

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 010**

51 Int. Cl.:

G21C 3/42 (2006.01)

G21C 3/62 (2006.01)

G21C 3/02 (2006.01)

G21C 3/18 (2006.01)

G21C 3/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2017** **E 17168130 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019** **EP 3396676**

54 Título: **Una pastilla de combustible nuclear cerámica, una barra de combustible y un conjunto combustible**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.07.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MIDDLEBURGH, SIMON CHARLES y
HALLSTADIUS, LARS**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 775 010 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

Una pastilla de combustible nuclear cerámica, una barra de combustible y un conjunto combustible

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a una pastilla de combustible nuclear cerámica para un reactor nuclear, comprendiendo la pastilla de combustible nuclear un primer material fisible de UB_2 . La invención se refiere también a una barra de combustible que comprende una vaina tubular y una pluralidad de pastillas de combustible nuclear, y a un conjunto combustible que comprende una pluralidad de barras de combustible.

Antecedentes y técnica anterior

El combustible nuclear predominante usado hoy en día comprende pastillas de combustible nuclear sinterizadas de dióxido de uranio, UO_2 . El dióxido de uranio es un combustible nuclear excelente que tiene un punto de fusión de $2865\text{ }^\circ\text{C}$. Sin embargo, existe una demanda de mejoras en determinados aspectos. Un aumento de la densidad del uranio mejoraría la economía del combustible. Un aumento de la conductividad térmica mejoraría el comportamiento en el reactor de la pastilla y, por tanto, la haría más adecuada para los reactores de la próxima generación, al confiriendo atributos que pueden ser susceptibles a los denominados combustibles tolerantes a accidentes, ATF.

El documento US 2008/031398 divulga una pluralidad de barras de combustible que contienen diferentes composiciones de elementos combustibles con combustible de actínidos solamente y elementos combustibles con combustible de actínidos y compuestos de boro, por ejemplo UB_2 . El fin de los compuestos de boro es absorber neutrones y, por tanto, el boro puede ser natural o enriquecido para aumentar la concentración del isótopo ^{10}B .

El documento EP 1 647 993 divulga un conjunto combustible que comprende al menos una pastilla de combustible con una mezcla sinterizada de combustible de actínidos y un compuesto que contiene boro, por ejemplo UB_2 . El boro puede ser boro natural o boro enriquecido con una mayor concentración del isótopo ^{10}B .

Brown *et. al.* "Neutronic performance of uranium nitride composite fuels in a PWR", hacen referencia a una investigación de posibles futuros combustibles nucleares. Uno de los combustibles es el combustible compuesto UN/UB_4 . El contenido de boro del UB_4 está 100 % enriquecido en ^{11}B .

Sumario de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar un combustible nuclear alternativo. En particular, se dirige a un combustible nuclear que cumpliría los requisitos de los denominados combustibles tolerantes a accidentes, ATF.

Este objeto se consigue mediante la pastilla de combustible nuclear definida inicialmente, que se caracteriza por que el boro del UB_2 está enriquecido para contener una concentración del isótopo ^{11}B que sea superior a la del B natural.

El isótopo del boro ^{11}B tiene una sección eficaz de neutrones muy pequeña, es decir, una absorción de neutrones pequeña. La sección eficaz de neutrones del isótopo del boro ^{11}B es de 0,0055 barns en comparación con los 3835 barns del isótopo del boro ^{10}B y los 767 barns del boro natural.

La pastilla de combustible nuclear que comprende, o que consiste en, un material fisible de UB_2 enriquecido de tal manera puede garantizar así una alta eficacia ya que se puede usar un porcentaje más elevado de los neutrones en el proceso de fisión.

El UB_2 es una cerámica con un punto de fusión $> 2400\text{ }^\circ\text{C}$ y, por tanto, se considera que es una cerámica de ultra alta temperatura UHTC.

La pastilla de combustible nuclear que comprende, o que consiste en, un material fisible de UB_2 , por tanto, puede soportar temperaturas muy elevadas, lo que la hace adecuada como combustible tolerante a accidentes, especialmente cuando se combina con su conductividad térmica superior en comparación con el UO_2 .

El UB_2 tiene una densidad de aproximadamente $12,74\text{ g/cm}^3$ y una densidad de uranio de $11,66\text{ g/cm}^3$. La pastilla de combustible nuclear que comprende, o que consiste en, UB_2 puede garantizar así una elevada eficacia del proceso de fisión. Esto es una mejora significativa en comparación con el UO_2 que tiene una densidad de aproximadamente $10,9\text{ g/cm}^3$ y una densidad de uranio de $9,7\text{ g/cm}^3$.

El UB_2 es relativamente estable en contacto con el agua y la reacción del UB_2 con agua no procede rápidamente, al menos no hasta una temperatura por encima de $600\text{ }^\circ\text{C}$ en agua y $400\text{ }^\circ\text{C}$ en aire, sin dopantes.

El hinchamiento del UB_2 durante la operación es moderado. La pastilla de combustible nuclear que comprende, o que consiste en, UB_2 puede ser adecuada para estar contenida en una vaina tubular no convencional de una

estructura de carburo de silicio, por ejemplo, propuesta como vaina para combustibles tolerantes a accidentes.

De acuerdo con una realización de la invención, la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 85 % en peso. La concentración natural del isótopo ^{11}B es de aproximadamente un 80 % en peso.

5 De acuerdo con una realización de la invención, la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 90 % en peso.

De acuerdo con una realización de la invención, la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 95 % en peso.

10 De acuerdo con una realización de la invención, la concentración del isótopo ^{11}B es de aproximadamente un 100 % en peso.

De acuerdo con una realización de la invención, la pastilla de combustible nuclear consiste en UB_2 . Las ventajas técnicas comentadas anteriormente se conseguirán con una pastilla de combustible nuclear que comprende UB_2 como único componente.

15 De acuerdo con una realización de la invención, la pastilla de combustible nuclear comprende un segundo material fisible. Las ventajas técnicas comentadas anteriormente se pueden conseguir también con una pastilla de combustible nuclear que comprende un segundo material fisible además del primer material fisible de UB_2 . La concentración del segundo material fisible puede variar dependiendo de la posición de la pastilla de combustible nuclear en la barra de combustible. Por ejemplo, la concentración del segundo material fisible puede ser de al menos un 99,9 %, al menos un 90 %, al menos un 80 %, al menos un 70 %, al menos un 60 %, al menos un 50 % o al menos un 40 % en volumen. Asimismo, la concentración del segundo material fisible puede ser como máximo de un 40 %, como máximo de un 30 %, como máximo de un 20 %, como máximo de un 10 % o como máximo de un 5 % en volumen.

De acuerdo con una realización de la invención, el al menos un segundo material fisible comprende uno de un nitruro de actínido, un siliciuro de actínido y un óxido de actínido.

30 De acuerdo con una realización de la invención, el al menos un segundo material fisible comprende uno de UN, U_3Si_2 , UO_2 , U_3Si , USi , PuN , Pu_3Si_2 , PuO_2 , Pu_3Si , PuSi , ThN , Th_3Si_2 , ThO_2 , Th_3Si y ThSi .

De acuerdo con una realización de la invención, el al menos un segundo material fisible comprende UB_x , y en el que x es mayor que 2, por ejemplo UB_4 . Esta realización genera la posibilidad de adecuar la capacidad de absorción de neutrones ajustando el contenido de boro de la pastilla de combustible nuclear sin variar el enriquecimiento del boro dentro de la pastilla de combustible nuclear o la barra de combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, el primer material fisible y el al menos un segundo material fisible se mezclan en la pastilla de combustible nuclear.

40 De acuerdo con una realización de la invención, la pastilla de combustible nuclear es una pastilla de combustible nuclear sinterizada.

45 El objeto es conseguido también por la barra de combustible definida inicialmente que comprende una vaina tubular y una pluralidad de pastillas de combustible nuclear de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones definidas anteriormente.

De acuerdo con una realización de la invención, la barra de combustible comprende una pluralidad de pastillas absorbentes que comprenden UB_2 , en las que el boro del UB_2 tiene una concentración del isótopo ^{10}B que es mayor que en el UB_2 del primer material fisible de las pastillas de combustible nuclear. La barra de combustible puede comprender, por tanto, pastillas de combustible nuclear y pastillas absorbentes. Las pastillas absorbentes se pueden adaptar para que actúen como un veneno quemable en la barra de combustible, a fin de mejorar la economía y el uso del combustible en el reactor nuclear.

50 De acuerdo con una realización de la invención, la concentración del isótopo ^{10}B en el UB_2 de las pastillas absorbentes es de al menos un 25, un 30, un 40, un 50, un 60, un 70, un 80, un 90 o un 100 % en peso.

El objeto es conseguido también por el conjunto combustible definido inicialmente que comprende una pluralidad de barras de combustible tal como se ha definido anteriormente. El conjunto combustible puede comprender barras de combustible que comprenden pastillas de combustible nuclear y barras de combustible que comprenden pastillas absorbentes.

Breve descripción de las figuras

65 La invención se describe ahora más a fondo mediante una descripción de diversas realizaciones y con referencia a las figuras adjuntas al presente documento.

- La Fig. 1 divulga esquemáticamente una perspectiva de la sección longitudinal de un conjunto combustible para un reactor nuclear.
- La Fig. 2 divulga esquemáticamente una perspectiva de la sección longitudinal de una barra de combustible del conjunto combustible de la Fig. 1.
- 5 La Fig. 3 divulga esquemáticamente una perspectiva de la sección longitudinal de una pastilla de combustible nuclear de acuerdo con una primera realización y que es adecuada para estar contenida en la barra de combustible de la Fig. 2.
- La Fig. 4 divulga esquemáticamente una perspectiva de la sección longitudinal de una pastilla de combustible nuclear de acuerdo con una segunda realización y que es adecuada para estar contenida en la barra de combustible de la Fig. 2.
- 10 La Fig. 5 divulga esquemáticamente una perspectiva de la sección longitudinal de otra barra de combustible adecuada para el conjunto combustible mostrado en la Fig. 1.

Descripción detallada de varias realizaciones

15 La Fig. 1 divulga un conjunto combustible 1 configurado para ser introducido en el núcleo de un reactor nuclear, en particular en un reactor de agua ligera, LWR, enfriado con agua, tal como un reactor de agua en ebullición, BWR, o un reactor de agua a presión, PWR. El núcleo puede comprender, o consistir en, áreas de alto porcentaje de combustión y áreas de bajo porcentaje de combustión.

20 El conjunto combustible 1 comprende un elemento inferior 2, un elemento superior 3 y una pluralidad de barras de combustible alargadas 4 que se extienden entre el elemento inferior 2 y el elemento superior 3. Las barras de combustible 4 se mantienen en sus posiciones mediante una pluralidad de espaciadores 5.

25 Asimismo, el conjunto combustible 1 puede comprender, por ejemplo cuando se usa en un BWR, un canal de flujo o caja de combustible indicada mediante líneas discontinuas 6 y que encierra las barras de combustible 4.

30 La Fig. 2 divulga una de las barras de combustible 4 del conjunto combustible 1 de la Fig. 1. La barra de combustible 4 comprende un combustible nuclear en forma de una pluralidad de pastillas de combustible nuclear 10 y una vaina tubular 11 que encierra las pastillas de combustible nuclear 10. La barra de combustible 4 comprende un tapón inferior 12 que sella el extremo inferior de la vaina tubular 11, y un tapón superior 13 que sella el extremo superior de la barra de combustible 4. Las pastillas de combustible nuclear 10 se disponen en una pila en la vaina tubular 11. La vaina tubular 11 encierra, por tanto, las pastillas de combustible 10 y un gas.

35 Un resorte 14 está dispuesto en una cámara superior 15 entre la pila de pastillas de combustible nuclear 10 y el tapón superior 13. El resorte 14 comprime la pila de pastillas de combustible nuclear 10 contra el tapón inferior 12.

40 Una primera realización de una de las pastillas de combustible nuclear 10 se divulga en la Fig. 3. La pastilla de combustible nuclear 10 es una pastilla de combustible nuclear 10 cerámica y comprende, o consiste en, un primer material fisible de UB_2 .

45 Una segunda realización de una de las pastillas de combustible nuclear 10 se divulga en la Fig. 4, de acuerdo con la cual la pastilla de combustible nuclear 10 cerámica, además del primer material fisible 20, puede comprender al menos un segundo material fisible 21. La concentración del segundo material fisible 21 puede variar dependiendo de la posición de la pastilla de combustible nuclear en la barra de combustible o en el conjunto combustible.

50 En áreas de bajo porcentaje de combustión, por ejemplo en la región inferior del núcleo del reactor nuclear, la concentración del segundo material fisible puede ser relativamente elevada y en áreas de alto porcentaje de combustión del núcleo, en las que se espera que la temperatura sea mayor, la concentración del segundo material fisible puede ser relativamente baja.

55 Por ejemplo, la concentración del segundo material fisible puede ser de un 99,9 %, de al menos un 90 %, al menos un 80 %, al menos un 70 %, al menos un 60 %, al menos un 50 % o al menos un 40 % en volumen en áreas de bajo porcentaje de combustión. En áreas de alto porcentaje de combustión la concentración del segundo material fisible 21 puede ser como máximo de un 40 %, como máximo de un 30 %, como máximo de un 20 %, como máximo de un 10 % o como máximo de un 5 % en volumen.

60 Al menos en áreas de alto porcentaje de combustión, el primer material fisible 20 puede constituir, por tanto, el principal material fisible y el segundo material fisible 21, el material fisible secundario.

El al menos un segundo material fisible 21 comprende uno de un nitruro de actínido, un siliciuro de actínido y un óxido de actínido. En las realizaciones divulgadas, el segundo material fisible 21 no comprende boro.

65 Por ejemplo, el al menos un segundo material fisible 21 puede comprender uno de UN, U_3Si_2 , UO_2 , U_3Si , USi, PuN, Pu_3Si_2 , PuO_2 , Pu_3Si , PuSi, ThN, Th_3Si_2 , ThO_2 , Th_3Si y ThSi.

Asimismo, el al menos un segundo material fisible 21 puede comprender UB_x , en el que x es mayor que 2, por ejemplo UB_4 . Tal compuesto UB_x ofrece la posibilidad de aumentar la capacidad de absorción de neutrones de la totalidad o de algunas de las pastillas de combustible nuclear 10 en la barra de combustible 4.

- 5 El primer material fisible 20 y el al menos un segundo material fisible 21, o segundos materiales fisibles 21, pueden estar íntimamente mezclados en la pastilla de combustible nuclear 10.

10 En la pastilla de combustible nuclear 10 de la primera y la segunda realizaciones, el boro del UB_2 está enriquecido para contener una concentración del isótopo ^{11}B que sea superior a la del B natural. La concentración del isótopo ^{11}B puede ser de al menos un 85 % en peso, preferentemente de al menos un 90 % en peso, más preferentemente de al menos un 95 % en peso o, lo más preferente, de aproximadamente un 100 % o de un 100 %, en peso.

15 Estas concentraciones constituyen un enriquecimiento en comparación con la concentración natural del isótopo ^{11}B , que es de aproximadamente un 80 % en peso.

20 La pastilla de combustible nuclear 10 cerámica puede ser una pastilla de combustible nuclear sinterizada. Se pueden mezclar un polvo de un primer material fisible y posiblemente un polvo del segundo o segundos materiales fisibles para formar una mezcla. La mezcla se comprime para dar un cuerpo verde, que se sinteriza después en un horno adecuado para la pastilla de combustible nuclear 10.

La pastilla de combustible nuclear 10, como alternativa, se puede fabricar también de otras formas, por ejemplo mediante fundición o extrusión.

25 La Fig. 5 muestra otra barra de combustible 4, que se diferencia de la barra de combustible 4 de la Fig. 2 en que, además de las pastillas de combustible nuclear 10, comprende también una pluralidad de pastillas absorbentes 17 por ejemplo, un 20, un 40, un 60, un 80 o un 100 % de pastillas absorbentes 17, siendo las pastillas restantes pastillas de combustible nuclear 10.

30 Asimismo las pastillas absorbentes 17 comprenden UB_2 . Sin embargo, en las pastillas absorbentes 17, el boro del UB_2 tiene una concentración del isótopo ^{10}B que es mayor que en el UB_2 del primer material fisible de las pastillas de combustible nuclear 10.

35 La concentración del isótopo ^{10}B en el UB_2 de las pastillas absorbentes 17 es de al menos un 25, un 30, un 40, un 50, un 60, un 70, un 80, un 90 o un 100 % en peso.

Las pastillas absorbentes 17 pueden comprender también UB_2 como primer material fisible y posiblemente al menos un segundo material fisible tal como se ha descrito anteriormente.

40 La presente invención no se limita a las realizaciones divulgadas y descritas en el presente documento, sino que se puede variar y modificar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una pastilla de combustible nuclear (10) cerámica para un reactor nuclear, comprendiendo la pastilla de combustible nuclear (10) un primer material fisible (20) de UB_2 , caracterizada por que el boro del UB_2 está enriquecido para tener una concentración del isótopo ^{11}B que sea superior a la del B natural.
2. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 85 % en peso.
3. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 90 % en peso.
4. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la concentración del isótopo ^{11}B es de al menos un 95 % en peso.
5. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la concentración del isótopo ^{11}B es de aproximadamente un 100 % en peso.
6. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, consistiendo la pastilla de combustible nuclear (10) en UB_2 .
7. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, comprendiendo la pastilla de combustible nuclear (10) al menos un segundo material fisible (21).
8. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el al menos un segundo material fisible (21) comprende uno de un nitruro de actínido, un siliciuro de actínido y un óxido de actínido.
9. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el al menos un segundo material fisible (21) comprende uno de UN, U_3Si_2 , UO_2 , U_3Si , USi, PuN, Pu_3Si_2 , PuO_2 , Pu_3Si , PuSi, ThN, Th_3Si_2 , ThO_2 , Th_3Si y ThSi.
10. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 y 9, en la que el al menos un segundo material fisible (21) comprende UB_x , y en el que x es mayor que 2.
11. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en la que el primer material fisible (20) y el al menos un segundo material fisible (21) están mezclados en la pastilla de combustible nuclear (10).
12. La pastilla de combustible nuclear (10) cerámica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, siendo la pastilla de combustible nuclear (10) una pastilla de combustible nuclear sinterizada.
13. Una barra de combustible (4) que comprende una vaina tubular (11) y una pluralidad de pastillas de combustible nuclear (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
14. La barra de combustible (4) de acuerdo con la reivindicación 13, comprendiendo la barra de combustible (4) una pluralidad de pastillas absorbentes (17) que comprenden UB_2 , en las que el boro del UB_2 tiene una concentración del isótopo ^{10}B que es mayor que en el UB_2 del primer material fisible (20) de las pastillas de combustible nuclear (10).
15. La barra de combustible (4) de acuerdo con la reivindicación 14, en la que la concentración del isótopo ^{10}B en el UB_2 de las pastillas absorbentes (17) es de al menos un 25, un 30, un 40, un 50, un 60, un 70, un 80, un 90 o un 100 % en peso.
16. Un conjunto combustible (1) que comprende una pluralidad de barras de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15.

