los medios de calentamiento de la figura 5A. Los seis elementos calefactores 14.1' a 14.6' se reparten siguiendo las seis zonas axiales A a F.

20 Por ejemplo, la superficie exterior del recipiente se fabrica para servir de soporte a los hilos incandescentes. Por ejemplo, los hilos son de tipo monofilamento y comprenden un núcleo en níquel-cromo 80/20 para la parte destinada a calentamiento por el efecto Joule, un aislante mineral de MgO y una vaina de Inconel®600. La fabricación consiste, por ejemplo, en reducir el diámetro exterior del recipiente y/o en realizar hendiduras para recibir los hilos.

25 De manera ventajosa, se prevén, asimismo, sensores de temperatura, por ejemplo, termopares, sobre la superficie exterior del recipiente, para controlar la temperatura del dispositivo.

30 Preferentemente, los medios de calentamiento y los sensores de temperatura en su caso se recubren de un revestimiento para protegerlos. Este revestimiento permite transferir más eficazmente la potencia aportada por los elementos calefactores al recipiente, limitando la elevación de temperatura de los elementos calefactores, para evitar dañarlos. Por ejemplo, se puede formar una fina capa de cerámica (por ejemplo, mediante metalización, que se describirá más adelante) sobre el metal que recubre los elementos calefactores.

35 Dicho revestimiento también puede ofrecer una superficie que se puede rectificar de manera que se controle el diámetro exterior.

40 Por ejemplo, los hilos del elemento o elementos calefactores se disponen sobre la superficie exterior del recipiente sin hendidura y se recubren.

El diámetro de los hilos es tal que el diámetro final del recipiente es compatible con el receptáculo que lo alberga y el espacio gaseoso que los separa.

45 El revestimiento se selecciona de modo que se garantice el recubrimiento de los elementos calefactores y de los sensores de temperatura y que presente una porosidad limitada y evite la oxidación del metal. Dicho recubrimiento se realiza, por ejemplo, mediante metalización; de manera ventajosa, el revestimiento se realiza mediante un recubrimiento con una aleación de níquel de tipo Inconel®. En una variante, el revestimiento puede ser con cuero.

50 Dicho revestimiento se puede realizar por proyección térmica, también denominada metalización. También se prevé un modo de realización por moldeado.

55 La metalización es bien conocida por el experto en la técnica. Consiste en el tratamiento de una superficie por vía seca obtenido por proyección térmica. La metalización agrupa varios procedimientos que tienen en común la fundición de un material y su proyección subsiguiente en forma de gotitas gracias a un gas vector. El depósito se forma mediante el apilamiento sucesivo de las gotitas del material fundido o en estado pastoso, lo que produce una estructura lamelar. La adherencia del revestimiento se obtiene esencialmente por un fenómeno mecánico y la superficie de las piezas se prepara previamente para aumentar su rugosidad y favorecer la adhesión.

60 Después de la formación de este revestimiento sobre la superficie exterior del recipiente, se puede realizar, de manera ventajosa, un recocido de estabilización. El revestimiento así formado se trabaja a continuación siguiendo un diámetro constante o de acuerdo con un perfil variable axialmente para tener un espesor de gas entre el recipiente 4 y el receptáculo 6 que no sea constante; en la figura 6 se representa esquemáticamente un ejemplo de perfil de espesor variable. Dicho perfil variable permite, de manera ventajosa, modular los intercambios térmicos axialmente. La variación del espesor del gas corresponde, preferentemente, de forma sensible, a las zonas ABCD de los elementos calefactores, como se puede ver por comparación con la figura 4.

65

ES 2 619 655 T3

Por encima de la zona de calentamiento, el recorrido de los cables de los elementos calefactores y termopares se hace en el espacio gaseoso entre el recipiente 4 y el receptáculo 6.

5 A modo de ejemplo no limitativo, vamos a proporcionar los valores de dimensionamiento de un ejemplo de dispositivo para irradiación de acuerdo con la invención.

El receptáculo encamisado se forma con dos paredes tubulares de acero inoxidable X2CrNiMo17-12-2.

10 Los valores de los diámetros interno y externo se mencionan en la tabla 1

Tabla 1

	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)
Tabique tubular interior	29,7	30,9
Tabique tubular exterior	31,2	33,1

15 El recipiente es, por ejemplo, Inconel®718. Su longitud es de aproximadamente 1 m; su diámetro interno, de 24,1 mm; y su diámetro externo, de 25,3 mm.

20 Sobre aproximadamente 700 mm, la superficie lateral exterior del recipiente 2 se trabaja con un diámetro externo de 24,9 mm para servir de soporte a seis elementos calefactores (EC). Los elementos calefactores son de tipo monofilamento de níquel-cromo 80/20 con aislante mineral de MgO y una vaina de Inconel®600. En los ejemplos proporcionados, los elementos calefactores permiten aumentar la temperatura aproximadamente 150 °C en el caso del caloportador NaK y aproximadamente 75 °C en el del caloportador gaseoso.

El espacio axial entre las zonas de calentamiento A a D es del orden de 10 mm.

25 Los seis elementos calefactores tienen una longitud de calentamiento de 1500 mm y un diámetro de 1 mm. Se sitúan 12 termopares de tipo K y 1 mm de diámetro en las zonas de calentamiento. La altura del calentamiento es del orden de 450 mm.

30 Después del recocido de estabilización, el revestimiento de metal obtenido mediante metalización se trabaja siguiendo un diámetro constante; en el caso descrito, 29,1 mm. El revestimiento recubre todos los elementos calefactores y se prolonga a un lado y a otro de los elementos calefactores, por ejemplo, unos centímetros.

35 Por ejemplo, el recipiente es capaz de soportar una temperatura del orden de 800 °C mientras que las camisas del receptáculo se pueden realizar para soportar una temperatura del orden de 450 °C y, por ejemplo, una presión de 16 bares para los diámetros proporcionados en la tabla 1.

40 Se comprenderá que, en vista de la longitud tan grande del dispositivo con respecto a sus dimensiones transversales, se procede con especial cuidado para la realización de las paredes tubulares interior y exterior y del recipiente, para obtener una concentricidad muy buena, y se controlan los espesores de la película gaseosa en el receptáculo y de la película gaseosa entre el recipiente y el receptáculo.

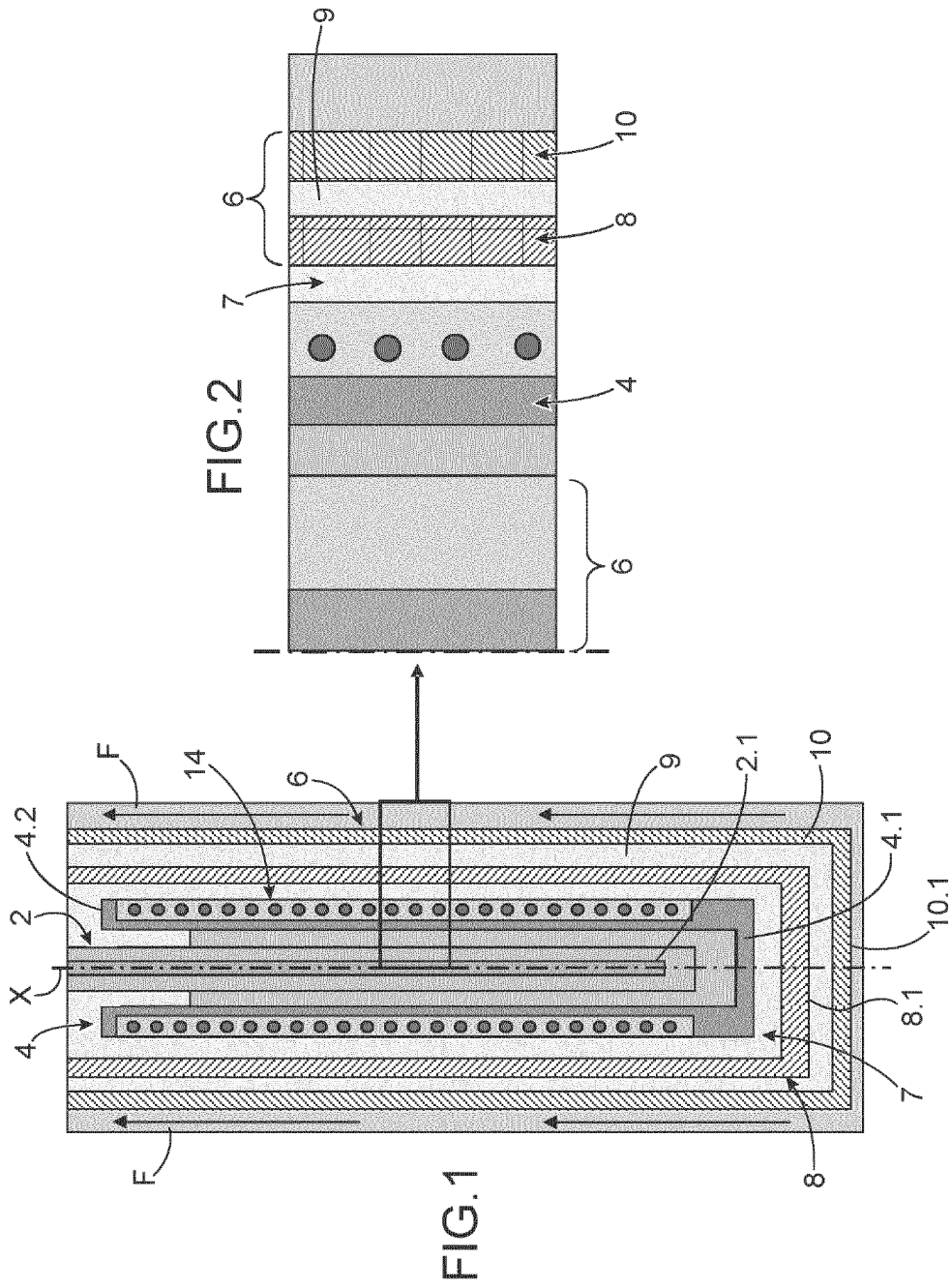
El dispositivo para irradiación es de estructura relativamente sencilla y permite someter las muestras a temperaturas muy elevadas, respetando las normas de seguridad.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para irradiar una muestra en el núcleo o en la periferia del núcleo de un reactor nuclear que comprende:
- 5 - un receptáculo (6) con doble pared que delimita una cámara (7),
- un recipiente (4) contenido en dicha cámara (7), estando mantenido dicho recipiente (4) a una distancia de una pared interior (8) del receptáculo, estando destinado dicho recipiente (4) a contener un fluido caloportador,
- 10 - un portamuestras (2) del cual un extremo libre está destinado a estar situado en el recipiente (4);
- en el que el interior del recipiente está en comunicación de fluido con el exterior del recipiente y en el que un volumen entre la pared interior (8) del receptáculo (6) y el recipiente (4) está destinado a estar lleno de un gas o una mezcla de gases, llamado gas cielo caloportador.
- 15 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el receptáculo comprende una pared exterior (10) destinada a estar en contacto con un fluido caloportador del reactor, y que delimita con la pared interior (8) un volumen (9) de gas.
- 20 3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende medios de regulación térmica (14) montados en el recipiente (4).
4. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3, en el que los medios de regulación térmica comprenden al menos unos medios de calentamiento adicional.
- 25 5. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que los medios de calentamiento adicional comprenden al menos un elemento calefactor (14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6) sobre la superficie exterior del recipiente (4).
- 30 6. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que los medios de calentamiento adicional comprenden varios elementos calefactores (14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6) repartidos sobre la totalidad o parte de la superficie exterior del recipiente (4).
- 35 7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, en el que los elementos calefactores (14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6) están repartidos sobre la totalidad o parte de la superficie exterior del recipiente a lo largo del eje longitudinal (X), de manera que pueden calentarse por separado diferentes zonas del recipiente (4) a lo largo del eje longitudinal (X).
- 40 8. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 7, en el que los medios de regulación térmica (14) están recubiertos de un revestimiento de protección, por ejemplo realizado mediante metalización.
9. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende al menos un sensor de temperatura montado en el recipiente, por ejemplo un termopar.
- 45 10. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el interior del recipiente (4) está en comunicación de fluido con el exterior del recipiente al nivel de un extremo superior (4.2) del recipiente, por el cual se introduce la muestra en el recipiente (4).
- 50 11. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las paredes interior (8) y exterior (10) y el recipiente (4) tienen forma tubular, cerrados en un extremo inferior por un fondo.
12. Procedimiento de irradiación de una muestra que utiliza un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende las etapas:
- 55 - colocación de al menos una muestra en el recipiente (4) mediante la introducción del portamuestras (2) en el dispositivo, conteniendo el recipiente (4) un fluido caloportador,
- colocación del dispositivo en el núcleo o en la periferia del núcleo de un reactor nuclear,
- 60 - retirada del dispositivo del reactor y retirada de al menos una muestra del dispositivo.
13. Procedimiento de irradiación de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el caloportador es líquido, por ejemplo formado por un metal líquido o una aleación líquida, por ejemplo NaK o Na, y el gas cielo caloportador se sitúa entre el receptáculo y el recipiente.
- 65 14. Procedimiento de irradiación de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el caloportador es un gas o una

mezcla de gases.

15. Procedimiento de irradiación de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, en el que durante la irradiación se efectúa un aporte adicional de calor a la muestra.



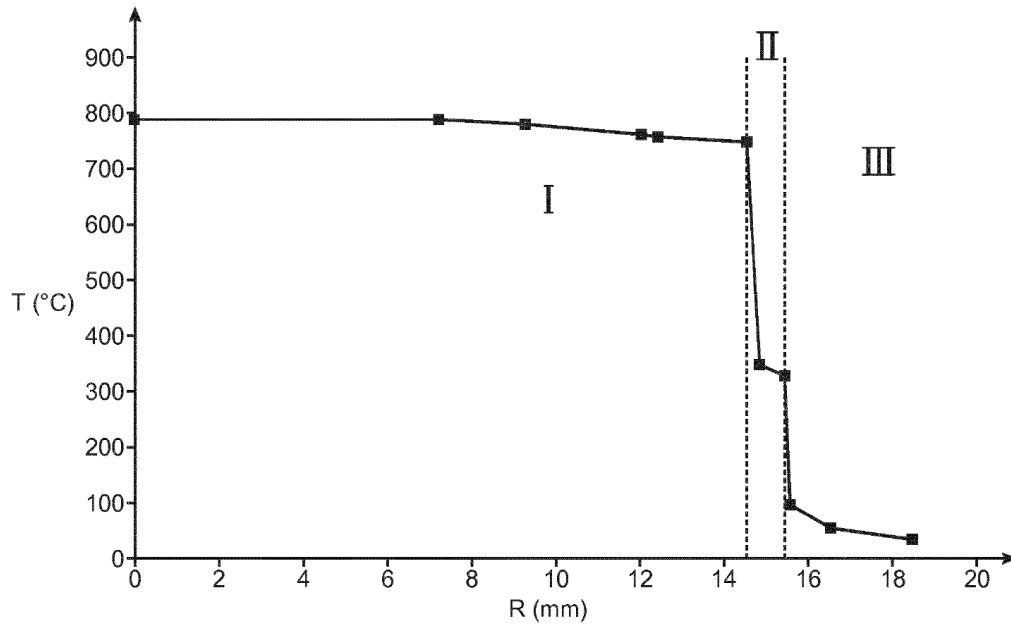


FIG.3A

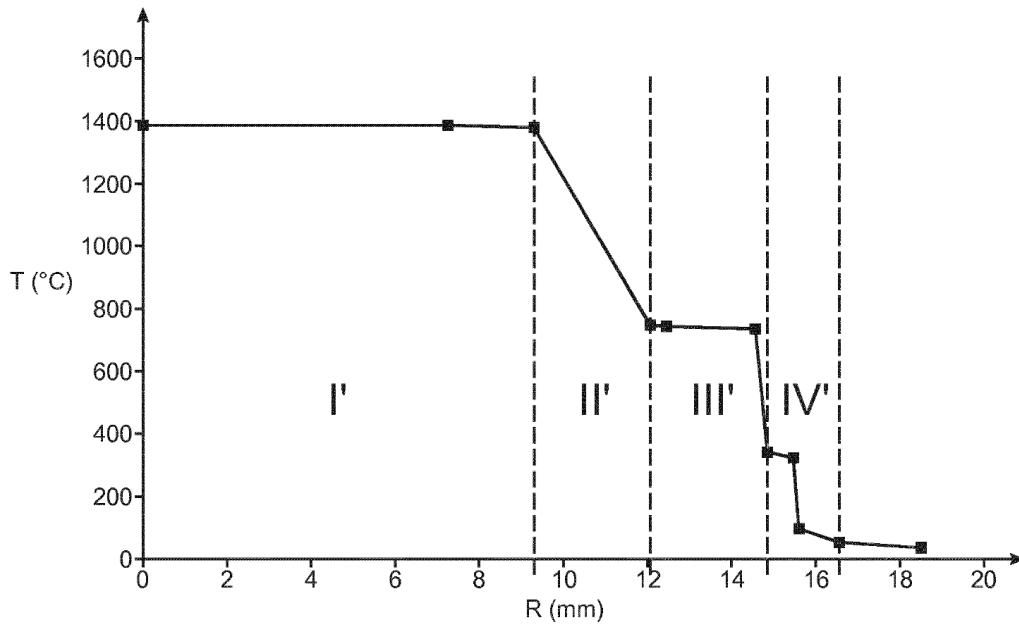


FIG.3B

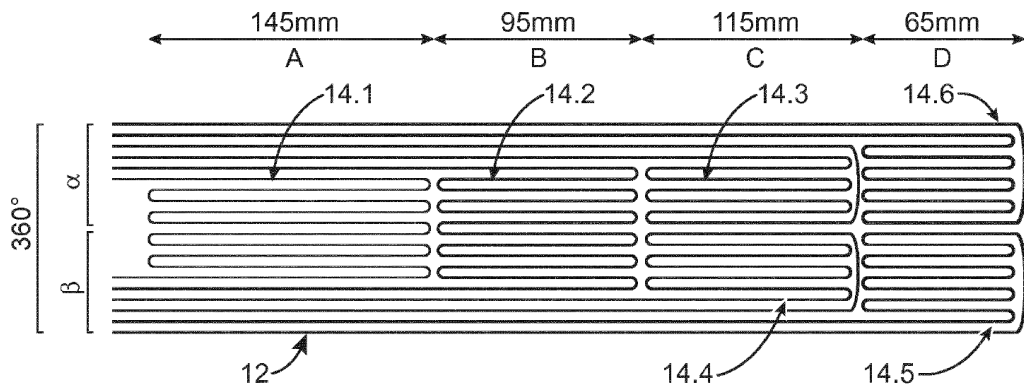


FIG.4

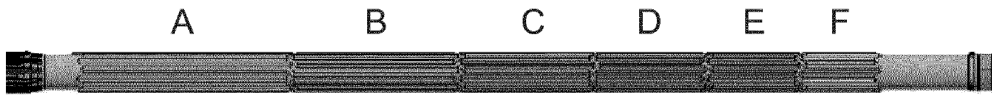


FIG.5A

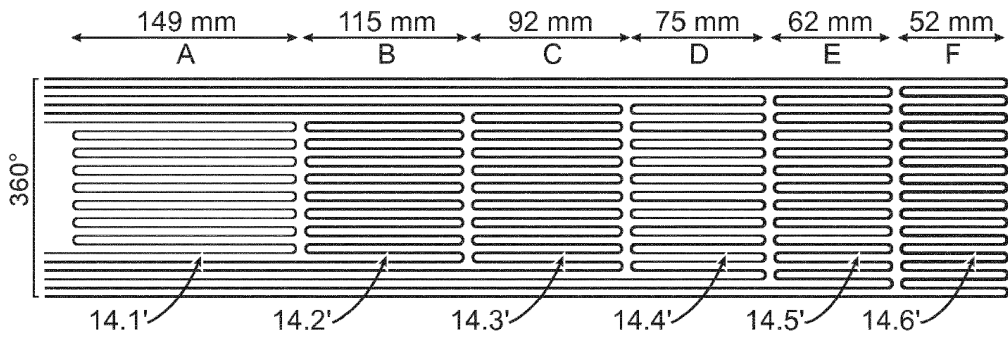


FIG. 5B

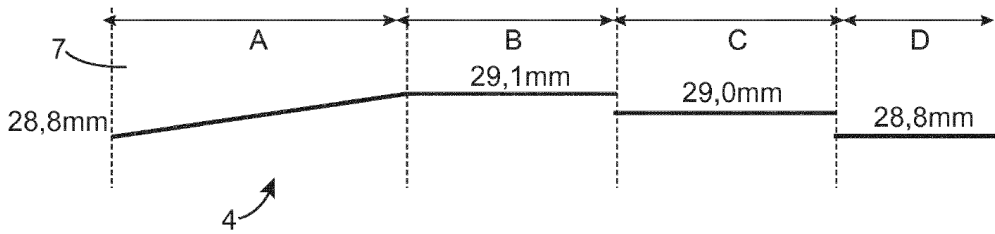


FIG. 6