

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 697**

51 Int. Cl.:

G21C 3/04 (2006.01)

G21C 3/62 (2006.01)

G21C 21/02 (2006.01)

G21C 3/334 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2015 PCT/EP2015/058938**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2016 WO16037712**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2015 E 15719202 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 3192076**

54 Título: **Método de fabricación de una pastilla de combustible nuclear para un reactor de energía nuclear**

30 Prioridad:

08.09.2014 US 201462047323 P

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

19.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

WIDEGREN, HANS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 686 697 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

Método de fabricación de una pastilla de combustible nuclear para un reactor de energía nuclear

Antecedentes de la invención y técnica anterior

5 La presente invención se refiere a un método de fabricación de una pastilla de combustible nuclear para un reactor de energía nuclear.

10 Un experto en la técnica conoce diferentes maneras de producir pastillas de combustible nuclear. Resulta habitual fabricar la pastilla de combustible nuclear a partir de un material de combustible nuclear en forma de polvo. El material de combustible nuclear puede ser, por ejemplo, UO_2 , en el que U está enriquecido con respecto a ^{235}U . El material en polvo también puede incluir otros aditivos, tales como U_3O_8 y material aglutinante. Se prensa el polvo con el fin de formar una denominada pastilla en verde. El concepto "pastilla en verde" en este campo técnico significa la pastilla prensada antes de sinterizarse. Por tanto, posteriormente se sinteriza la pastilla en verde en un horno. Posteriormente se esmerilan las pastillas sinterizadas con el fin de obtener el diámetro y acabado de superficie correctos.

15 También se conoce incluir algunos aditivos en el polvo con el fin de aumentar el tamaño de grano en la pastilla sinterizada. Por ejemplo, el documento WO 00/49621 A1 proporciona algunos ejemplos de tales aditivos y describe cómo puede producirse la pastilla de combustible nuclear.

Además, el documento US 2014/0185731 A1 enseña añadir aditivos respectivos a la pastilla en verde antes de la sinterización.

20 El documento DE 3235944 A1 describe que se añade una disolución de peróxido de hidrógeno al polvo de dióxido de uranio con el fin de aumentar el tamaño de grano.

El documento WO 2005/041208 A2 describe que en una disposición de dióxido de uranio porosa se infiltra un precursor líquido en forma de alilhidridopolicarbosilano con el fin de potenciar la conductividad térmica en el combustible nuclear.

25 Como antecedentes de la presente invención debe mencionarse un fenómeno adicional. Este fenómeno es una estructura en las pastillas de combustible nuclear usadas denominada estructura de alto quemado (HBS) o estructura de reborde. Cuando se ha usado el combustible nuclear durante un tiempo más prolongado en un reactor nuclear (es decir, un alto quemado) aparece una nueva configuración reestructurada en la región delgada exterior de la pastilla de combustible. Este fenómeno se describe, por ejemplo, en el artículo "The high burn-up structure in nuclear fuel" de V.V. Rondinella *et al.* en *Materials Today*, diciembre 2010, volumen 13, n.º 12, páginas 24-32. HBS significa que los granos en la región exterior de la pastilla de combustible nuclear se subdividen en granos muy pequeños. La región exterior en la que aparece la HBS puede tener, por ejemplo, menos de 100 μm de grosor.

30 Cuando en este documento se menciona un determinado porcentaje de un material, esto se refiere al porcentaje en peso, si no se dice otra cosa.

35 Cuando en este documento se menciona un determinado tamaño de grano, esto se refiere al denominado tamaño de grano bidimensional (2D), es decir, el tamaño de grano medido en un plano, si no se dice otra cosa.

Sumario de la invención

40 Un objetivo de la presente invención es proporcionar un método de fabricación de una pastilla de combustible nuclear, método con el cual es posible controlar mejor la adición de un aditivo a la pastilla de combustible nuclear, aditivo que aumenta el tamaño de grano. Un objetivo adicional es proporcionar un método de este tipo que puede llevarse a cabo de una manera relativamente sencilla.

Los objetivos anteriores se logran mediante un método tal como se define en la reivindicación 1.

45 Según la invención, el aditivo que aumenta el tamaño de grano se añade por tanto después de haberse formado la pastilla en verde. Por tanto, no es necesario añadir el aditivo al polvo antes de prensar la pastilla en verde. Dado que el aditivo se proporciona en un líquido, puede controlarse hasta qué grado entra el aditivo en la pastilla en verde. Por tanto se logra un control mejorado de la adición del aditivo que aumenta el tamaño de grano. Además, resulta bastante fácil aplicar el líquido, con aditivo, a la pastilla en verde.

50 Según una manera de llevar a cabo el método según la invención, dicho aditivo está en forma de partículas dispersadas en dicho líquido. Por tanto, el aditivo está en forma de partículas que pueden penetrar en los poros en la pastilla en verde. Resulta ventajoso usar un líquido como portador de tales partículas. Dado que las partículas están dispersadas en el líquido, las partículas no se disuelven en el líquido.

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, el método comprende una etapa de controlar la profundidad de penetración del líquido, y de ese modo del aditivo, en la pastilla en verde. Controlando la

profundidad de penetración, es posible controlar en qué región en la pastilla está presente el líquido, con el aditivo. De ese modo es posible controlar dónde está presente el aditivo en la pastilla.

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicha etapa de controlar la profundidad de penetración se realiza seleccionando una o ambas de las siguientes:

5 la viscosidad del líquido con aditivo incluido,

la cantidad del líquido, con el aditivo, que se añade a la pastilla en verde cuando se pone la pastilla en verde en contacto con el líquido, con el aditivo. Seleccionando un líquido con una determinada viscosidad es posible controlar la profundidad de penetración del líquido. La profundidad de penetración también puede controlarse controlando cuánto líquido se añade a la pastilla en verde. La profundidad de penetración también puede controlarse seleccionando un determinado tamaño de partícula para las partículas de aditivo o seleccionando una determinada distribución de tamaño de partícula. Partículas más pequeñas tienden a penetrar en la pastilla en verde en mayor profundidad que partículas más grandes.

10

La cantidad del líquido, con el aditivo, que se añade a la pastilla en verde puede controlarse, por ejemplo, pulverizando una determinada cantidad del líquido, con aditivo, sobre la pastilla en verde, o exponiendo la pastilla en verde al líquido, con aditivo (por ejemplo, sumergiendo la pastilla en verde en el líquido, con aditivo) durante un tiempo predeterminado.

15

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, la profundidad de penetración del líquido, con el aditivo, en la pastilla en verde se controla de manera que una porción exterior de la pastilla en verde contiene sustancialmente más líquido, y de ese modo más aditivo, que una porción interior de la pastilla en verde, de manera que la pastilla sinterizada tiene un tamaño de grano más grande en la porción exterior que en la porción interior. Por tanto, es posible controlar el tamaño de grano para que sea más grande en una porción exterior de la pastilla sinterizada. Los inventores de la presente invención han constatado que la aparición de la HBS anteriormente descrita puede prevenirse, o retrasarse, si la pastilla de combustible nuclear tiene granos más grandes en la porción exterior de la pastilla de combustible nuclear (en la que se produce la HBS).

20

Las porciones exterior e interior pueden definirse de diferentes maneras. Por ejemplo, si se considera una pastilla de combustible nuclear cilíndrica con un radio r , la porción interior puede ser, por ejemplo, la parte de la pastilla de combustible nuclear desde el centro de la pastilla hacia fuera hasta, por ejemplo, $0,6 r$ y la porción exterior puede ser, por ejemplo, la parte de la pastilla de combustible nuclear que está ubicada entre $0,8 r$ y r o entre $0,9 r$ y r , o entre $0,95 r$ y r (dependiendo de dónde se desea que los granos sean más grandes). Cuando se menciona que el tamaño de grano es más grande en la porción exterior, esto también puede definirse de diferentes maneras. Por ejemplo, si se considera el tamaño de grano 2D promedio en la porción exterior y el tamaño de grano 2D promedio en la porción interior, el tamaño de grano promedio en la porción exterior puede ser al menos un 50%, preferiblemente al menos un 100%, más grande que el tamaño de grano promedio en la porción interior.

25

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo penetrará en los poros que existen entre los granos en la pastilla en verde. La pastilla en verde tendrá poros tanto entre los granos en la pastilla en verde como dentro de los granos en la pastilla en verde. Los poros dentro de los granos son normalmente más pequeños que los poros que existen entre los granos. Por consiguiente, puede controlarse (por ejemplo, seleccionando una determinada viscosidad) que el líquido penetre en los poros que existen entre los granos.

35

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo no penetrará, al menos no en ningún grado sustancial, en los poros que existen en los granos en la pastilla en verde. Según esta alternativa, el aditivo no entrará en ningún grado sustancial en los granos, sino que el aditivo se añadirá en los poros que existen entre los granos.

40

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo también penetrará en los poros que existen en los granos en la pastilla en verde. Según esta alternativa, el aditivo también entrará por tanto en los poros en los granos. Por tanto, con la presente invención es posible controlar dónde en la pastilla en verde se añade el aditivo.

45

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido abandonará completamente, o al menos hasta el 99%, la pastilla antes de o durante la etapa de sinterización. Dado que el líquido abandonará la pastilla, el líquido (y el material que constituye el líquido) no estarán presentes en la pastilla sinterizada. Por consiguiente, el líquido actúa como portador del aditivo y no influirá en las propiedades de la pastilla producida.

50

Preferiblemente, el líquido abandona la pastilla durante una etapa de calentar la pastilla. Esto puede ser o bien una etapa de calentamiento independiente antes de la etapa de sinterización o bien el calentamiento que se realiza durante la etapa de sinterización. Esta última alternativa tiene la ventaja de que no se necesita ninguna etapa de calentamiento independiente.

55

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho aditivo constituye o incluye una sustancia que provoca dichos granos más grandes en la pastilla sinterizada, en la que dicha sustancia se selecciona y el método se realiza de manera que la sustancia abandona completamente, o al menos hasta el 90%, preferiblemente hasta al menos el 95%, más preferiblemente hasta al menos el 99%, al menos una porción exterior de la pastilla antes de y/o durante la etapa de sinterización. Algunos aditivos pueden afectar a la economía neutrónica, es decir, pueden absorber neutrones. Por otro lado, tal como se explicó anteriormente, los granos grandes, al menos en la porción exterior de la pastilla de combustible nuclear, son ventajosos con el fin de prevenir la HBS. Por tanto, puede ser ventajoso usar una sustancia que abandona la pastilla antes de o durante la etapa de sinterización (pero que provoca los granos más grandes). Esto también se vuelve más fácil mediante la presente invención, dado que, con la presente invención, el aditivo puede añadirse sólo a una porción exterior de la pastilla. Si el aditivo sólo está presente en una porción exterior, resulta más fácil hacer que el aditivo abandone la pastilla, por ejemplo, durante una etapa de calentamiento, tal como la etapa de sinterización.

Ahora se explicará por qué se menciona que la sustancia provoca los granos más grandes. La sustancia puede estar incluida en un compuesto, de manera que el aditivo es un compuesto que incluye la sustancia que provoca los granos más grandes. El resto del compuesto puede actuar principalmente como portador de la sustancia que provoca los granos más grandes. Por ejemplo, el aditivo puede ser UB_4 . En este caso, el B provocará los granos más grandes, pero el U como tal en el compuesto UB_4 no contribuirá sustancialmente a los granos más grandes. Por tanto, este es el motivo por el que se menciona en la reivindicación que la sustancia provoca los granos más grandes. La sustancia es preferiblemente un elemento químico, por ejemplo, B o Cr. El aditivo puede incluir más de una sustancia de este tipo.

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho aditivo se compone de, o comprende, B y/o Cr. Estos materiales son sustancias ventajosas que aumentarán el tamaño de grano.

El aditivo que comprende B puede ser, por ejemplo, UB_4 , B_4C , ZrB_2 o simplemente B.

El aditivo que comprende Cr puede estar preferiblemente en forma un óxido de cromo, tal como CrO , CrO_2 y/o Cr_2O_3 .

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho aditivo comprende B y en el que al menos el 90% de dicho B es ^{11}B . B en forma del isótopo ^{10}B actúa como absorbedor de neutrones. Sin embargo, si el propósito del B añadido es aumentar el tamaño de grano, pero no actuar como absorbedor de neutrones, entonces es preferible usar el isótopo ^{11}B , dado que, si queda algo de B en la pastilla sinterizada, este B en este caso no actuará como absorbedor de neutrones.

El B puede seleccionarse, por ejemplo, de manera que esté presente en dicho aditivo hasta al menos el 98% en forma del isótopo ^{11}B .

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido se selecciona de manera que el aditivo no se disuelve en el líquido, y de manera que el material de combustible nuclear en la pastilla en verde no se disuelve por el líquido. Es preferible que el líquido no interaccione con el aditivo o la pastilla en verde de tal manera que el aditivo o la pastilla en verde se disuelva por el líquido.

Según una manera adicional de llevar a cabo el método según la invención, dicho líquido es un aceite, preferiblemente un aceite mineral. Tales líquidos tienen propiedades ventajosas para actuar como portador para el aditivo. Además, seleccionando un aceite mineral adecuado, se logra una viscosidad adecuada.

La invención también se refiere a un método de fabricación y uso de combustible nuclear. Este método comprende:

fabricar una pluralidad de pastillas de combustible nuclear según una cualquiera de las maneras anteriores,

disponer las pastillas de combustible nuclear en tubos de revestimiento,

disponer los tubos de revestimiento, con las pastillas de combustible nuclear, en el núcleo de un reactor de energía nuclear en una central de energía nuclear, de manera que al menos el 20%, preferiblemente al menos el 50%, lo más preferiblemente el 100%, del material de combustible nuclear en dicho núcleo se compone de pastillas fabricadas según una cualquiera de las maneras anteriores,

hacer funcionar el reactor nuclear para producir energía.

Usando las pastillas de combustible nuclear ventajosas obtenidas con el método según la presente invención en un reactor de energía nuclear real, las ventajas del combustible nuclear producido se logran por tanto en una central de reactor de energía nuclear para producir energía. El reactor de energía nuclear comprende preferiblemente varios miles de tubos de revestimiento que comprenden pastillas de combustible nuclear producidas con el método según la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de una manera de llevar a cabo el método según la invención.

La figura 2 muestra esquemáticamente un ejemplo de cómo puede variar el tamaño de grano en una pastilla producida según la presente invención en la dirección radial de la pastilla.

5 Descripción de ejemplos de la invención

Dado que un experto en la técnica conoce cómo producir pastillas de combustible nuclear a partir de un polvo, todos los detalles de un método de este tipo no se describirán en el presente documento. Sin embargo, se describen las etapas principales que son relevantes para la presente invención.

10 La figura 1 muestra esquemáticamente las etapas principales de una manera de llevar a cabo el método según la presente invención.

Se proporciona un material de combustible nuclear en forma de polvo. El material de combustible nuclear puede basarse en UO_2 , que está enriquecido con respecto a ^{235}U . El polvo también puede comprender otros materiales, por ejemplo, materiales aglutinantes, U_3O_8 , absorbedores de neutrones que pueden quemarse, formadores de poros y adyuvante de sinterización. El polvo puede contener al menos el 60%, preferiblemente al menos el 80%, de UO_2 .

15 El polvo se prensa de manera que se forma una pastilla "en verde". La pastilla en verde será porosa. Por ejemplo, el 50% de la pastilla prensada puede consistir en poros.

Se proporciona un aditivo. El aditivo es tal que aumentará el tamaño de grano de la pastilla sinterizada. El aditivo puede comprender, por ejemplo, B (que provocará granos más grandes), por ejemplo, en forma de UB_4 . Según una realización, el B está en forma de ^{11}B .

20 Según otra alternativa, el aditivo puede ser Cr_2O_3 .

El aditivo está preferiblemente en forma de partículas, es decir, un polvo. El tamaño de las partículas debe ser lo suficientemente pequeño como para que las partículas puedan penetrar en los poros en la pastilla en verde, en los que se pretende que deben penetrar las partículas. El tamaño de partícula puede ser, por ejemplo, de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$.

25 Se proporciona un líquido. El líquido puede ser un aceite mineral. El aceite mineral puede seleccionarse para tener una viscosidad deseada, por ejemplo, una viscosidad cinemática de 320 centistokes.

Se mezcla el aditivo con el líquido. Preferiblemente, las partículas de aditivo se dispersan en el líquido, es decir, el líquido se selecciona de manera que las partículas de aditivo no se disuelven en el líquido, y también de manera que el material de combustible nuclear en la pastilla en verde no se disuelve por el líquido.

30 Se pone la pastilla en verde en contacto con el líquido con el aditivo. Por ejemplo, puede sumergirse la pastilla en verde en el líquido con aditivo o puede pulverizarse el líquido con aditivo sobre la pastilla en verde.

35 Se controla la profundidad de penetración del líquido, y de ese modo del aditivo, en la pastilla en verde. Esto puede realizarse seleccionando una viscosidad adecuada del líquido o controlando la cantidad de líquido, con el aditivo, que se añade a la pastilla en verde. Esto puede realizarse, por ejemplo, pulverizando una determinada cantidad del líquido sobre la pastilla o sumergiendo la pastilla en verde en el líquido, con aditivo, durante un tiempo predeterminado. También es posible controlar la profundidad de penetración mediante el tamaño de partícula o la distribución de tamaño de partícula.

Según una manera de llevar a cabo el método según la presente invención, la profundidad de penetración se controla de manera que el aditivo sólo se añade a una porción exterior de la pastilla en verde.

40 Controlando, por ejemplo, la viscosidad del líquido, con el aditivo, o el tamaño de las partículas de aditivo, también es posible controlar en qué poros en la pastilla en verde entrará el aditivo. Por ejemplo, puede controlarse que el aditivo sólo entre sustancialmente en los poros que existen entre los granos en la pastilla en verde. Alternativamente, puede controlarse que el aditivo también entre en los poros que existen en los granos en la pastilla en verde.

45 Después se sinteriza la pastilla en verde así tratada. Esto puede realizarse mediante un procedimiento de sinterización normal, por ejemplo, en un horno que contiene diferentes zonas en el que la pastilla se calienta hasta una temperatura final de aproximadamente 1800°C .

50 El líquido se selecciona preferiblemente de manera que se evaporará durante el procedimiento de calentamiento. Puede haber una etapa de calentamiento independiente antes de la sinterización real con el fin de evaporar el líquido. Sin embargo, puede no ser necesaria ninguna etapa de calentamiento independiente de este tipo, dado que el líquido se evaporará durante el procedimiento de sinterización.

Según una manera de llevar a cabo el método según la invención, la sustancia que provoca los granos más grandes en la pastilla sinterizada también abandonará la pastilla (se evaporará) durante un procedimiento de calentamiento, por ejemplo, durante la etapa de sinterización.

5 Cuando se desea aumentar el tamaño de grano en la pastilla de combustible nuclear completa, el aditivo, y la viscosidad del líquido, pueden seleccionarse de manera que en la pastilla completa se infiltra el líquido con el aditivo. Sin embargo, tal como se explicó anteriormente, es posible controlar la profundidad de penetración del líquido con el aditivo. Según una manera preferida de llevar a cabo la presente invención, la profundidad de penetración se controla de manera que el aditivo sólo entrará sustancialmente en una porción periférica exterior de la pastilla en verde. Cuando después se sinteriza la pastilla en verde, se obtendrán granos más grandes principalmente en una
10 porción exterior de la pastilla.

La figura 2 ilustra esquemáticamente cómo puede variar el tamaño de grano en una pastilla tratada de esta manera. El eje de las x muestra el radio de la pastilla sinterizada. Por tanto, el radio $r = 1,0$ es la periferia exterior de la pastilla. El radio de la pastilla puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 4,6 mm. El eje de las y en la figura 2 muestra el tamaño de grano 2D promedio. Por tanto, la curva en la figura 2 muestra cómo varía el tamaño de grano 2D
15 promedio con el radio. Por tanto, la figura 2 ilustra que, según esta realización de la invención, se obtiene un tamaño de grano sustancialmente más grande en la porción exterior de la pastilla sinterizada. Esto tiene en particular la ventaja de que puede prevenirse o retrasarse la aparición de la HBS anteriormente descrita.

Se produce una pluralidad de pastillas de combustible nuclear según el método de la presente invención.

Se disponen las pastillas producidas en tubos de revestimiento.

20 Se disponen los tubos de revestimiento en el núcleo de un reactor de energía nuclear, de manera que el núcleo incluye varios miles de tubos de revestimiento con pastillas producidas según la presente invención.

Se hace funcionar el reactor nuclear con el fin de producir energía.

La presente invención no se limita a los ejemplos descritos en el presente documento, sino que puede variarse y modificarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

25

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de una pastilla de combustible nuclear para un reactor de energía nuclear, comprendiendo el método las siguientes etapas:
 proporcionar un material de combustible nuclear en forma de polvo,
 5 prensar el polvo de modo que se obtiene una denominada pastilla en verde,
 proporcionar un líquido que comprende un aditivo que va a añadirse a la pastilla en verde,
 poner la pastilla en verde en contacto con el líquido de manera que el líquido, con el aditivo, penetra en la pastilla,
 sinterizar la pastilla en verde así tratada,
 10 en el que dicho aditivo es tal que hay granos más grandes en el material de combustible nuclear presentes en la pastilla tras la etapa de sinterización en comparación con el tamaño de grano obtenido si se sinteriza de la misma manera una pastilla a la que no se le ha añadido ningún aditivo de este tipo.
2. Método según la reivindicación 1, en el que dicho aditivo está en forma de partículas dispersadas en dicho líquido.
- 15 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, que comprende una etapa de controlar la profundidad de penetración del líquido, y de ese modo del aditivo, en la pastilla en verde.
4. Método según la reivindicación 3, en el que dicha etapa de controlar la profundidad de penetración se realiza seleccionando una o ambas de las siguientes:
 la viscosidad del líquido con aditivo incluido,
 20 la cantidad del líquido, con el aditivo, que se añade a la pastilla en verde cuando se pone la pastilla en verde en contacto con el líquido, con el aditivo.
5. Método según la reivindicación 3 ó 4, en el que la profundidad de penetración del líquido, con el aditivo, en la pastilla en verde se controla de manera que una porción exterior de la pastilla en verde contiene sustancialmente más líquido, y de ese modo más aditivo, que una porción interior de la pastilla en verde,
 25 de manera que la pastilla sinterizada tiene un tamaño de grano más grande en la porción exterior que en la porción interior.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo penetrará en los poros que existen entre los granos en la pastilla en verde.
- 30 7. Método según la reivindicación 6, en el que dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo no penetrará, al menos no en ningún grado sustancial, en los poros que existen en los granos en la pastilla en verde.
8. Método según la reivindicación 6, en el que dicho líquido con aditivo se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido con aditivo también penetrará en los poros que existen en los granos en la
 35 pastilla en verde.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho líquido se selecciona y dicho método se realiza de manera que el líquido abandonará completamente, o al menos hasta el 99%, la pastilla antes de o durante la etapa de sinterización.
10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho aditivo constituye o incluye una sustancia que provoca dichos granos más grandes en la pastilla sinterizada, en el que dicha sustancia se selecciona y el método se realiza de manera que la sustancia abandona completamente, o al menos hasta el 90%, preferiblemente hasta al menos el 95%, más preferiblemente hasta al menos el 99%, al menos una porción exterior de la pastilla antes de y/o durante la etapa de sinterización.
- 40 11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho aditivo se compone de, o comprende, B y/o Cr.
12. Método según la reivindicación 11, en el que dicho aditivo comprende B y en el que al menos el 90% de dicho B es ¹¹B.
13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho líquido se selecciona de manera que el aditivo no se disuelve en el líquido, y de manera que el material de combustible nuclear en la

pastilla en verde no se disuelve por el líquido.

14. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho líquido es un aceite, preferiblemente un aceite mineral.

15. Método de fabricación y uso de combustible nuclear, que comprende:

5 fabricar una pluralidad de pastillas de combustible nuclear según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

disponer las pastillas de combustible nuclear en tubos de revestimiento,

10 disponer los tubos de revestimiento, con las pastillas de combustible nuclear, en el núcleo de un reactor de energía nuclear en una central de energía nuclear, de manera que al menos el 20%, preferiblemente al menos el 50%, lo más preferiblemente el 100%, del material de combustible nuclear en dicho núcleo se compone de pastillas fabricadas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

hacer funcionar el reactor nuclear para producir energía.

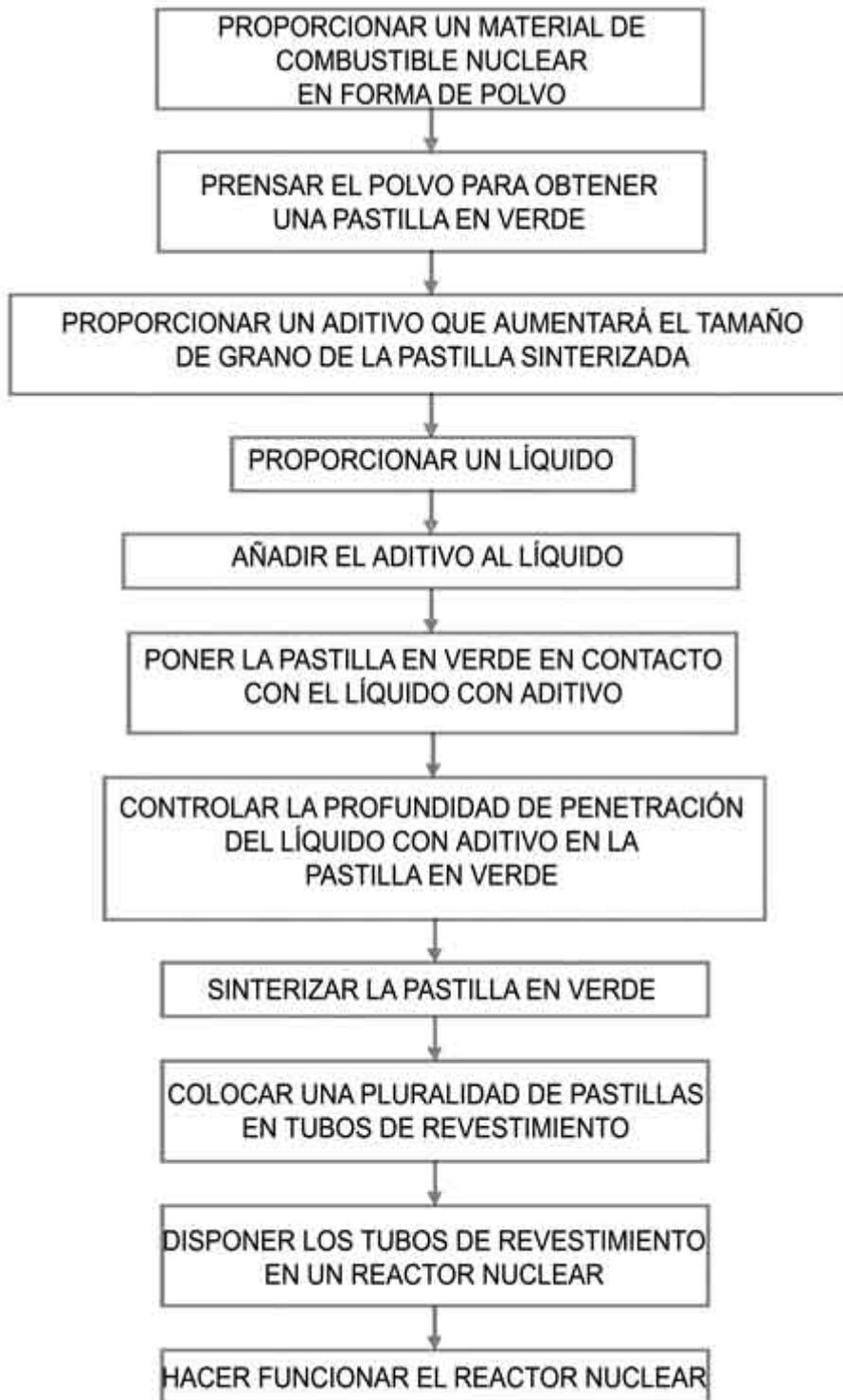


Fig. 1

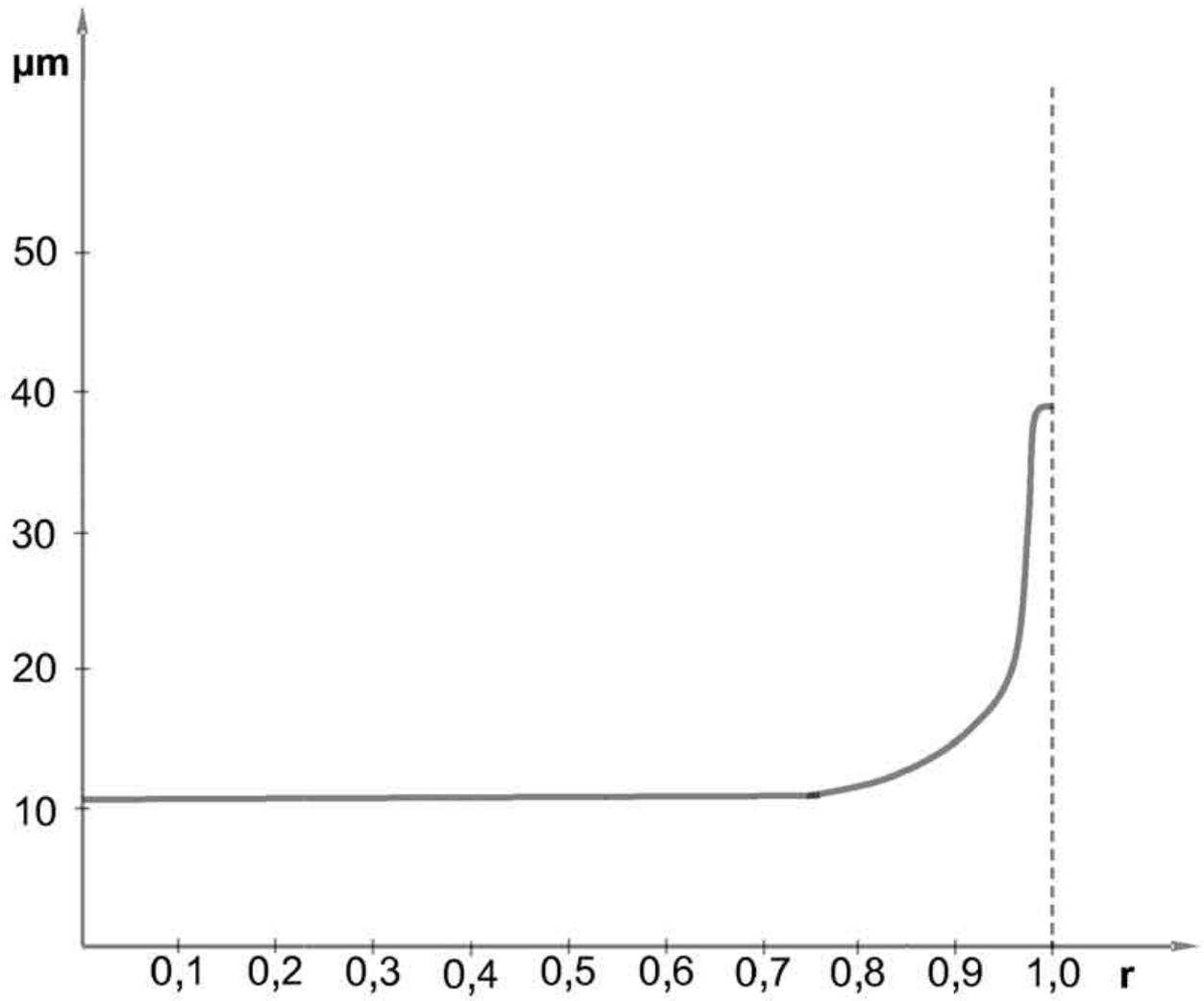


Fig. 2