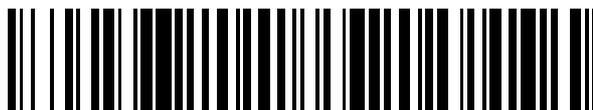


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 342**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/00** (2006.01)

**G21C 3/58** (2006.01)

**G21C 3/62** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2011 E 11701397 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.12.2014 EP 2539900**

54 Título: **Combustible nuclear, elemento combustible nuclear, conjunto combustible nuclear y procedimiento de fabricación de un combustible nuclear**

30 Prioridad:

**22.02.2010 US 709708**

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

**19.02.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HALLSTADIUS, LARS;  
LAHODA, EDWARD J.;  
WALLENIOUS, JANNE;  
JOLKKONEN, MIKAEL;  
POMIRLEANU, RADU y  
RAY, SUMIT**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 529 342 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

Combustible nuclear, elemento combustible nuclear, conjunto combustible nuclear y procedimiento de fabricación de un combustible nuclear.

5

**Antecedentes de la invención y técnica anterior**

La presente invención se refiere a una pastilla de combustible nuclear adaptada para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR, según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 2.

10

La presente invención también se refiere a un elemento combustible, a un conjunto combustible y a un procedimiento de fabricación de un combustible nuclear adaptado para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR.

15

En los reactores nucleares refrigerados por agua, incluyendo reactores de agua ligera, LWR, y reactores de agua pesada, HWR, se utiliza habitualmente un combustible nuclear que incluye  $UO_2$ . El  $UO_2$  es ventajoso debido al hecho de que presenta una alta resistencia a la disolución en agua.

20

El documento JP-11202072 da a conocer un combustible nuclear del tipo definido inicialmente. El combustible nuclear está destinado para su utilización en un reactor refrigerado por agua. El combustible nuclear comprende partículas de óxidos o nitruros y está contenido en una pastilla de combustible. El combustible está encerrado en una cubierta o película protectora realizada en, por ejemplo, óxido de aluminio, grafito, carburo de silicio o un metal. El fin de la película protectora es impedir que el agua penetre en la pastilla de combustible y alcance el nitruro de uranio.

25

El documento WO 2007/011382 da a conocer un combustible nuclear de UN modificado o PuN modificado. El combustible nuclear presenta un aditivo de un nitruro adicional, tal como por lo menos uno de nitruro de circonio, nitruro de torio, nitruro de hafnio, nitruro de titanio o nitruros de tierras raras u otros nitruros de actínidos. El combustible nuclear no está adaptado para un reactor refrigerado por agua, sino para un tipo particular de reactor denominado reactor autónomo pequeño, sellado y transportable, SSTAR, que es un reactor reproductor, y por tanto el combustible nuclear de UN presenta un contenido muy alto del isótopo  $^{235}U$ .

30

El documento US nº 4.059.539 da a conocer un combustible nuclear que consiste en (U,Zr)N en el que ZrN se disuelve en una matriz de UN. El combustible está adaptado para un reactor reproductor.

35

El documento US nº 7.582.232 se refiere a un procedimiento de fabricación de un combustible nuclear de nitruro de actínidos, por ejemplo nitruro de uranio. La fabricación comienza proporcionando un óxido de actínido, tras lo cual se añade fluoruro de hidrógeno con 15N enriquecido. En la reivindicación 3 se propone añadir óxido de circonio al óxido de actínido inicial en una fase temprana de la producción, es decir antes de que el combustible se convierta en un nitruro de actínido. El óxido de circonio parece convertirse en mononitruro de circonio durante el procedimiento de fabricación.

40

El documento GB 918 044 da a conocer diversas composiciones de combustibles nucleares de óxido que contienen U o Th junto con un constituyente metálico.

45

El documento US nº 3.213.032 da a conocer un procedimiento para sinterizar nitruro de uranio a altas densidades, y sugiere añadir adyuvantes de sinterización para permitir densidades sinterizadas que se aproximan a la densidad teórica de UN.

50

**Sumario de la invención**

Es conocido por tanto utilizar un combustible nuclear basado en nitruro de uranio en reactores reproductores, que no se refrigeran por agua. El UN presenta ventajas económicas y técnicas en relación con  $UO_2$ . El objetivo de la presente invención es por tanto proporcionar un combustible nuclear adaptado para reactores refrigerados por agua y basado en UN.

55

Este objetivo se alcanza mediante el combustible nuclear definido inicialmente, que se caracteriza por las características de caracterización de las reivindicaciones 1 y 2.

60

El UN puro contiene aproximadamente un 40% más de átomos de uranio que  $UO_2$ . Un combustible nuclear basado en UN dará como resultado por tanto una mejora significativa de los costes de funcionamiento, y por tanto de los costes de generación de electricidad. Además, el UN presenta una conductividad térmica más alta, que, además y en contraposición con  $UO_2$ , aumenta con la temperatura. La conductividad térmica es aproximadamente 3 - 8 veces más alta para UN que para  $UO_2$  dependiendo de la temperatura. En consecuencia, un combustible nuclear basado

65

en UN no se calentará en el mismo grado que  $\text{UO}_2$  durante el funcionamiento del reactor nuclear, lo que es ventajoso por varios motivos, por ejemplo menos expansión térmica, menos liberación de gases de fisión y menos energía almacenada, siendo esta última ventaja importante en el caso de un LOCA, accidente con pérdida de refrigerante.

5 El UN no es ventajoso en comparación con  $\text{UO}_2$  ya que el UN es más reactivo con el agua que  $\text{UO}_2$ . Ésta es una limitación potencial para su utilización en reactores refrigerados por agua, por ejemplo, un LWR, en el que no puede excluirse una fuga en las vainas de combustible. Aunque  $\text{UO}_2$  reacciona lentamente con el agua en las condiciones de LWR (de  $250^\circ\text{C}$  a  $350^\circ\text{C}$ ), la velocidad de reacción de UN es tal que los gases producidos se expanden y rompen las vainas. En consecuencia, hasta ahora no ha sido posible utilizar UN en reactores refrigerados por agua, en los que hay un riesgo de que el agua penetre en las vainas de combustible y entre en contacto con el combustible nuclear, véase el artículo *XPS and XRD studies of corrosion of uranium nitrate by water* de S. Sunder y N. H. Miller en *Journal of Alloys and Compounds*, páginas 271-273 (1998). Los autores concluyen que el UN no puede utilizarse en reactores refrigerados por agua.

15 Introduciendo un aditivo según la presente invención, la velocidad de reacción de UN con agua puede reducirse hasta un nivel aceptable. El UN con el aditivo o aditivos definido(s) también será estable en un entorno que contiene agua. Los aditivos que van a añadirse al compuesto que contiene uranio reaccionarán con el agua para formar una capa protectora estanca, insoluble en agua sobre el contenido en UN en todas las superficies, incluyendo superficies agrietadas.

20 Los aditivos definidos cumplen con los siguientes criterios importantes. No reaccionan con las vainas utilizadas comúnmente hechas de una aleación a base de circonio, tal como Zircaloy-2 y Zircaloy-4. Presentan todos una sección transversal de absorción de neutrones relativamente baja. Los aditivos preferidos y ejemplificados en la presente memoria presentan todos una sección transversal de neutrones en el mismo intervalo que Zr. Además, los aditivos son todos estables en entornos radiactivos. Los aditivos pueden añadirse en forma elemental o como un compuesto, tal como un óxido, un nitruro, un hidruro etc. También pueden estar presentes en el combustible nuclear terminado en forma elemental o como un compuesto, por ejemplo un óxido, un nitruro, un hidruro etc., tal como  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mo}_y\text{O}_x$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrH}_3$ . Los aditivos se acumularán en los bordes de los granos, e impedirán la penetración del agua en el UN en todas las superficies expuestas, incluyendo superficies agrietadas.

25 Los aditivos definidos presentan velocidades de corrosión muy bajas en el agua. Se ha mostrado en trabajos anteriores que Zr en forma de ZrN es eficaz en la protección de combustibles de PuN frente al agua al nivel del 70% en átomos. Se ha mostrado que aditivos de Mo metálico a U metálico eliminan la corrosión de U metálico al nivel del 5 al 19% en volumen. Por tanto, se cree que la adición de compuestos de nitruro, óxido o hidruro de Zr, Al, Mo, Si y U a UN debe proteger la mayoría del UN en la matriz de combustible. Con respecto a un aditivo que comprende U o un compuesto de uranio para proteger UN, debe observarse que, por ejemplo, si se añade U metálico a UN, entonces tras la exposición al agua, el U metálico se oxidará para dar  $\text{UO}_2$  que protegerá el UN subyacente.

35 Según una forma de realización de la invención, el contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio comprende por lo menos el 60% en peso del isótopo  $^{15}\text{N}$ , preferentemente por lo menos el 80% en peso del isótopo  $^{15}\text{N}$  y todavía más preferentemente por lo menos el 90% en peso del isótopo  $^{15}\text{N}$ . Está presente nitrógeno de manera natural como el 99,634% de  $^{14}\text{N}$  (estable con 7 neutrones) y el 0,366% de  $^{15}\text{N}$  (estable con 8 neutrones).  $^{14}\text{N}$  presenta una alta sección transversal de absorción. Enriqueciendo el nitrógeno natural en  $^{15}\text{N}$ , puede impedirse o minimizarse la absorción parásita de neutrones por  $^{14}\text{N}$ .

45 Según la invención, el aditivo incluye por lo menos uno de  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mo}_y\text{O}_x$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrH}_3$ , el elemento Mo y el elemento Si, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior al 30% en volumen del combustible nuclear. En consecuencia, para mantener altas densidades volumétricas de uranio, la cantidad de aditivos que no contienen uranio debe ser inferior al 30% en volumen. A este nivel, la densidad de uranio global será más alta que la de  $\text{UO}_2$ , es decir se mantendrán buenas densidades volumétricas de uranio en el combustible nuclear.

50 Según la invención, el aditivo incluye por lo menos uno de  $\text{U}_3\text{Si}_2$ ,  $\text{ZrUAl}$ ,  $\text{ZrUSi}$ ,  $\text{ZrUH}$ ,  $\text{U}_3\text{Si}$ ,  $\text{U-5Nb-5Zr}$ ,  $\text{U-3Nb-1,5Zr}$ ,  $\text{U-9Mo}$ ,  $\text{U-6Mo}$ ,  $\text{U-1,5Mo-1,0Zr}$ ,  $\text{U-10Zr}$  y  $\text{U}_3\text{SiAl}$  y el elemento U, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior al 80% en volumen del combustible nuclear. En consecuencia, para mantener altas densidades volumétricas de uranio, la cantidad de aditivos que contienen uranio puede ser de hasta aproximadamente el 80% en volumen. A este nivel, la densidad de uranio global será más alta que la de  $\text{UO}_2$ , es decir se mantendrán buenas densidades volumétricas de uranio en el combustible nuclear.

60 Según una forma de realización de la invención, el combustible nuclear se proporciona en forma de una pastilla de combustible nuclear. Ventajosamente, la pastilla de combustible nuclear puede formarse a través de sinterización de un polvo del compuesto que contiene uranio y dicho por lo menos un aditivo.

65 El objetivo también se alcanza mediante el elemento combustible definido en la reivindicación 6, y mediante el conjunto combustible definido en la reivindicación 8.

Además, el objetivo se alcanza mediante el procedimiento definido en las reivindicaciones 9 y 10.

Según una forma de realización, la temperatura de sinterización puede ser de por lo menos 1800°C, por lo menos 2000°C, preferentemente por lo menos 2100°C, lo más preferentemente por lo menos 2200°C.

5

### Breve descripción de los dibujos

La presente invención se explica a continuación con mayor detalle a partir de una descripción de diversas formas de realización y ejemplos, y haciendo referencia a los dibujos adjuntos a la misma.

10

La figura 1 da a conocer esquemáticamente una vista lateral en sección parcial de un conjunto combustible para un BWR.

15

La figura 2 da a conocer esquemáticamente una vista lateral de un conjunto combustible para un PWR.

La figura 3 da a conocer la vista en sección longitudinal de un elemento combustible del conjunto combustible de la figura 1 o 2.

20

### Descripción detallada de diversas formas de realización y ejemplos de la invención

25

La figura 1 representa un conjunto 1 combustible para su utilización en reactores de agua ligera refrigerados por agua, LWR, y de manera más precisa un reactor de agua en ebullición, BWR. El conjunto 1 combustible comprende partes conocidas incluyendo un elemento inferior 2, un elemento superior 3 y una pluralidad de elementos combustibles en forma de barras 4 de combustible alargadas que se extienden entre el elemento inferior 2 y el elemento superior 3. Las barras 4 de combustible se mantienen en sus posiciones por medio de una pluralidad de espaciadores 5, uno de los cuales se muestra en la figura 1. Además, el conjunto combustible comprende un canal 6 de flujo o caja de combustible, que rodea y encierra las barras 4 de combustible.

30

La figura 2 representa un conjunto 1 combustible para su utilización en reactores de agua ligera refrigerados por agua, LWR, y de manera más precisa un reactor de agua a presión, PWR. El conjunto 1 combustible comprende partes conocidas incluyendo un elemento inferior 2, un elemento superior 3 y una pluralidad de elementos combustibles en forma de barras 4 de combustible alargadas que se extienden entre el elemento inferior 2 y el elemento superior 3. Las barras 4 de combustible se mantienen en sus posiciones por medio de una pluralidad de espaciadores 5.

35

La figura 3 muestra un único elemento combustible diseñado como barra 4 de combustible del tipo utilizado en los conjuntos 1 combustibles de las figuras 1 y 2. La barra 4 de combustible comprende un combustible nuclear en forma de una pluralidad de pastillas 10 de combustible y unas vainas en forma de un tubo 11 de vainas, un tapón inferior 12 y un tapón superior 13. Las pastillas 10 de combustible están dispuestas en una pila proporcionada en el tubo 11 de vainas. El tubo 11 de vainas encierra por tanto las pastillas 10 de combustible y un gas. Un resorte 14 está dispuesto en una cámara 15 de empuje superior y presiona las pastillas de combustible hacia el tapón inferior 12.

40

El combustible nuclear de los elementos combustibles descritos anteriormente comprende un compuesto que contiene uranio que consiste en UN. El contenido en uranio del compuesto que contiene uranio comprende por lo menos los isótopos  $^{238}\text{U}$  y  $^{235}\text{U}$ . El contenido en uranio está enriquecido con respecto a  $^{235}\text{U}$  en relación con la composición natural del uranio, pero el contenido en uranio es inferior a 10, 9, 8, 7, 6 o el 5% en peso del isótopo  $^{235}\text{U}$ .

45

El combustible nuclear comprende, además de uranio y nitrógeno, un aditivo. El fin del aditivo es principalmente reducir la velocidad de reacción de UN con el agua. El aditivo consiste en, o consiste sustancialmente en, por lo menos un elemento, en forma elemental o como un compuesto, seleccionado del grupo que consiste en Zr, Mo, Si, Al, Nb y U. El/los elemento(s) o compuesto(s) que forma(n) el aditivo está(n) distribuido(s) de manera homogénea en el elemento combustible.

50

El nitrógeno natural está compuesto por el 99,634% de  $^{14}\text{N}$  (estable con 7 neutrones) y el 0,366% de  $^{15}\text{N}$  (estable con 8 neutrones).  $^{15}\text{N}$  presenta una sección transversal de absorción de neutrones significativamente más baja que  $^{14}\text{N}$ , que presenta una sección transversal de absorción relativamente alta. Para minimizar o reducir la absorción parásita de neutrones, el contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio se enriquece por tanto con respecto a  $^{15}\text{N}$ . El contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio puede comprender por tanto por lo menos el 60, por lo menos el 70, por lo menos el 80, por lo menos el 90, por lo menos el 95 o por lo menos el 98% en peso del isótopo  $^{15}\text{N}$ .

55

Por tanto, el aditivo puede comprender o consistir en uno o varios de los elementos mencionados anteriormente en forma elemental o como un compuesto. Los compuestos pueden ser por ejemplo óxidos, nitruros, hidruros, etc. Los ejemplos de aditivos adecuados incluyen por lo menos uno de  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mo}_y\text{O}_x$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrH}_3$ , el elemento

60

65

Mo, el elemento Si,  $U_3Si_2$ , ZrUAl, ZrUSi, ZrUH,  $U_3Si$ , U-5Nb-5Zr, U-3Nb-1,5Zr, U-9Mo, U-6Mo, U-1,5Mo-1,0Zr, U-10Zr y  $U_3SiAl$ , y el elemento U.

5 Debe apreciarse que el aditivo puede comprender o consistir en uno solo de cualquiera de estos elementos o compuestos. El aditivo también puede comprender o consistir en cualquier combinación de dos o más de cualquiera de estos elementos o compuestos.

10 Un primer grupo de estos aditivos incluye por lo menos uno de los elementos Mo y Si, y/o por lo menos uno de los compuestos  $ZrH_2$ ,  $Si_3N_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mo_yO_x$  y  $ZrH_3$ .

15 En este primer grupo los elementos o compuestos no contienen uranio o cualquier otro elemento fisionable, lo que limita la cantidad del aditivo para mantener una alta densidad volumétrica de uranio en el combustible nuclear. En consecuencia, la cantidad del aditivo para el primer grupo debe ser igual o inferior al 30% en volumen del combustible nuclear. Ventajosamente, la cantidad del aditivo para este grupo puede ser igual o inferior a 25, 20, 15 o 10% en volumen del combustible nuclear. La cantidad del aditivo para este grupo es igual a o mayor del 2, 5, 7 o 10% en volumen del combustible nuclear. Los aditivos del primer grupo reaccionarán con el agua para formar una capa protectora estanca, insoluble en agua sobre el contenido en UN.

20 La cantidad del aditivo, o de manera más precisa el porcentaje en peso del aditivo, puede ser más pequeño para el aditivo en forma elemental que para el aditivo en forma de un compuesto.

Un segundo grupo de los aditivos incluye el elemento U y/o por lo menos uno de los compuestos  $U_3Si_2$ , ZrUAl, ZrUSi, ZrUH,  $U_3Si$ , U-5Nb-5Zr, U-3Nb-1,5Zr, U-9Mo, U-6Mo, U-1,5Mo-1,0Zr, U-10Zr y  $U_3SiAl$ .

25 Los aditivos de este segundo grupo incluyen uranio, lo que significa que la cantidad del aditivo puede ser más alta que para el primer grupo para mantener una alta densidad volumétrica de uranio en el combustible nuclear. En consecuencia, la cantidad del aditivo para el segundo grupo debe ser igual o inferior al 80% en volumen del combustible nuclear. Ventajosamente, la cantidad del aditivo para el segundo grupo puede ser igual o inferior a 70, 60, 50, 40, 30, 20 o 10% en volumen del combustible nuclear. La cantidad del aditivo para este grupo es igual a o mayor de 2, 5, 7 o 10% en volumen del combustible nuclear. Los compuestos que contienen uranio del segundo grupo reaccionarán con el agua para formar una capa protectora estanca, insoluble en agua sobre el contenido en UN. Un aditivo que comprende el elemento U, tras su exposición al agua, se oxidará para proporcionar  $UO_2$ , lo que protegerá el UN subyacente.

35 Tal como se mencionó anteriormente el combustible nuclear puede realizarse como un cuerpo sólido sinterizado, tal como dicha pastilla 10 de combustible nuclear. La pastilla 10 de combustible puede presentar una forma cilíndrica, preferentemente una forma cilíndrica circular, y puede ser anular.

40 El combustible nuclear puede fabricarse a través de un procedimiento adecuado que comprende las siguientes etapas:

Se proporciona uranio, enriquecido con respecto a  $^{235}U$ , por ejemplo en forma de un polvo.

45 Se proporciona nitrógeno, enriquecido con respecto a  $^{15}N$ , por ejemplo en forma de un polvo.

Se mezclan uranio y nitrógeno para formar un compuesto homogéneo que contiene uranio que consiste en UN. La reacción puede consistir en, pero sin limitarse a, nitruración directa de uranio metálico o nitruración carbotérmica de óxido de uranio.

50 Se añade al compuesto que contiene uranio un aditivo, tal como se definió anteriormente, en forma de un polvo.

Se mezclan el compuesto que contiene uranio y el aditivo para formar una mezcla homogénea, por ejemplo en forma de un polvo. Como una forma de realización alternativa, el aditivo puede introducirse de tal manera que cubra y proteja los granos de polvo individuales que contienen uranio.

55 La mezcla también puede sinterizarse por medio de un procedimiento de sinterización adecuado a presión de sinterización y a temperatura de sinterización para proporcionar un cuerpo sólido sinterizado, por ejemplo una pastilla de combustible nuclear cilíndrica. La temperatura de sinterización es de por lo menos  $1800^{\circ}C$ , por lo menos  $2000^{\circ}C$ , preferentemente por lo menos  $2100^{\circ}C$ , todavía más preferentemente por lo menos  $2200^{\circ}C$ .

60 La invención no se limita a las formas de realización y los ejemplos descritos anteriormente, sino que puede cambiarse y modificarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Combustible nuclear en forma de una pastilla (10) de combustible nuclear adaptada para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR,
- comprendiendo el combustible nuclear
- 10 - un compuesto que contiene uranio que consiste en UN, en el que el contenido en uranio del compuesto que contiene uranio comprende menos de 10% en peso del isótopo <sup>235</sup>U, y
- un aditivo que consiste en o que consiste sustancialmente en por lo menos uno de ZrH<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mo<sub>y</sub>O<sub>x</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrH<sub>3</sub>, Mo en forma elemental y Si en forma elemental, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior a 30% en volumen del combustible nuclear,
- 15 caracterizado por que la pastilla (10) de combustible nuclear se forma a través de la sinterización de un polvo del compuesto que contiene uranio y un polvo del aditivo, y por que el aditivo está distribuido de manera homogénea en el combustible.
- 20 2. Combustible nuclear en forma de una pastilla (10) de combustible nuclear adaptada para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR,
- comprendiendo el combustible nuclear
- 25 - un compuesto que contiene uranio que consiste en UN, en el que el contenido en uranio del compuesto que contiene uranio comprende menos de 10% en peso del isótopo <sup>235</sup>U, y
- un aditivo, caracterizado por que el aditivo consiste en o consiste sustancialmente en por lo menos uno de U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>, ZrUAl, ZrUSi, ZrUH, U<sub>3</sub>Si, U-5Nb-5Zr, U-3Nb-1,5Zr, U-9Mo, U-6Mo, U-1,5Mo-1,0Zr, U-10Zr, U<sub>3</sub>SiAl y U en forma elemental, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior a 80% en volumen del combustible nuclear,
- 30 en el que la pastilla (10) de combustible nuclear se forma a través de la sinterización de un polvo del compuesto que contiene uranio y un polvo del aditivo, y por que el aditivo está distribuido de manera homogénea en el combustible.
- 35 3. Combustible nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio comprende por lo menos 60% en peso del isótopo <sup>15</sup>N.
- 40 4. Combustible nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio comprende por lo menos 70% en peso del isótopo <sup>15</sup>N.
- 45 5. Combustible nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el contenido en nitrógeno del compuesto que contiene uranio comprende por lo menos 80% en peso del isótopo <sup>15</sup>N.
6. Elemento combustible que comprende una vaina y un combustible nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.
- 50 7. Elemento combustible según la reivindicación 6, en el que el elemento combustible está diseñado como una barra (4) de combustible alargada.
8. Conjunto (1) combustible que comprende una pluralidad de elementos combustibles según cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7.
- 55 9. Procedimiento de fabricación de un combustible nuclear en forma de una pastilla (10) de combustible nuclear adaptada para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 60 proporcionar un polvo de un compuesto que contiene uranio que consiste en UN, en el que el contenido en uranio del compuesto que contiene uranio comprende menos de 10% en peso del isótopo <sup>235</sup>U,
- añadir al compuesto que contiene uranio un polvo de un aditivo que consiste en o que consiste sustancialmente en por lo menos uno de ZrH<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mo<sub>y</sub>O<sub>x</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrH<sub>3</sub>, Mo en forma elemental y Si en forma elemental, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior a 30% en volumen del combustible nuclear,
- 65

mezclar el compuesto que contiene uranio y el aditivo para una mezcla de polvo, y

sinterizar la mezcla a presión de sinterización y a temperatura de sinterización para una pastilla de combustible nuclear.

5 10. Procedimiento de fabricación de un combustible nuclear en forma de una pastilla (10) de combustible nuclear adaptada para su utilización en un reactor nuclear refrigerado por agua, incluyendo reactores de agua ligera LWR, tales como reactores de agua en ebullición BWR y reactores de agua a presión PWR, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

10 proporcionar un polvo de un compuesto que contiene uranio que consiste en UN, en el que el contenido en uranio del compuesto que contiene uranio comprende menos de 10% en peso del isótopo <sup>235</sup>U,

15 añadir al compuesto que contiene uranio un polvo de un aditivo que consiste en o consiste sustancialmente en por lo menos uno de U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>, ZrUAl, ZrUSi, ZrUH, U<sub>3</sub>Si, U-5Nb-5Zr, U-3Nb-1,5Zr, U-9Mo, U-6Mo, U-1,5Mo-1,0Zr, U-10Zr, U<sub>3</sub>SiAl y U en forma elemental, en el que la cantidad del aditivo es igual o inferior a 80% en volumen del combustible nuclear,

20 mezclar el compuesto que contiene uranio y el aditivo para una mezcla de polvo, y

sinterizar la mezcla a presión de sinterización y a temperatura de sinterización para una pastilla de combustible nuclear.

25 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, en el que la temperatura de sinterización es de por lo menos 1800°C, por lo menos 2000°C, preferentemente por lo menos 2100°C, todavía más preferentemente por lo menos 2200°C.

Fig 1

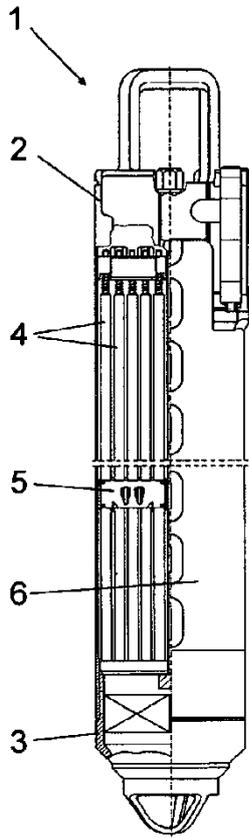


Fig 2

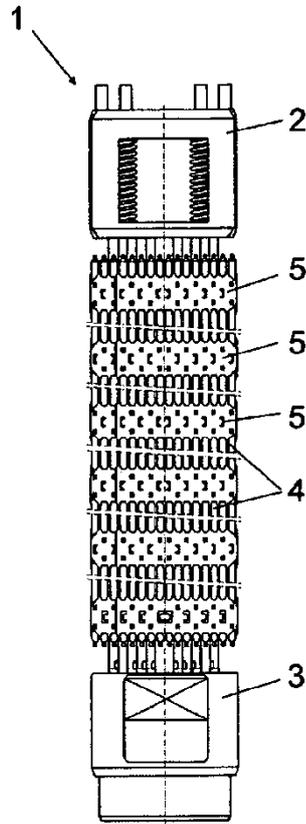


Fig 3

