

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 796**

51 Int. Cl.:

C04B 35/51 (2006.01)

C04B 35/632 (2006.01)

G21C 21/02 (2006.01)

G21C 3/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2004 E 04805298 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **12.07.2006 EP 1678724**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de pastillas de combustible nuclear**

30 Prioridad:

29.10.2003 FR 0312687

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

05.02.2013

73 Titular/es:

**SOCIÉTÉ FRANCO-BELGE DE FABRICATION DE
COMBUSTIBLES - FBFC (100.0%)**

54 avenue de la déportation, Z.I.

Les Bérauds BP 1114

26104 Romans sur Isère, FR

72 Inventor/es:

FEUGIER, ANDRÉ;

DE TOLLENAERE, LUC;

PERES, VÉRONIQUE y

GYSEN, MARIJN

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 394 796 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de pastillas de combustible nuclear.

5 La invención se refiere a un procedimiento de fabricación de pastillas de combustible nuclear que contienen principalmente dióxido de uranio UO_2 , y utilizadas para la fabricación de elementos de combustible para un reactor nuclear.

10 Los elementos de combustible para los reactores nucleares y en particular para los reactores nucleares enfriados por agua a presión comprenden generalmente unos tubos de gran longitud cerrados en sus extremos en los que se apilan unas pastillas de combustible cuyo diámetro es generalmente un poco inferior a 10 mm y la longitud está comprendida entre 10 mm y 20 mm.

15 Las pastillas de combustible se obtienen mediante sinterización, generalmente alrededor de $1700^\circ C$, de un material que contiene principalmente dióxido de uranio UO_2 , que se obtiene a partir de un polvo resultante de un procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio UF_6 .

20 Se conocen diferentes procedimientos para obtener mediante conversión del hexafluoruro de uranio UF_6 , unos óxidos de uranio y en particular el dióxido de uranio UO_2 . Se conoce en particular un procedimiento de conversión denominado "procedimiento de conversión por vía seca" del hexafluoruro de uranio gaseoso que es un procedimiento de pirohidrólisis del hexafluoruro de uranio por vapor de agua. Este procedimiento permite obtener
25 principalmente el dióxido UO_2 y otros óxidos en proporción variable tales como U_3O_8 o U_3O_7 , según la dirección del procedimiento de conversión del UF_6 , el polvo obtenido mediante los procedimientos por vía seca es un polvo poco denso (densidad generalmente inferior a 1 g/cm^3) constituido por unas cristalitas de dimensiones muy pequeñas ($0,1 \mu\text{m}$ a $0,4 \mu\text{m}$) más o menos aglomeradas entre sí. Dicho polvo presenta una colabilidad mediocre (medida mediante los ensayos habituales de colabilidad).

30 En el marco de la fabricación de las pastillas de combustible, es necesario realizar, previamente a la sinterización, la fabricación de pastillas en crudo, mediante compresión en frío de una materia granular. La fabricación de las pastillas en crudo por compresión necesita introducir la materia granular en unas matrices cilíndricas estrechas y profundas, a unas cadencias elevadas en el caso de una fabricación industrial, de manera que la materia granular para la fabricación de las pastillas en crudo que serán sometidas a continuación a la sinterización debe presentar una buena colabilidad y unas propiedades que permiten obtener unas pastillas en crudo suficientemente resistentes para sufrir
35 unas manipulaciones antes de la sinterización.

40 Se conocen diversos procedimientos (por ejemplo adición de polvo de U_3O_8 de calidad bien definida tal como se describe, por ejemplo, en la patente francesa 2 599 883 y la patente europea 0 249 549) para mejorar las características mecánicas de las pastillas en crudo. Estos procedimientos se basan generalmente en la adición en cantidad regulada de un óxido tal como U_3O_8 o U_3O_7 al UO_2 . Generalmente, se debe incorporar también a la materia granular para la fabricación de las pastillas en crudo, unos aditivos tales como unos lubricantes y unas materias porógenas que permiten facilitar el conformado de las pastillas en crudo y regular la porosidad y la densidad de las pastillas de combustible sinterizadas.

45 Los polvos de óxido de uranio obtenidos mediante los procedimientos de conversión del hexafluoruro de uranio, y en particular los procedimientos por vía seca, no se pueden utilizar sin transformación para la fabricación de las pastillas en crudo. Generalmente, es necesario un gran número de operaciones para obtener una materia granular de buena colabilidad, que tiene una densidad sustancialmente superior a la densidad del polvo y que presenta las características deseadas para la obtención de pastillas en crudo de buena calidad. Es necesario en particular
50 aumentar y homogeneizar la granulometría de los polvos, para obtener unas partículas de una dimensión suficiente y de forma que mejora la colabilidad y la compresibilidad.

55 De manera clásica, se realiza en una primera etapa, en el taller de conversión, un tamizado de los polvos obtenidos directamente mediante el procedimiento de conversión por vía seca y/o la trituración de partículas duras (por ejemplo fluoradas) retenidas durante el tamizado, la homogeneización de los polvos, su carga y su almacenamiento con vistas a su utilización en el taller de fabricación de pastillas que puede estar o no situado cerca del taller de conversión.

60 Se realiza después la carga de los polvos en el mezclador del taller de fabricación de pastillas, con la incorporación de aditivos, en particular de porógenos, y después la mezcla y la homogeneización de los polvos y aditivos, y el precompactado de la mezcla de los polvos en una prensa para obtener unos elementos precompactados. Los elementos pre-compactados son sometidos a continuación a una operación de granulación en un triturador o un granulador, y después a una operación de esferoidización para obtener una forma regular de las partículas parecida a una forma esférica, en un recipiente de agitación. Se añade después un lubricante que se mezcla a las partículas
65 por agitación antes de realizar la compresión para la obtención de pastillas en crudo que se sintetizarán después.

El paso del polvo directamente obtenido por el procedimiento de conversión de UF_6 a la materia particulada que puede ser comprimido en forma de pastillas en crudo necesita por lo tanto numerosas operaciones que deben ser realizadas todas en condiciones satisfactorias para permitir la obtención de pastillas en crudo y de pastillas sinterizadas de buena calidad. El conjunto de las operaciones necesita numerosos dispositivos diferentes tales como unos mezcladores, unas prensas (o compactadores de rodillos) y unos trituradores granuladores en los cuales las causas de averías son múltiples. El riesgo principal encontrado es la ruptura de un tamiz a la salida de un granulador que es necesario para asegurar una granulometría homogénea y satisfactoria de la materia particulada utilizada para la fabricación de las pastillas en crudo. En el caso de una ruptura de tamiz, los productos obtenidos deben ser tratados de nuevo con el fin de eliminar los residuos metálicos que proceden de la destrucción del tamiz y garantizar una granulometría conveniente para la operación de fabricación de las pastillas.

Se conocen asimismo unos procedimientos de fabricación de polvo de óxido de uranio por vía húmeda que pueden utilizar un tratamiento por atomización de una suspensión. Los polvos obtenidos por los procedimientos "vía húmeda" tienen unas características de densidad y de colabilidad superiores a los polvos obtenidos por los procedimientos por vía seca, y unas características de granulometría que no se pueden obtener actualmente, directamente por los procedimientos por vía seca conocidos. Sin embargo, estos polvos deben sufrir también unos tratamientos de acondicionamiento antes de ser puestos en forma de pastillas en crudo sometidas después a la sinterización. Además, se desea cada vez más sustituir los procedimientos por vía húmeda por los procedimientos por vía seca por razones relacionadas con la seguridad y el medioambiente, y resulta necesario asegurar el abastecimiento de las fábricas que utilizan tradicionalmente unos productos obtenidos por vía húmeda con unos polvos de UO_2 obtenidos por vía seca.

En particular, en el caso de la fabricación de combustible mixto MOX constituido por una mezcla de dióxido de uranio UO_2 y de dióxido de plutonio PuO_2 , resulta necesario asegurar el abastecimiento de las unidades de fabricación en polvos de UO_2 obtenidos por vía seca.

Los procedimientos de fabricación de pastillas de óxido mixto de uranio y de plutonio utilizados actualmente necesitan la utilización de polvos de UO_2 que tengan una buena colabilidad y compuestos por granulados preferentemente de forma regular, una densidad elevada, próxima a 2 g/cm^3 , una granulometría regulada a un valor inferior a 250 nm para obtener una buena mezcla del óxido de uranio y del óxido de plutonio, y unas características que permiten obtener unas pastillas en crudo que tengan una buena resistencia mecánica.

Con el fin de conferir a los polvos por vía seca unas características satisfactorias de densidad, de colabilidad y de granulometría, se ha propuesto utilizar un procedimiento de secado por atomización de los polvos de óxido de uranio obtenidos por vía seca, que se puede realizar industrialmente sobre un polvo de óxido de uranio que contiene una cantidad limitada en isótopo U_{235} .

Se ha propuesto asimismo, para mejorar la colabilidad, la densidad y la granulometría de los polvos por vía seca, fabricar unos gránulos por precompactado y después realizar una granulación. Sin embargo, los granulados obtenidos tienen un tamaño demasiado elevado (hasta $1200 \mu\text{m}$) para permitir una mezcla íntima con el polvo de óxido de plutonio. Por lo tanto, es necesario efectuar unas operaciones ulteriores de granulación o de trituración con un tamizado de los granulados. Las técnicas de trituración clásicas alteran la colabilidad y hacen bajar la densidad de los productos. Además, las operaciones son complejas y presentan un cierto peligro en la medida en la que los hilos de los tamices utilizados pueden sufrir unas rupturas, de manera que se pueden encontrar unos desechos mezclados con los gránulos, lo cual puede causar daños en las instalaciones de fabricación de pastillas que utilizan los gránulos. De manera más general, aparte de la adición de óxido de plutonio PuO_2 en el marco de la fabricación del combustible MOX, se puede estar obligado a incorporar numerosos aditivos a los polvos de UO_2 obtenidos por vía seca. Dichos aditivos pueden ser, por ejemplo, materiales absorbentes y moderadores o materiales combustibles fértiles tales como ThO_2 o unos óxidos de tierras raras tales como Gd_2O_3 , Er_2O_3 . Para realizar la incorporación y la mezcla de dichos aditivos al polvo de UO_2 obtenido por vía seca, es necesario realizar unos tratamientos previos de acondicionamiento del polvo de UO_2 , por ejemplo mediante unas homogeneizaciones más o menos fuertes, por secado por atomización seguido eventualmente de operaciones de precompactado y granulación, estando estas operaciones seguidas a su vez de una o varias etapas de trituración y/o tamizado. Estos procedimientos son por lo tanto complejos y necesitan numerosas etapas para el acondicionamiento del polvo de UO_2 y para su mezcla a los aditivos.

Como se ha indicado más arriba, en el caso de la fabricación de los combustibles principalmente a base de óxido de uranio UO_2 , se realiza generalmente una mezcla de polvo de UO_2 y de U_3O_8 (o U_3O_7) en una proporción de 80/20 o preferentemente 90/10. Los óxidos U_3O_8 utilizados se pueden obtener directamente mediante el procedimiento por vía seca regulando las condiciones en las que se realiza la pirohidrólisis del UF_6 por el vapor de agua. El U_3O_8 o el U_3O_7 se pueden obtener asimismo mediante oxidación de un polvo de UO_2 a baja temperatura. Los óxidos U_3O_8 o U_3O_7 pueden ser añadidos al polvo de partida o en los mezcladores del taller de fabricación de pastillas antes de la etapa de precompactado.

Otros aditivos utilizados para modificar la microestructura de las pastillas combustibles tales como el óxido de cromo, la alúmina, la sílice, los óxidos de vanadio y de niobio u otros compuestos pueden ser incorporados y mezclados al

dióxido de uranio obtenido por vía seca, en diferentes etapas del procedimiento que necesitan, en todos los casos, la preparación de una materia particulada de características deseadas para la fabricación de las pastillas en crudo. Estas operaciones de incorporación y de mezcla pueden complicar aún más la preparación de la materia particulada.

5 Generalmente, es necesario utilizar asimismo unos lubricantes en ciertas etapas del procedimiento, por ejemplo antes del precompactado y antes de la compresión de la materia particulada en forma de pastillas en crudo.

De manera general, las operaciones que se deben realizar previamente a la fabricación de las pastillas en crudo son numerosas y complejas, en particular en el caso en el que se utiliza óxido de uranio UO_2 poco o nada colable y fino, obtenido mediante un procedimiento por vía seca, debiendo dichos procedimientos sustituir al procedimiento por vía húmeda.

15 El objetivo de la invención es por lo tanto proponer un procedimiento de fabricación de pastillas de combustible nuclear mediante sinterización de una materia que contiene dióxido de uranio UO_2 obtenida a partir de un polvo resultante de un procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio UF_6 que permite simplificar las operaciones necesarias para obtener una materia granular que contiene el dióxido de uranio UO_2 que tiene unas propiedades adecuadas para la fabricación de pastillas en crudo sometidas después a la sinterización.

20 Con este objetivo, se introduce en una cuba que contiene unos cuerpos móviles de compresión y de mezcla, el polvo obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 y se realiza una agitación de la cuba de tal manera que el polvo se desplace en el volumen de la cuba, según tres ejes no coplanarios, de manera que se comprima entre los cuerpos móviles y entre los cuerpos móviles y las paredes de la cuba, hasta formar una materia particulada de una densidad en el estado no compactado de por lo menos $1,7 \text{ g/cm}^3$, y se utiliza la materia particulada obtenida mediante agitación en la cuba para la formación por compactado de pastillas de combustible en crudo que son sometidas a la sinterización.

El procedimiento según la invención puede comprender, de manera aislada o en combinación, las características siguientes:

- 30 - se somete la cuba a un movimiento vibratorio tridimensional;
- el polvo introducido en la cuba se obtiene mediante un procedimiento de conversión por vía seca y presenta una densidad inferior a 1 g/cm^3 , y la densidad para el estado sin compactar de la materia particulada obtenida por agitación en la cuba es de aproximadamente 2 g/cm^3 ;
- 35 - el polvo obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 presenta una densidad inferior a 1 g/cm^3 y una colabilidad nula definida por un ensayo estándar de paso a través de un orificio de 15 mm, y la materia particulada obtenida por agitación en la cuba presenta una colabilidad superior a 10 g/s después de algunos minutos de agitación en la cuba;
- 40 - se realiza la agitación de la cuba que contiene los cuerpos móviles y el polvo obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , durante un periodo de 1 a 600 minutos;
- 45 - Los cuerpos móviles de compresión y de mezcla en la cuba son unos cuerpos libres que tienen cualquier forma geométrica simple y una superficie de rugosidad reducida;
- los cuerpos móviles son de forma cilíndrica;
- 50 - los cuerpos móviles tienen la forma de bolas sustancialmente esféricas;
- los cuerpos móviles son de uno de los materiales siguientes: alúmina Al_2O_3 sinterizada, óxido de uranio sinterizado, óxido de zirconio sinterizado puro o dopado, carburo de tungsteno, aceros, uranio metal o aleación uranio/titanio;
- 55 - se introduce en la cuba, antes de realizar la agitación de la cuba, con el polvo de dióxido de uranio UO_2 obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , por lo menos un aditivo constituido por lo menos por un porógeno en una proporción por lo menos igual a 0,01%;
- 60 - se introduce en la cuba, con el polvo de dióxido de uranio UO_2 obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 por lo menos un aditivo;
- el aditivo se introduce en la cuba antes de realizar el tratamiento por agitación de la cuba;
- 65 - el aditivo se introduce en la cuba durante el tratamiento por agitación de la cuba;
- el aditivo está constituido por lo menos por una de las sustancias siguientes: óxido de uranio U_3O_8 , óxido de

uranio U_3O_7 , óxido de plutonio PuO_2 , óxido de torio ThO_2 , óxido de gadolinio Gd_2O_3 , sustancia porógena, lubricante, agentes dopantes de la sinterización;

- 5 - para la fabricación de pastillas de combustible mixto óxido de uranio-óxido de plutonio (MOX), la cuba se coloca en un recinto de confinamiento tal como una caja de guantes, y se realiza la introducción de polvos de óxido de uranio, de óxido de plutonio y de aditivos en la cuba, y la agitación de la cuba, de manera controlada desde el exterior del recinto de confinamiento,
- 10 - previamente a la formación de pastillas en crudo por compresión de la materia particulada obtenida por agitación en la cuba, se añade una materia lubricante a la materia particulada y se realiza una mezcla de la materia particulada y de la materia lubricante para repartir la materia lubricante sobre las partículas de la materia particulada,
- 15 - se mezcla la materia particulada que contiene principalmente óxido de uranio UO_2 obtenida mediante agitación del polvo en conversión, en presencia de cuerpos móviles, con polvo de óxido de plutonio PuO_2 , antes de la formación de las pastillas en crudo, para la fabricación de combustible MOX.

Con el fin de poner más claramente de manifiesto la invención, se describirán varios ejemplos de realización del procedimiento de la invención, así como unos medios particulares utilizados para su realización.

Uno de los aspectos fundamentales del procedimiento según la invención es que permite pasar en una sola operación de compresión y de mezcla de un producto de partida obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de UF_6 a un material particulado que puede ser utilizado para la fabricación de pastillas en crudo por compresión en unas prensas utilizadas habitualmente para la fabricación de las pastillas en crudo.

El producto de partida es un polvo de óxido de uranio que contiene principalmente UO_2 obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio UF_6 y más particularmente mediante un procedimiento de conversión por vía seca. Dicho polvo obtenido a la salida de la instalación de conversión presenta una composición que puede ser definida de manera general bajo la forma UO_{2+x} , conteniendo este polvo principalmente UO_2 y unas cantidades menores, que pueden ser reguladas, de otros óxidos tales como U_3O_8 y U_3O_7 . El polvo obtenido en la salida de la instalación de conversión está constituido por cristalitas que tienen una dimensión de $0,1 \mu m$ a $0,4 \mu m$, que están parcialmente aglomeradas entre sí, en forma de agregados más o menos frágiles de tamaño medio generalmente comprendido entre 0,5 y 20 micrómetros. La densidad de este polvo es siempre inferior a $2 g/cm^3$ o incluso a $1,5 g/cm^3$ y más habitualmente inferior a $1 g/cm^3$ y del orden de $0,7$ a $0,9 g/cm^3$. Dicho polvo presenta una colabilidad definida por un ensayo estándar de paso a través de un orificio de 15 mm de un recipiente cónico y representada por un valor de caudal en g/segundo que tiene un valor nulo, pudiendo el polvo fluir a través del orificio en el marco del ensayo estándar.

Todas las densidades indicadas en el presente texto (salvo indicación contraria) son unas densidades evidentes medidas utilizando un ensayo normalizado.

Dicho polvo de partida de densidad reducida, baja granulometría y colabilidad nula no se puede utilizar en un procedimiento de fabricación de pastillas en crudo, sin transformación.

El producto de partida, cuando está constituido por ejemplo por un polvo de óxido de UO_2 obtenido por vía húmeda es también impropio para la fabricación de pastillas en crudo sin transformación intermedia.

El procedimiento de la invención que comprende sólo una etapa para pasar del polvo de partida, como se ha definido, anteriormente para una materia particulada que tiene una densidad en un estado no compactado superior a $1,7 g/m^3$ y una buena colabilidad se realiza en una cuba en la que se introduce el polvo de partida y eventualmente unos aditivos, como se explicará más adelante. La cuba utilizada presenta generalmente una pared de acero revestida interiormente por una capa de materia orgánica sintética, por ejemplo poliuretano, para limitar o suprimir los riesgos de abrasión de la pared de la cuba y la contaminación de los productos introducidos en la cuba. La pared de la cuba presenta generalmente una forma de revolución alrededor de un eje, por ejemplo una forma cilíndrica o una forma toroidal. La cuba contiene unos cuerpos móviles de compresión y de mezcla que están preferentemente libres en el interior de la cuba y/o que pueden también estar unidos a la cuba pero de manera que puedan desplazarse.

La cuba está montada móvil sobre un soporte y comprende medios de desplazamiento que permiten realizar una agitación tal que los materiales contenidos en la cuba, por ejemplo el polvo y los cuerpos móviles de compresión y de mezcla se desplazan en todo el volumen de la cuba siguiendo un desplazamiento tridimensional, es decir cuyos vectores de desplazamiento presentan unas componentes según tres ejes no coplanarios del espacio. Los desplazamientos de las materias en el interior de la cuba pueden estar provocados únicamente por la agitación de la cuba o a la vez por el movimiento de la cuba y por unos elementos elevadores colocados en el interior de la cuba.

Los cuerpos móviles dispuestos en el interior de la cuba están generalmente realizados en un metal o aleación dura o en un material cerámico. Preferentemente, estos cuerpos móviles son de alúmina o de óxido de uranio sinterizado, con el fin de obtener la dureza deseada para evitar una contaminación del polvo de óxido de uranio por unos productos susceptibles de deteriorar las propiedades del polvo o de las pastillas de combustible.

Los cuerpos móviles de compresión y de mezcla dispuestos en la cuba pueden presentar unas formas muy diversas, tales como unas formas cilíndricas, esféricas o cúbicas; estos cuerpos móviles pueden estar constituidos por ejemplo por unas bolitas, unos anillos, unas bolas, unos cubos, unos cilindros que tienen extremos planos o hemisféricos, o unos rodillos, o unos cuerpos de cualquier otra forma.

La capacidad de la cuba puede ser ampliamente variable, sin alterar las condiciones de realización del procedimiento. La capacidad de la cuba puede ser de algunos kilos hasta varios centenares de kilos e incluso hasta varias toneladas, correspondiendo la capacidad de la cuba a la masa máxima de elementos que puede contener (polvo y cuerpos móviles).

Teniendo en cuenta la capacidad de la cuba, se regulan ciertos parámetros para obtener un rendimiento óptimo de la transformación del polvo de óxido de uranio en materia particulada para la fabricación de pastillas en crudo. Estos parámetros son en particular el índice de llenado en cuerpos móviles que se define como la relación entre el volumen total de los cuerpos móviles y el volumen útil de la cuba, el índice de llenado de polvo que se define como la relación entre el volumen total del polvo introducido en la cuba y el volumen útil de la cuba, así como el coeficiente de llenado polvo/cuerpos móviles que se define como la relación entre el volumen total del polvo introducido en la cuba y el volumen de vacío entre los cuerpos móviles, cuando la cuba está en reposo.

De manera general, se realiza el llenado de la cuba con el fin de recubrir el conjunto de los cuerpos móviles y llenar los espacios entre los cuerpos móviles. Asimismo, son posibles otras condiciones de llenado.

Preferentemente, la cuba que contiene los cuerpos móviles está montada sobre un soporte fijo con el fin de poder ser puesta en vibración y comprende unos medios motores de puesta en vibración constituidos generalmente por un motor de desequilibrio.

En un modo de realización particular que ha resultado satisfactorio, para la fabricación de una materia particulada a partir de polvo de UO_2 obtenido por conversión por vía seca, se ha utilizado un triturador comercializado bajo la referencia DM1 por la compañía SWECO.

La cuba del triturador comprende una pared de forma toroidal montada con su eje de revolución vertical sobre un soporte fijo, por medio de muelles de apoyo helicoidales de eje vertical. Un motor de puesta en vibración está montado solidario a la pared de la cuba, con su eje siguiendo el eje vertical de la cuba. El motor está asociado a unos desequilibrios, de tal manera que, cuando se pone en rotación, arrastra la cuba en un movimiento vibratorio oscilante tridimensional, sufriendo el eje de la cuba al mismo tiempo un movimiento giratorio y oscilante. La cuba contiene unos cuerpos móviles libres que pueden ser, por ejemplo, de forma esférica o cilíndrica o más complejos, sobre los cuales se vierte el polvo a tratar, antes de poner en funcionamiento el motor de agitación de la cuba. Los cuerpos móviles libres y el polvo se desplazan bajo el efecto de los movimientos y de las vibraciones de la cuba, siguiendo unas trayectorias de tres dimensiones que rellenan una parte sustancial del volumen interior de la cuba. Durante los desplazamientos de los cuerpos móviles libres y del polvo bajo el efecto de los desplazamientos y de las vibraciones de la cuba, el polvo se comprime entre los cuerpos móviles y entre los cuerpos móviles y las paredes de la cuba.

De manera inesperada, cuando se introduce en el triturador DM1 de SWECO un polvo de óxido de uranio que procede de un procedimiento de conversión por vía seca de UF_6 , se observa un aumento continuo de la granulometría del polvo a lo largo del tiempo. El dispositivo de SWECO está designado por su constructor como un triturador vibrante que permite reducir la granulometría de materia particulada o de polvo hasta dimensiones submicrónicas que van hasta $0,5 \mu m$. El tratamiento en este dispositivo conocido de polvo de conversión por vía seca de densidad próxima a $0,8 g/cm^3$, que comprende unas cristalitas de $0,1 \mu m$ a $0,4 \mu m$ más o menos unidas en forma de racimo, permite obtener, por compresión entre los cuerpos móviles, unas partículas cuya granulometría a lo largo del tiempo se vuelve homogénea y se sitúa entre $10 \mu m$ y $150 \mu m$. La densidad del polvo aumenta de manera continua con el tiempo de tratamiento en el interior de la cuba que contiene los cuerpos móviles hasta alcanzar, en un tiempo del orden de una a dos horas, un valor del orden de $2 g/cm^3$. La colabilidad del polvo de conversión por vía seca es nula, como se ha indicado anteriormente y, después de algunos minutos de tratamiento en la cuba que contiene los cuerpos móviles, que está sometida a las vibraciones, la colabilidad de las partículas se vuelve superior a $10 g/s$ y puede alcanzar muy rápidamente unos valores muy superiores, hasta $60 g/s$ y más (valores medidos con el dispositivo mencionado anteriormente).

La materia particulada obtenida después de una a dos horas de tratamiento y, en algunos casos, hasta 150 minutos, en la cuba que contiene los cuerpos móviles puede ser utilizada para la fabricación de pastillas en crudo por compresión, debido a su densidad, su colabilidad y su compresibilidad que se deben entre otros a la forma de las partículas obtenidas y a su granulometría.

- Además, el tratamiento en el interior de la cuba en vibración que contiene los cuerpos móviles permite realizar al mismo tiempo una mezcla íntima de los polvos de óxido de uranio obtenidos mediante el procedimiento de conversión por vía seca y de aditivos tales como PuO_2 , ThO_2 , Gd_2O_3 y Er_2O_3 o también unos agentes porógenos tales como unas materias orgánicas o minerales susceptibles de ser destruidas durante la sinterización, o unos lubricantes tales como el estearato de zinc o de aluminio, o la etilen-biestearamida o de agentes dopantes destinados a modificar la estructura cristalina de las pastillas sinterizadas. Se puede realizar la incorporación a la mezcla, en el interior de la cuba, de cualquier otro aditivo tal como se ha mencionado anteriormente que permite modificar la estructura y la composición de las pastillas.
- Se puede añadir también a la mezcla unos lubricantes que tienen también un efecto porógeno y destinados a sustituir a los agentes porógenos clásicos, tales como el producto conocido bajo la denominación AZB o el oxalato de amonio o sus derivados.
- La incorporación de los aditivos al polvo de óxido (que comprende generalmente UO_2 y U_3O_8) se puede efectuar total o parcialmente en el momento de la carga de la cuba antes del inicio del tratamiento o durante el tratamiento en un instante bien determinado.
- Se añaden el o los lubricantes y se mezclan a los granos ya formados y no en el polvo de partida, para obtener un efecto lubricante durante la etapa ulterior de compactado.
- El procedimiento según la invención permite realizar la fabricación de combustible que contiene principalmente óxido de uranio UO_2 y otros materiales, por ejemplo unos productos neutrófagos como el óxido de gadolinio o de erbio, o unos materiales combustibles fisibles tales como el óxido de plutonio, o también unos productos fértiles tales como el óxido de torio. Estos productos se añaden en la cuba en el momento deseado para realizar una buena integración de estos materiales a las partículas formadas a partir de los óxidos de uranio del polvo obtenido por conversión del UF_6 .
- En el caso de materiales tóxicos y/o radioactivos, tales como el óxido de plutonio, es necesario evidentemente tomar las precauciones conocidas por el experto en la materia. Sin embargo, la realización del procedimiento según la invención que permite obtener la materia particulada para la fabricación de las pastillas en crudo, en una sola operación en el interior de una sola cuba que contiene unos cuerpos móviles de compresión permite realizar fácilmente estas operaciones sin riesgo para los operarios, colocando la cuba en el interior de un recinto protector tal como una caja de guantes, pudiendo ser las operaciones de constitución de la carga, de adición y de puesta en vibración de la cuba controladas desde el exterior de la caja de guantes.
- En el caso de un modo de realización preferido, los cuerpos móviles de compresión y de mezcla son totalmente libres en el interior de la cuba y constituyen una parte de la carga introducida en la cuba. En este caso, se introducen en primer lugar en la cuba los cuerpos de compresión, por ejemplo unas bolas o unos cilindros, en una cantidad predeterminada. Se introduce después el polvo que procede directamente del procedimiento de conversión de UF_6 y eventualmente diferentes aditivos. Después, se pone la cuba en movimiento y preferentemente en movimiento de vibraciones. Los cuerpos móviles se quedan permanentemente en la cuba, y el producto tratado se evacúa a través de una rejilla situada en la base de la cuba.
- Según un modo de realización preferido, los cuerpos móviles en el interior de la cuba son de alúmina Al_2O_3 de gran dureza. Durante la realización del procedimiento de la invención, la energía cinética comunicada a los cuerpos móviles que aseguran la composición del polvo es moderada, de manera que la energía aplicada durante el choque de los cuerpos móviles entre sí y sobre las paredes de la cuba es reducida. Los cuerpos móviles de compresión y de mezcla sufren por lo tanto unas destrucciones muy limitadas y, así, la contaminación de los polvos por unos materiales que proceden de los cuerpos móviles de compresión es reducida. Además, la introducción de bajas cantidades de alúmina en las pastillas de combustible no adolece de ningún inconveniente, pudiendo el aluminio incluso aportar unos efectos beneficiosos. Las mediciones realizadas indican además que esta contaminación por el aluminio no excede de algunas partes por millón.
- Cuando se utilizan unos cuerpos móviles de óxido de uranio UO_2 sinterizado en lugar de alúmina, se suprime totalmente el riesgo de contaminación por unos elementos que no se encontrarían en el polvo de óxido de uranio. Además, se reduce el tiempo de tratamiento aumentando la energía cinética que se debe a la densidad elevada de los cuerpos de óxido de uranio sinterizado (densidad teórica de $10,96 \text{ g/cm}^3$). Sin embargo, la introducción de uranio en forma de óxido de uranio sinterizado en el polvo, debido a un cierto deterioro de los cuerpos móviles, reduce sustancialmente la sinterizabilidad de la mezcla, y no aporta otras ventajas sustanciales.
- Con el fin de poner más claramente de manifiesto la invención, se describirán algunos ejemplos de realización.
- Tres ejemplos de aplicación de la invención se describirán a continuación como ejemplos nº 1, 2 y 3, así como un ejemplo comparativo.
- La etapa característica del procedimiento de la invención que consiste en tratar unos polvos obtenidos directamente por un procedimiento de conversión por vía seca en una cuba que contiene unos cuerpos móviles, para obtener una

materia particulada que se puede utilizar para la fabricación de pastillas en crudo se aplica en un triturador vibrante comercializado bajo la referencia DM1 por la compañía SWECO.

5 En el caso de los cuatro ejemplos de realización, la cuba del triturador de forma toroidal de eje vertical contiene 20 kg de cuerpos móviles constituidos por unos cilindros de alúmina sinterizada de 1/2" (12,7 mm) aproximadamente de diámetro y de longitud. Para la realización del tratamiento, el polvo se vierte sobre los cuerpos móviles de compresión totalmente libres en el interior de la cuba. Se pone después la cuba en movimiento de vibración alimentando el motor de desequilibrio fijado a la cuba.

10 **Ejemplo 1**

Se elaboran sucesivamente varias cargas de materia particulada, a partir de óxido de uranio UO_2 , que procede de un procedimiento de conversión por vía seca de hexafluoruro UF_6 . Para la realización de ocho cargas de una primera serie, se introducen en la cuba del triturador que contiene los cuerpos móviles de alúmina, 10 kg de material en forma de polvo que comprende, en peso, 89% de óxido de uranio UO_2 , 6% de UROX y 5% de U_3O_8 al que se añade 0,2% de etilen-bis-estearamida y 0,55% de oxalato de amonio.

Para la realización de ocho cargas de una segunda serie, se introducen sucesivamente en la cuba unas cargas de un material que tiene la misma composición que las ocho cargas de la primera serie al que se añade 0,2% de etilen-bis-estearamida y 0,47% de oxalato de aluminio.

El producto conocido bajo la denominación UROX es un óxido de uranio U_3O_8 obtenido o bien a partir del oxifluoruro de uranio UO_2F_2 , durante la conversión del UF_6 para obtener unos óxidos de uranio, o bien a partir del óxido UO_2 en un horno de alta temperatura.

25 El óxido U_3O_8 añadido en la mezcla con el UROX se recupera, en unas pastillas de combustible, durante la fabricación o al final de la fabricación de las pastillas.

Cada una de las cargas de la primera serie de cargas y cada una de las cargas de la segunda serie está sometida a una agitación en la cuba, de manera que la carga y los cuerpos móviles se desplazan en todas las direcciones del espacio.

Después de una duración de tratamiento del orden de 120 minutos, se recupera en la cuba una materia granular constituida principalmente por óxidos de uranio cuyas características son las siguientes:

35 Densidad media en el estado no compactado (DNT): aproximadamente 2,2 g/cm³.
Densidad media en el estado compactado (DT): aproximadamente 2,9 g/cm³.
Colabilidad media: aproximadamente 57 g/s.

Las partículas de cada una de las series de ocho cargas se homogeneizan en un mezclador, de manera que presenten unas propiedades uniformes (en particular unas densidades y colabilidad centradas sobre los valores indicadas anteriormente).

Para la homogeneización de las cargas de cada una de las dos series de cargas, se introducen las ocho cargas de partículas en un mezclador de cuba giratoria utilizado de manera habitual en las plantas de fabricación de pastillas de combustible nuclear y se pone la cuba en rotación.

Preferentemente, la cuba del mezclador presenta una forma bicónica. Dicha cuba, denominada generalmente bicono, se utiliza habitualmente en las plantas de fabricación de combustible nuclear.

50 Se utiliza un bicono de una capacidad de por lo menos 80 kg en el que se introducen las ocho cargas de cada una de las series de cargas, y después se pone el bicono en rotación durante cinco minutos aproximadamente, para obtener una materia particulada homogénea que tiene las características medias indicadas anteriormente.

Es evidente que, cuando, en la aplicación industrial de la invención, se dispone de una cuba de agitación en presencia de cuerpos móviles, de una capacidad suficiente (por ejemplo 80 kg), se puede realizar la agitación de la mezcla de polvo de partida, en una sola operación para obtener una masa de materia particulada homogénea sin tratamiento de homogeneización ulterior con el bicono.

60 Sin embargo, el bicono se utiliza, o bien después de la homogeneización de las cargas, o bien al final de la agitación de los polvos en una cuba de gran capacidad, para asegurar la mezcla de un lubricante con la materia particulada.

En el caso en el que se utiliza el bicono para la homogeneización de cargas, se añade el lubricante a la carga homogeneizada en el bicono, y en el caso en el que se obtiene toda la masa de materia particulada en una sola operación, se trasvasa la materia particulada en un bicono y se añade el lubricante.

Se añade por ejemplo a la materia particulada 0,25% en peso de etilen-bis-estearamida. Se realiza una mezcla del lubricante con la materia particulada, haciendo girar la cuba del bicono durante 1 minuto 30 segundos, aproximadamente.

5 La etilen-bis-estearamida seleccionada como lubricante se utiliza preferentemente en forma del producto comercial CIREC de la compañía HOECHST, que presenta la granulometría deseada para asegurar la lubricación de manera óptima.

10 Sin embargo, la agitación en presencia de cuerpos móviles que producen una interacción y una mezcla "dura" de las sustancias presentes tiene tendencia a aminorar o destruir el efecto lubricante de la sustancia añadida a título de lubricante.

15 Por lo tanto, puede ser necesario, para obtener buenas condiciones de lubricación, realizar una mezcla "suave" de las partículas y del lubricante en un dispositivo mezclador, tal como un bicono.

Una lubricación insuficiente se traduce por unas fuerzas de compresión aumentadas y unos chirridos que se deben a la fricción de las partículas durante la compresión.

20 Se obtiene una materia particulada homogeneizada y lubricada de una DNT de 2,4 g/cm³ aproximadamente y de una DT de 2,9 g/cm³ aproximadamente. La colabilidad de la materia particulada es de aproximadamente 80 g/s.

25 Las dos cargas de materia particulada obtenidas a partir de mezclas que difieren sólo por la proporción de material porógeno (oxalato de amonio) en la mezcla de partida tienen unas propiedades idénticas y se introducen sucesivamente en una prensa de fabricación de pastillas para realizar la compresión de la materia particulada, con el fin de obtener unas pastillas en crudo.

Las pastillas en crudo presentan unas propiedades de resistencia satisfactorias.

30 Las pastillas en crudo obtenidas a partir de la primera carga (que contiene 0,55% de porógeno) tienen una densidad de 6,3 g/cm³ y las pastillas en crudo a partir de la segunda carga (que contiene 0,47% de porógeno) una densidad de 5,8 g/cm³.

La adición de porógeno permite alcanzar la densidad sinterizada buscada (95%).

35 El lubricante estaba, en los dos casos, dispersado correctamente en la materia particulada. No se ha observado ningún chirrido durante la compresión.

40 La etapa de agitación de la mezcla de polvos en presencia de cuerpos móviles ha permitido obtener una materia particulada cuya densidad en el estado no compactado y en el estado compactado es sustancialmente superior la densidad del polvo de partida constituido principalmente por óxido de uranio UO₂, que procede de un procedimiento de conversión por vía seca de hexafluoruro de uranio UF₆.

45 La etapa de mezcla con un lubricante ha permitido aumentar muy ligeramente la densidad (por lo menos en el estado no compactado) y aumentar sustancialmente la colabilidad de la materia particulada.

Ejemplo 2

50 Se introducen en la cuba que contiene los cuerpos móviles de alúmina 5 kg de polvo de dióxido de uranio UO₂ obtenido por vía seca cuya densidad es de 0,9 g/cm³, no siendo este polvo, obtenido directamente mediante el procedimiento de conversión de UF₆, colable a través de un orificio de 15 mm. No se introduce en la carga de polvo de UO₂ ni producto porógeno ni lubricante, y se inicia el tratamiento poniendo en movimiento de vibraciones la cuba que contiene la carga.

55 Se extrae material particulado durante el tratamiento después de, respectivamente, 10, 15, 30, 60 y 120 minutos, terminando el tratamiento después de 120 minutos.

Se han medido las densidades y la colabilidad de la materia particulada, como anteriormente, mediante tamizado, y los resultados se detallan en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2

ENSAYOS	Modo de llenado: 20 kg de medios de trituración (11x13 mm) de alúmina								
n° 2	Tiempo de tratamiento	min.	0	10	15	30	60	120	
Densidad	DNT	g/cm ³	0,9	1,3	1,3	1,5	1,8	2,1	
	DT	g/cm ³	1,6	1,9	1,9	2,1	2,4	2,6	
Colabilidad	Cono de 15 mm	g/s	0	0	42	58	66	79	

5 La densidad en el estado no compactado pasa del valor 0,9 g/cm³ al valor 2,1 g/cm³ durante las dos horas de tratamiento. La colabilidad aumenta bruscamente después de 15 minutos de tratamiento para alcanzar un valor de 79 g/s al final del tratamiento.

10 Como anteriormente, se realiza una compresión de la materia particulada obtenida al final del tratamiento en unas matrices que permiten obtener unas pastillas en crudo. Para realizar esta operación, se mezcla con las partículas un lubricante que permite facilitar la compresión de las partículas en forma de pastillas en crudo (antes de realizar la compresión, se añade eventualmente un porógeno a la materia particulada para ajustar la densidad de las pastillas sinterizadas a un valor deseado).

15 **Ejemplo n° 3**

Tabla 3

ENSAYOS	Modo de llenado: 20 kg de media de trituración (11x13 mm) de alúmina								
n° 3	Tiempo de tratamiento	Min.	0					60	
Densidad	DNT	g/cm ³	1,1					2,1	
	DT	g/cm ³	1,8					2,6	
Colabilidad	Cono de 15 mm	g/s	0					65	

20 Se carga en la cuba que contiene los cuerpos de compresión en forma de cilindros 4 kg de un polvo de dióxido de uranio UO₂ obtenido por vía seca, de densidad 0,8 g/cm³, no siendo este polvo colable a través de un orificio de 15 mm, y después 2 kg de una mezcla de óxidos de uranio que contiene 25% de óxido de gadolinio (Gd₂O₃) así como 36 g de producto porógeno constituido por una sustancia orgánica. Se detiene el tratamiento después de una hora, el polvo constituido por la mezcla de uranio y de óxido de gadolinio, que tenía una densidad de 1,1 g/cm³ en el momento de iniciar el tratamiento, presenta, después de una hora de tratamiento, una densidad de 2,1 g/cm³. Este polvo presenta una buena colabilidad de 65 g/s.

25 Se añaden al polvo 18 g de un lubricante constituido por estearato de zinc. La materia particulada mezclada al lubricante se compacta a continuación directamente y se conforma en forma de pastillas en crudo que son sinterizadas después mediante el procedimiento habitual.

30 **Ejemplo comparativo**

35 Se introduce un polvo de óxido de uranio UO₂ obtenido directamente mediante el procedimiento de conversión por vía seca, cuya densidad en el estado no compactado es de 0,85 g/cm³ en un triturador con cuchillas, tal como se utiliza para el tratamiento de los polvos en el taller de conversión, según el procedimiento de la técnica anterior.

40 Al final del tratamiento en el triturador con cuchillas, la densidad del polvo no ha cambiado o incluso ha disminuido ligeramente para alcanzar un valor de 0,8 g/cm³. La colabilidad del polvo, que era nula al principio, sigue siendo nula al final del tratamiento en el triturador con cuchillas.

45 Los ejemplos según la invención muestran por lo tanto que el procedimiento según la invención que utiliza una cuba de agitación que contiene unos cuerpos móviles y preferentemente unos cuerpos móviles libres, permite aumentar sustancialmente la densidad de un polvo obtenido mediante un procedimiento de conversión por vía seca, para alcanzar un valor próximo, o ligeramente superior a 2 g/cm³. Además, el tratamiento permite obtener una materia particulada que tiene una muy buena colabilidad, que puede ser fácilmente conformada en forma de pastillas en crudo, mediante los procedimientos habituales.

50 Las pastillas en crudo sinterizadas tienen unas propiedades que son las de las pastillas combustibles fabricadas mediante los procedimientos según la técnica anterior.

Además, los ensayos efectuados muestran que se pueden agregar unos aditivos a los polvos de óxido de uranio obtenidos mediante el procedimiento por vía seca, o bien antes del inicio del tratamiento en la cuba, o bien durante el tratamiento, o bien al final del tratamiento en la cuba. Generalmente es necesario, cuando se utilizan unos porógenos orgánicos, introducir más de 0,1% en peso de porógeno en la cuba de tratamiento con el óxido de uranio

- 5 y en todos los casos más de 0,01%. Cada aditivo u otro producto que tiene su propio efecto porógeno, conociendo la densidad final a obtener y la densidad sinterizada de la matriz sin aditivos, se calcula la cantidad de aditivos y de porógeno a añadir para obtener la densidad sinterizada prevista. El procedimiento según la invención, que comprende sólo una etapa (o como mucho dos etapas si se tiene en cuenta una etapa de lubricación por mezcla "suave") para pasar del polvo de óxido de uranio obtenido mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio a una materia particulada que puede ser conformada en forma de pastillas en crudo, en lugar de siete etapas en el caso del procedimiento anterior, permite una simplificación considerable de los procedimientos y de los materiales utilizados para la fabricación del combustible nuclear.
- 10 La mezcla de un lubricante y de la materia particulada se puede realizar en otros dispositivos distintos de un mezclador de tipo bicono; dichos dispositivos deben asegurar una mezcla "suave" con el fin de no destruir el lubricante.
- 15 La invención se aplica a la fabricación de pastillas de combustible de composiciones extremadamente variadas.
- 20 En el caso de la fabricación de pastillas para combustible MOX, que contiene unos óxidos de uranio (principalmente UO_2) y de plutonio PuO_2 , el óxido de plutonio se puede añadir a la mezcla antes del tratamiento de agitación en presencia de cuerpos móviles o a la materia particulada obtenida mediante el tratamiento de agitación en la cuba del triturador. El óxido de plutonio en forma de polvo se puede mezclar con la materia particulada en un mezclador de polvos.
- 25 Se pueden utilizar uno o varios lubricantes seleccionados de entre un gran número de sustancias que se pueden añadir a la materia particulada antes de conformado de las pastillas en crudo. En particular, estos lubricantes pueden ser, por ejemplo, etilen-bis-estearamida o AD (diestearato de aluminio).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de pastillas de combustible nuclear mediante sinterización de una materia que contiene dióxido de uranio UO_2 obtenida a partir de un polvo procedente de un procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio UF_6 , caracterizado porque se introduce, en una cuba que contiene unos cuerpos móviles de compresión y de mezclado, el polvo obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , y porque se realiza una agitación de la cuba de tal manera que el polvo se desplace en el volumen de la cuba según tres ejes no coplanarios, de manera que sea comprimido entre los cuerpos móviles y entre los cuerpos móviles y las paredes de la cuba hasta formar una materia particulada de una densidad, en el estado no compactado, de por lo menos $1,7 \text{ g/cm}^3$, y porque se utiliza la materia particulada obtenida por agitación en la cuba para la conformación de pastillas de combustible en crudo que se someten a la sinterización.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se somete la cuba a un movimiento vibratorio tridimensional.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el polvo introducido en la cuba se obtiene mediante un procedimiento de conversión por vía seca y presenta una densidad inferior a 1 g/cm^3 , y porque la densidad, en el estado no compactado, de la materia particulada obtenida por agitación en la cuba es de aproximadamente 2 g/cm^3 .
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el polvo obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 presenta una densidad inferior a 1 g/cm^3 y una colabilidad nula definida mediante un ensayo estándar de paso a través de un orificio de 15 mm, y porque la materia particulada obtenida por agitación en la cuba presenta una colabilidad superior a 10 g/s después de algunos minutos de agitación en la cuba.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la agitación de la cuba que contiene los cuerpos móviles y el polvo obtenido directamente por un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , se realiza durante un tiempo de 1 a 600 minutos.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque los cuerpos móviles de compresión y de mezcla en la cuba son unos cuerpos libres que tienen cualquier forma geométrica sencilla y una superficie de rugosidad pequeña.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque los cuerpos móviles son de forma cilíndrica.
8. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque los cuerpos móviles tienen la forma de bolas sustancialmente esféricas.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque los cuerpos móviles son de uno de los siguientes materiales: alúmina Al_2O_3 sinterizada, óxido de uranio sinterizado, óxido de zirconio sinterizado puro o dopado, carburo de tungsteno, aceros, uranio metal o aleación de uranio/titanio.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque se introduce en la cuba, antes de realizar la agitación de la cuba, con el polvo de dióxido de uranio UO_2 obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , por lo menos un aditivo constituido por lo menos por un porógeno en una proporción por lo menos igual a 0,01%.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque se introduce en la cuba, con el polvo de dióxido de uranio UO_2 obtenido directamente mediante un procedimiento de conversión de hexafluoruro UF_6 , por lo menos un aditivo.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque el aditivo se introduce en la cuba antes de realizar el tratamiento por agitación de la cuba.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque el aditivo se introduce en la cuba durante el tratamiento por agitación de la cuba.
14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado porque el aditivo está constituido por lo menos por una de las sustancias siguientes: óxido de uranio U_3O_8 , óxido de uranio U_3O_7 , óxido de plutonio PuO_2 , óxido de torio ThO_2 , óxido de gadolinio Gd_2O_3 , sustancia porógena, lubricante, agentes dopantes de la sinterización.
15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, para la fabricación de pastillas de combustible mixto de óxido de uranio-óxido de plutonio (MOX), caracterizado porque la cuba está colocada en un recinto de confinamiento tal como una caja de guantes, y porque se realiza la introducción de polvos de óxido de uranio, de

óxido de plutonio y de aditivos en la cuba y la agitación de la cuba, de manera controlada desde el exterior del recinto de confinamiento.

- 5 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado porque, previamente al conformado de las pastillas en crudo por compresión de la materia particulada obtenida por agitación en la cuba, se añade una materia lubricante a la materia particulada y se realiza una mezcla suave de la materia particulada y de la materia lubricante para repartir la materia lubricante sobre las partículas de la materia particulada.
- 10 17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque se mezcla la materia particulada que contiene principalmente óxido de uranio UO_2 obtenida por agitación del polvo de conversión, en presencia de cuerpos móviles, con polvo de óxido de plutonio PuO_2 , antes del conformado de las pastillas en crudo, para la fabricación de combustible MOX.