

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 890**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/62** (2006.01)

**C01G 43/025** (2006.01)

**G21C 19/48** (2006.01)

**G21C 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2018 PCT/FR2018/052497**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.04.2020 WO20074792**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2018 E 18847189 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024 EP 3864675**

54 Título: **Procedimiento e instalación de conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.12.2024**

73 Titular/es:  
**FRAMATOME (100.0%)  
1 place Jean Millier, Tour Areva  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:  
**FEUGIER, ANDRÉ y  
MESONA, BRUNO**

74 Agente/Representante:  
**PONTI & PARTNERS, S.L.P.**

ES 2 992 890 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 e instalación de conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de la producción de polvo de dióxido de uranio ( $\text{UO}_2$ ), destinada especialmente a la fabricación de pastillas de  $\text{UO}_2$  para barras de combustible nuclear.
- [0002]** Es posible enriquecer uranio en forma de hexafluoruro de uranio ( $\text{UF}_6$ ). Sin embargo, a continuación es necesario convertir el  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  para fabricar pastillas de  $\text{UO}_2$ .
- 10 **[0003]** Para ello, es posible convertir  $\text{UF}_6$  gaseoso en oxifluoruro de uranio ( $\text{UO}_2\text{F}_2$ ) por hidrólisis en un reactor, inyectando  $\text{UF}_6$  gaseoso y vapor de agua seco en el reactor para obtener polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$ , y después convertir el polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  en polvo de  $\text{UO}_2$  por pirohidrólisis en un horno, haciendo circular el polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  en el horno e inyectando vapor de agua seco y dihidrógeno ( $\text{H}_2$ ) gaseoso en el horno.
- 15 **[0004]** Para obtener un polvo de  $\text{UO}_2$  de calidad homogénea, el horno puede estar provisto de medios que permiten un mezclado enérgico del polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  y favorecen el contacto del polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  con el dihidrógeno y el vapor de agua.
- 20 **[0005]** Un coproducto resultante de las conversiones sucesivas  $\text{UF}_6 \rightarrow \text{UO}_2\text{F}_2 \rightarrow \text{UO}_2$  es el fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ ) gaseoso que es muy tóxico y corrosivo.
- [0006]** La reacción de hidrólisis se realiza en una atmósfera de gas neutro (o gas inerte), preferentemente en una atmósfera de nitrógeno. Para ello, se inyecta gas neutro en el reactor formando un flujo gaseoso que barre el reactor.
- 25 **[0007]** En fase de producción, para evitar una sobrepresión en la instalación de conversión, el gas neutro, los gases reactivos en exceso y el fluoruro de hidrógeno resultante de la conversión pueden ser evacuados a través de filtros destinados a retener las partículas en suspensión, especialmente las partículas de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  y de  $\text{UO}_2$ .
- 30 **[0008]** Los filtros se colmatan progresivamente y pueden ser descolmatados regularmente por inyección de gas neutro a contracorriente.
- [0009]** Para evitar la formación de aglomerados de polvo en la pared interna del horno de pirohidrólisis, la instalación de conversión puede estar provista de miembros de percusión que golpean contra la pared exterior del horno.
- 35 **[0010]** El documento US6136285 describe dicha instalación de conversión de  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  para la implementación de dicho procedimiento de conversión.
- 40 **[0011]** En dicho procedimiento de conversión, se genera  $\text{UO}_2$  en forma de polvo sinterizable que permite formar pastillas de  $\text{UO}_2$  por sinterización.
- [0012]** Resulta difícil obtener, de manera constante en el curso del tiempo, un polvo de  $\text{UO}_2$  de calidad, es decir, que presente características satisfactorias especialmente en términos de masa volumétrica aparente, de superficie específica, de granulometría y de composición química.
- 45 **[0013]** Para satisfacer las exigencias de un uso para la industria nuclear, un polvo de  $\text{UO}_2$  destinado a formar pastillas de  $\text{UO}_2$  debe ser homogéneo. Debe presentar una tasa de impurezas (esencialmente flúor) lo más baja posible y preferentemente inferior a 50 ppm ( $50 \mu\text{g/g}$  de  $\text{UO}_2$ ), una superficie específica comprendida entre  $1 \text{ m}^2/\text{g}$  y  $4 \text{ m}^2/\text{g}$ , una relación oxígeno / uranio comprendida entre el 1,80 y el 2,50% y una humedad relativa inferior al 1%. Debe presentar una buena capacidad de mezcla y una aptitud para el flujo espontáneo (colabilidad) que permita así soportar cadencias de producción de pastillas elevadas. Preferentemente, posee una distribución granulométrica homogénea (ley normal) y una reactividad a la sinterización natural (o sinterizabilidad) que permite obtener en la pastilla cerámica sinterizada una densidad superior al 96,5% de la masa volumétrica teórica del  $\text{UO}_2$  y una dureza superior a  $15 \text{ daN/m}$ .
- 55 **[0014]** La obtención de un polvo de  $\text{UO}_2$  de calidad constante requiere un ajuste preciso de los parámetros de funcionamiento de la instalación de conversión, en particular de los caudales y temperaturas de inyección de los diferentes productos reactivos y de las condiciones, en particular de la temperatura, de la hidrólisis y de la pirohidrólisis, como se enseña en los documentos US6136285, US4112055, US3845193 y US7824640.
- 60 **[0015]** El documento US3698697A revela un procedimiento de conversión por hidrólisis de  $\text{UF}_6$  en presencia de vapor de agua y luego pirohidrólisis del  $\text{UO}_2\text{F}_2$  obtenido en presencia de vapor de agua y de dihidrógeno.
- 65 **[0016]** Uno de los objetivos de la invención es proponer un procedimiento de conversión de  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  estable

que permita obtener polvo de  $\text{UO}_2$  de calidad constante y bien definida.

**[0017]** Para este fin, la invención propone un procedimiento de conversión según la reivindicación 1.

5 **[0018]** Las características opcionales del procedimiento se definen en las reivindicaciones 2 a 15.

**[0019]** La invención se refiere también a una instalación de conversión según la reivindicación 16.

**[0020]** En la reivindicación 17 se define una realización particular de la instalación de conversión.

10

**[0021]** La invención y sus ventajas se comprenderán mejor con la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, dada únicamente a modo de ejemplo, y hecha en referencia a los dibujos adjuntos, donde:

- la Figura 1 es una vista esquemática de una instalación de conversión para la conversión de  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$ ;

15 - la Figura 2 es una vista esquemática de un dispositivo de percusión para percutir contra el horno de pirohidrólisis; y  
- la Figura 3 es una vista esquemática de un dispositivo de emisión de  $\text{UF}_6$  gaseoso para la alimentación en modo continuo del reactor de hidrólisis.

**[0022]** La instalación de conversión 2 ilustrada en la Figura 1 comprende un reactor 4 de hidrólisis para la  
20 conversión de  $\text{UF}_6$  en polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$ , por reacción entre  $\text{UF}_6$  gaseoso y vapor de agua seco inyectados en el reactor 4.

**[0023]** La instalación de conversión 2 comprende un horno 6 de pirohidrólisis para la conversión del polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  suministrado por el reactor 4 en polvo de  $\text{UO}_2$ , por reacción del polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  con vapor de agua seco y  $\text{H}_2$   
25 gaseoso inyectados en el horno 6.

**[0024]** La instalación de conversión 2 comprende un dispositivo de alimentación 8 configurado para inyectar los gases reactivos ( $\text{UF}_6$  gaseosos, vapor de agua seco y  $\text{H}_2$  gaseoso) en el reactor 4 y en el horno 6.

30 **[0025]** El dispositivo de alimentación 8 se alimenta a partir de fuentes de gases reactivos, que comprenden al menos una fuente de  $\text{UF}_6$  gaseoso, al menos una fuente de vapor de agua seco y al menos una fuente de  $\text{H}_2$  gaseoso.

**[0026]** El dispositivo de alimentación 8 comprende conductos de inyección de reactivo 10 para la inyección de gases reactivos en el reactor 4 y en el horno 6. Los conductos de inyección de reactivo 10 comprenden un conducto  
35 de inyección de  $\text{UF}_6$  que alimenta el reactor 4, un primer conducto de inyección de vapor que alimenta el reactor 4, un segundo conducto de inyección de vapor que alimenta el horno 6 y un conducto de inyección de  $\text{H}_2$  que alimenta el horno 6.

**[0027]** El dispositivo de alimentación 8 está configurado además para la inyección de un gas neutro en el reactor  
40 4, en particular en fase de producción de la instalación de conversión 2, de forma que la conversión de  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2\text{F}_2$  se efectúa bajo una atmósfera de gas neutro. En este caso, preferentemente, el dispositivo de alimentación 8 está configurado para permitir la inyección de gas neutro en el reactor 4 sin inyectar gas neutro en el horno 6.

**[0028]** El gas neutro inyectado en el reactor 4 en fase de producción para la realización de la conversión de  
45  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2\text{F}_2$  se denomina en lo sucesivo «gas neutro de barrido».

**[0029]** El dispositivo de alimentación 8 está configurado preferentemente para la inyección del gas neutro de barrido conjuntamente con el vapor de agua seco ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y el  $\text{UF}_6$ .

50 **[0030]** Para ello, como en el ejemplo ilustrado, el dispositivo de alimentación 8 comprende, por ejemplo, un inyector concéntrico 11 que permite inyectar el vapor de agua seco ( $\text{H}_2\text{O}$ ), el  $\text{UF}_6$  y el gas neutro de barrido de manera concéntrica, es decir, formando tres chorros de inyección concéntricos.

**[0031]** Preferentemente, el dispositivo de alimentación 8 está configurado además para la inyección de gas  
55 neutro en el reactor 4 y en el horno 6, de forma que pueda mantener una atmósfera de gas neutro en el reactor 4 y en el horno 6 cuando la instalación de conversión 2 no está en fase de producción.

**[0032]** Así, en fase de producción, el dispositivo de alimentación 8 inyecta gas neutro de barrido en el reactor  
60 4 para realizar la conversión de  $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2\text{F}_2$  bajo una atmósfera de gas neutro, sin inyectar gas neutro en el horno 6, y, en fase de puesta en parada y de arranque, el dispositivo de alimentación 8 inyecta gas neutro en el reactor 4 y en el horno 6 para mantener una atmósfera de gas neutro.

**[0033]** El dispositivo de alimentación 8 comprende uno o varios conductos de inyección de gas neutro 12 para  
65 la inyección de gas neutro en el reactor 4 y/o en el horno 6. Cada conducto de inyección de gas neutro 12 se alimenta a partir de una fuente de gas neutro. El gas neutro es preferentemente nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

- [0034]** En el ejemplo ilustrado, el inyector concéntrico 11 se alimenta por el conducto de inyección de reactivo 10 que alimenta el reactor 4 con vapor de agua ( $H_2O$ ), por el conducto de inyección de reactivo 10 que alimenta el reactor 4 con  $UF_6$ , y por un conducto de inyección de gas neutro 12, para la inyección del gas neutro de barrido en el reactor 4. Como opción, el dispositivo de alimentación 8 está configurado para la alimentación del conducto de inyección de reactivo 10 que alimenta el reactor 4 con vapor de agua ( $H_2O$ ) y/o del conducto de inyección de reactivo 10 que alimenta el reactor 4 con  $UF_6$  con gas neutro durante una puesta en parada o un arranque de la instalación de conversión 2.
- 10 **[0035]** El dispositivo de alimentación 8 comprende un accionador de alimentación 14 respectivo dispuesto a la entrada de cada conducto de inyección de reactivo 10 o de gas neutro 12, tal que el accionador de alimentación 14 permite controlar el flujo del gas en el conducto de inyección.
- [0036]** Preferentemente, los accionadores de alimentación 14 están previstos en forma de reguladores de caudales, capaces de mantener el caudal de gas que los atraviesa en un valor de referencia.
- 15 **[0037]** Preferentemente y con el fin de evitar cualquier riesgo de fuga de  $UF_6$ , los accionadores de alimentación 14 del dispositivo de alimentación 8 son resistentes a los esfuerzos sísmicos.
- 20 **[0038]** La instalación de conversión 2 comprende un sistema de control 16 electrónico para controlar la instalación de conversión 2 y especialmente el dispositivo de alimentación 8, en particular los accionadores de alimentación 14.
- [0039]** Tal como se ilustra en la Figura 1, el reactor 4 delimita una cámara de reacción 18 donde desembocan los conductos de inyección de reactivo 10 que alimentan el reactor 4 con  $UF_6$  gaseoso y con vapor de agua seco, y donde se produce la conversión del  $UF_6$  en  $UO_2F_2$  por hidrólisis. El  $UO_2F_2$  así obtenido se presenta en forma de un polvo que cae al fondo de la cámara de reacción 18.
- 25 **[0040]** El reactor 4 posee una tubuladura de salida 20 que se extiende a partir de la cámara de reacción 18 y conectada al horno 6 para transferir el polvo de  $UO_2F_2$  del fondo de la cámara de reacción 18 hacia el horno 6.
- 30 **[0041]** La instalación de conversión 2 comprende un recinto térmico 22 que rodea al reactor 4 y un dispositivo de calentamiento 24 para calentar el volumen interno del recinto térmico 22 y, por tanto, el reactor 4.
- 35 **[0042]** El horno 6 posee una entrada 26 conectada a la tubuladura de salida 20 del reactor 4 para recibir el polvo de  $UO_2F_2$  y una salida 28 para suministrar el polvo de  $UO_2$ .
- [0043]** La instalación de conversión 2 comprende un dispositivo de transferencia 30 para transferir el polvo de  $UO_2F_2$  de la cámara de reacción 18 hacia el horno 6. El dispositivo de transferencia 30 comprende en este caso un tornillo sin fin motorizado arrastrado por un motor para empujar el polvo de  $UO_2F_2$  desde la cámara de reacción 18 hacia la entrada 26 del horno 6.
- 40 **[0044]** El horno 6 comprende un tambor 32 que presenta un eje central C, del que un extremo axial forma la entrada 26 y el extremo axial opuesto forma la salida 28 del horno 6.
- 45 **[0045]** El tambor 32 está previsto para la circulación del polvo de  $UO_2F_2$  de la entrada 26 hacia la salida 28 con circulación de vapor de agua seco y de  $H_2$  en el horno 6 a contracorriente del polvo de  $UO_2F_2$ .
- [0046]** El tambor 32 está montado de forma giratoria alrededor de su eje central C inclinado con respecto a la horizontal de manera que la entrada 26 está más elevada que la salida 28, tal que la rotación del tambor 32 provoca el avance del polvo de la entrada 26 hacia la salida 28.
- 50 **[0047]** El horno 6 comprende un dispositivo de accionamiento en rotación 33 motorizado configurado para el accionamiento del tambor 32 en rotación alrededor de su eje central C. El dispositivo de accionamiento en rotación 33 comprende, por ejemplo, un motor y un dispositivo de transmisión, por ejemplo, de cadena o de correa, que acopla el motor al tambor 32.
- 55 **[0048]** Como opción, el horno 6 está provisto ventajosamente de una manivela que permite hacer girar el tambor 32 manualmente en caso de avería del dispositivo de accionamiento en rotación 33.
- 60 **[0049]** El tambor 32 está provisto preferentemente de deflectores 35 dispuestos en el interior del tambor 32 para controlar el flujo de los gases reactivos y el tiempo de paso del polvo en el horno 6.
- [0050]** Como opción, el tambor 32 está provisto de miembros de elevación 37 dispuestos en saliente en la superficie interna del tambor 32 y configurados para levantar y hacer volver a caer el polvo presente en el tambor 32
- 65

debido a la rotación del tambor 32 alrededor del eje central C, para mejorar la mezcla del polvo y favorecer una puesta en contacto homogénea de las partículas de polvo con los gases reactivos que circulan en el tambor 32. Los miembros de elevación 37 se presentan, por ejemplo, en forma de álabes de elevación o de ángulos de elevación distribuidos en la superficie interna del tambor 32.

5

**[0051]** En una realización ventajosa, el tambor 32 del horno 6 y el dispositivo de transferencia 30 de la cámara de reacción 18 están configurados para funcionar independientemente entre sí, en particular para permitir la parada del uno a la vez que se mantiene el funcionamiento del otro.

10 **[0052]** En el ejemplo ilustrado, el tambor 32 del horno 6 y el dispositivo de transferencia 30 de la cámara de reacción 18 están configurados para una rotación independiente del tornillo sin fin del dispositivo de transferencia 30, por una parte, y del tambor 32, por otra parte, y en particular para la parada de la rotación de uno entre el tornillo sin fin y el tambor 32 a la vez que se mantiene la rotación del otro.

15 **[0053]** Esta disposición permite, en las fases de puesta en parada de la instalación de conversión 2, terminar de evacuar el polvo de  $UO_2$  del horno 6 mientras el reactor 4, y especialmente el dispositivo de transferencia 30, está ya en parada.

20 **[0054]** En el ejemplo ilustrado, el segundo conducto de inyección de vapor y el conducto de inyección de  $H_2$  alimentan el tambor 32 por la salida 28 para la circulación del vapor de agua seco de pirohidrólisis y del  $H_2$  de la salida 28 hacia la entrada 26 del horno 6.

25 **[0055]** En el ejemplo ilustrado, un conducto de inyección de gas neutro 12 está conectado al conducto de inyección de reactivo 10 para la inyección de  $H_2$  en el horno 6 y/o al conducto de inyección de reactivo 10 para la inyección de  $H_2O$  en el horno 6, de manera que inyecta gas neutro en el horno 6 por medio de este o estos conductos de inyección de reactivo 10 durante la parada o el arranque de la instalación de conversión 2, de manera que el gas neutro inyectado circula entonces de la salida 28 del horno 6 hacia la entrada 26 del horno 6. Como opción o como variante, el dispositivo de alimentación 8 comprende un conducto de inyección de gas neutro 12 para la inyección de gas neutro en el horno 6 que desemboca directamente en el horno 6 sin pasar por medio de un conducto de inyección de reactivo 10.

30 **[0056]** La alimentación de un conducto de inyección de reactivo 10 con gas neutro durante la parada de la instalación de conversión 2 permite purgar este conducto de inyección de reactivo 10 durante la parada a la vez que se inyecta el gas neutro. La alimentación de un conducto de inyección de reactivo 10 con gas neutro durante un arranque permite el ascenso de temperatura de la instalación de conversión 2 y la alimentación de la instalación de conversión 2 con reactivos cuando se alcanzan los parámetros de la reacción en el reactor 4, respectivamente el horno 6.

35 **[0057]** El horno 6 comprende un dispositivo de calentamiento 34 para calentar el tambor 32. El dispositivo de calentamiento 34 comprende elementos calefactores 36 que rodean al tambor 32 y están distribuidos a lo largo del tambor 32. El horno 6 comprende un recinto térmico 38 que rodea al tambor 32 y a los elementos calefactores 36.

40 **[0058]** La instalación de conversión 2 comprende un dispositivo de recogida 40 para recoger el polvo a la salida del horno 6. El dispositivo de recogida 40 comprende una tubuladura de entrada 42 conectada a la salida 28 del horno 6 y que desemboca en un recipiente de recogida 44. El dispositivo de recogida 40 comprende un recinto térmico 46 que rodea al recipiente de recogida 44. El segundo conducto de inyección de vapor y el conducto de inyección de  $H_2$  desembocan preferentemente en el recipiente de recogida 44.

45 **[0059]** La instalación de conversión 2 comprende un dispositivo de captación 50 para captar y evacuar los gases que ascienden en el reactor 4, lo que comprende los gases reactivos en exceso, del fluoruro de hidrógeno (HF) resultante de la conversión y el gas neutro.

50 **[0060]** El dispositivo de captación 50 está dispuesto en el reactor 4, preferentemente en una región superior de la cámara de reacción 18.

55

**[0061]** El dispositivo de captación 50 comprende una pluralidad de filtros 52 para retener los materiales sólidos que pueden ser arrastrados por los gases que ascienden en el reactor 4, especialmente partículas de  $UO_2F_2$ , e incluso de  $UO_2$ .

60 **[0062]** Los filtros 52 están constituidos, por ejemplo, por un material poroso que permite el paso de los gases reactivos en exceso, del gas neutro y del HF resultante de la reacción de conversión del  $UF_6$  en  $UO_2F_2$  y después en  $UO_2$  a la vez que se conserva una capacidad de retención de las partículas de  $UO_2F_2$  o de  $UO_2$ . En una realización privilegiada, los filtros 52 están hechos de cerámica o de una superaleación con base de níquel.

65 **[0063]** Los polvos de  $UO_2F_2$  y de  $UO_2$  son volátiles y fáciles de arrastrar por los flujos gaseosos. Además,

tienden a adherirse a las superficies con las que están en contacto.

- [0064]** En funcionamiento, se crean entonces aglomerados de polvo, más o menos heterogéneos en términos de composición y más o menos compactos, en los filtros 52 y en las paredes del reactor 4 y del horno 6. Estos aglomerados de polvo que contienen material fisionable pueden concentrarse especialmente en zonas de retención que pueden existir en diversos puntos de la instalación de conversión 2, como por ejemplo, en la unión entre el reactor 4 y el horno 6.
- [0065]** Los aglomerados de polvo pueden desprenderse por su propio peso y mezclarse con el polvo de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  y el polvo de  $\text{UO}_2$  en estado pulverulento. La presencia de núcleos compactos en el polvo crea heterogeneidades de tratamiento del polvo en el horno 6 y puede conducir a la presencia de partículas de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  residuales en el polvo de  $\text{UO}_2$  obtenido al final de la conversión, con lo que se degrada su calidad.
- [0066]** Además, la acumulación de polvo en los filtros 52 provoca una colmatación progresiva de los filtros 52 y conlleva una elevación de la presión interna del reactor 4. Las variaciones de presión tienen un impacto significativo en el mantenimiento de una calidad constante del polvo de  $\text{UO}_2$  obtenida al final de la conversión y una presión interna demasiado importante del reactor 4 puede provocar una puesta en seguridad de la instalación de conversión 2.
- [0067]** Cuando los filtros 52 están colmatados por los polvos de  $\text{UO}_2\text{F}_2$  y/o de  $\text{UO}_2$ , es necesario parar la instalación de conversión 2 y limpiar o cambiar los filtros 52, lo que resulta molesto y costoso.
- [0068]** También puede producirse un taponamiento en el dispositivo de inyección de los reactivos en el reactor 4, en este caso el inyector concéntrico 11. De hecho, si la presión y la temperatura de inyección de los gases no son suficientes, el  $\text{UF}_6$  puede cristalizar en la salida del inyector concéntrico 11 y así taponar la alimentación con reactivos del reactor 4. Por tanto es importante conservar una presión de alimentación constante, en particular durante los cambios de fuente de  $\text{UF}_6$ .
- [0069]** La instalación de conversión 2 comprende ventajosamente un dispositivo de descolmatación 53 configurado para la descolmatación de los filtros 52, por ejemplo, por inyección de impulso de gas neutro a través de los filtros 52 a contracorriente, es decir, hacia el interior de la cámara de reacción 18 del reactor 4. El gas neutro es, por ejemplo, nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).
- [0070]** La inyección de gas neutro a contracorriente puede perturbar el equilibrio de presión en el interior del reactor 4. Es conveniente realizar la descolmatación de manera controlada, según parámetros determinados para limitar las perturbaciones del funcionamiento del reactor 4, y especialmente de la presión en el interior del reactor 4.
- [0071]** Ventajosamente, el dispositivo de descolmatación 53 está configurado para realizar la descolmatación de los filtros 52 de manera automatizada, procediendo a la descolmatación de manera secuencial por grupos de filtro o filtros 52 distintos.
- [0072]** El dispositivo de descolmatación 53 está configurado así para inyectar el gas neutro a contracorriente en secuencia en los diferentes grupos de filtro o filtros 52. Cada grupo de filtro o filtros 52 comprende un solo filtro 52 o varios filtros 52.
- [0073]** En una realización privilegiada, los filtros 52 se agrupan en dos grupos que contienen cada uno una mitad respectiva de los filtros 52 y la descolmatación se lleva a cabo alternativamente en los dos grupos con una inyección de gas neutro realizada periódicamente, por ejemplo, cada 30 segundos. También es posible realizar el ciclo de descolmatación, por ejemplo, por tercios o por cuartos y/o adaptar la frecuencia de inyección.
- [0074]** La presión de inyección de gas neutro a contracorriente en cada filtro 52 se elige para limitar las perturbaciones en el reactor 4. Una presión relativa aplicada a cada filtro 52, preferentemente comprendida entre 2 y 5 bares, en particular entre 3 y 4,5 bares, permite obtener una descolmatación satisfactoria del filtro 52. Salvo que en el texto se indique lo contrario, la expresión «presión relativa» hace referencia a la diferencia de presión con respecto a la presión atmosférica.
- [0075]** Con el fin de garantizar una presión constante de inyección del gas neutro, el dispositivo de descolmatación 53 es alimentado, por ejemplo, por un depósito 55 que contiene el gas neutro y que se mantiene a una presión constante.
- [0076]** El tiempo de inyección de gas neutro a contracorriente en cada filtro 52 se elige para limitar las perturbaciones en el reactor 4 a la vez que se permite una descolmatación satisfactoria, en particular en toda la superficie del filtro 52 en el curso del tiempo de inyección. El tiempo de inyección de gas neutro a contracorriente en cada filtro 52 es, por ejemplo, inferior a 1 s.
- [0077]** Preferentemente, durante la inyección de gas neutro a contracorriente en cada filtro 52, el dispositivo de

captación 50 está configurado para cortar la aspiración a través de este filtro 52 antes de la inyección de gas neutro a favor de corriente para evitar que el gas neutro usado para la descolmatación se escape directamente por medio del dispositivo de captación 50.

5 **[0078]** Preferentemente, el dispositivo de descolmatación 53 está configurado para realizar la descolmatación de manera cíclica, en particular con un periodo elegido para evitar la acumulación de polvos en los filtros 52 a la vez que se limita el impacto de esta inyección en el funcionamiento de la instalación de conversión 2. Preferentemente, el periodo está comprendido entre 30 segundos y 1 minuto.

10 **[0079]** Así, según una realización preferida, el dispositivo de descolmatación está configurado para repetir la secuencia de descolmatación automáticamente de manera cíclica (o periódica). Una descolmatación automática, secuencial y periódica, de los filtros 52 permite asegurar un funcionamiento de la instalación de conversión 2, por ejemplo, a una presión relativa comprendida entre 10 mbar y 500 mbar en el reactor 4, preferentemente entre 50 y 400 mbar y más preferentemente entre 100 y 350 mbar, lo que permite obtener un polvo de  $UO_2$  que presenta características satisfactorias, especialmente un contenido de flúor razonable y sustancialmente constante en el curso del tiempo.

**[0080]** La descolmatación de los filtros 52 provoca la caída de los núcleos de polvo formados en los filtros 52 y evita una elevación de presión excesiva en la cámara de reacción 18.

20 **[0081]** La descolmatación secuencial y periódica permite limitar el tamaño y la compacidad de los aglomerados de materiales sólidos formados en los filtros 52 y evitar su desprendimiento bajo su propio peso y su caída por gravedad en una cantidad demasiado importante al fondo de la cámara de reacción 18 en el dispositivo de transferencia 30. La mezcla de aglomerados compactos con el polvo de  $UO_2F_2$  en estado pulverulento puede inducir de hecho heterogeneidades en las características físicas y químicas del polvo de  $UO_2$  que se obtiene y en particular en su contenido de flúor.

25 **[0082]** La descolmatación realizada por grupos de varios filtros 52 evita que el polvo expulsado de un filtro 52 se adhiera en otro filtro 52 como podría suceder con una descolmatación individual de los filtros 52. La descolmatación realizada por grupos de varios filtros 52 permite generar una niebla de polvo y limitar la formación de núcleos.

**[0083]** Como complemento facultativo de la descolmatación secuencial y periódica, el dispositivo de descolmatación 53 puede comprender un control, manual o automático, para permitir una descolmatación puntual de los filtros 52, especialmente cuando estos llegan al final de vida y la descolmatación secuencial y periódica se vuelve insuficiente. Esta descolmatación puntual puede ser una descolmatación unitaria de los filtros 52 o una descolmatación de un grupo de filtros 52 de tamaño reducido.

35 **[0084]** Como se ilustra en la Figura 1, preferentemente, la instalación de conversión 2 comprende además al menos un dispositivo de flujo 56 destinado a evitar la acumulación de polvo en las paredes de la cámara de reacción 18 y la adhesión en las paredes de la cámara de reacción 18 de los núcleos de polvo evacuados de los filtros 52 durante la operación de descolmatación.

**[0085]** El dispositivo de flujo 56 permite favorecer un flujo continuo del polvo y condiciones estables de alimentación del horno 6 con polvo de  $UO_2F_2$  tanto en términos de cantidad como en términos de calidad, y especialmente con un contenido de flúor estable en el tiempo.

**[0086]** El dispositivo de flujo está configurado para poner en vibración y/o percutir contra al menos una pared del reactor 4, preferentemente de forma regular o continua.

45 **[0087]** El dispositivo de flujo 56 comprende, por ejemplo, uno o varios miembros de percusión, estando cada miembro de percusión configurado para percutir contra una pared del reactor 4 de manera que se genera una onda de choque en las paredes del reactor 4, y/o uno o varios miembros vibradores, por ejemplo, cubetas vibrantes, estando cada miembro vibrador dispuesto en una pared del reactor 4 y configurado para generar una señal vibratoria (o vibración) y transmitir esta vibración a las paredes del reactor 4. En un modo preferido, el dispositivo de flujo 56 comprende uno o varios miembros que generan a la vez choques para desprender el polvo de la pared y vibraciones para ayudar a que fluya.

**[0088]** En lo sucesivo los miembros de percusión, los miembros vibradores y los miembros que suministran las dos funciones se denominan «miembros de flujo».

60 **[0089]** Así, de manera general, el dispositivo de flujo comprende al menos un miembro de flujo configurado para poner en vibración y/o percutir contra una pared del reactor 4.

**[0090]** Los miembros de flujo permiten la puesta en vibración regular o incluso continua de las paredes del reactor 4.

**[0091]** El dispositivo de flujo 56 comprende en este caso cuatro miembros de flujo 58, por ejemplo, de tipo electropercutor, dispuestos dos a dos en dos posiciones diametralmente opuestas de la superficie exterior de la pared del reactor 4.

5

**[0092]** Ventajosamente, cuando el dispositivo de flujo 56 comprende varios miembros de flujo 58, cuando el reactor 4 está en funcionamiento, los miembros de flujo 58 se controlan para que actúen en secuencia.

**[0093]** El número, la posición y la secuencia de funcionamiento de los miembros de flujo 58 pueden adaptarse según la geometría del reactor 4, de la calidad del polvo y de los parámetros de funcionamiento del dispositivo de descolmatación 53.

**[0094]** Cada miembro de flujo 58 puede fijarse directamente en la pared del reactor 4 o, por ejemplo, por medio de una pieza intermedia. En este caso, la pieza intermedia es, por ejemplo, extraíble para facilitar su mantenimiento.

15

**[0095]** La asociación del dispositivo de descolmatación 53 y de un dispositivo de flujo 56 permite limitar el tamaño y la compacidad de los núcleos de polvo que se depositan en los filtros 52 y en las paredes del reactor 4, regular la recaída de los núcleos al fondo de reactor 4 y así asegurar la homogeneidad del polvo de  $UO_2$  especialmente con un contenido de flúor sustancialmente constante en el curso del tiempo.

20

**[0096]** La instalación de conversión 2 comprende dispositivos de estanqueidad 54 para asegurar la estanqueidad entre el dispositivo de transferencia 30 y la cámara de reacción 18, entre el reactor 4 y el horno 6 y entre el horno 6 y el dispositivo de recogida 40. Los dispositivos de estanqueidad 54 están dispuestos en la unión entre el dispositivo de transferencia 30 y la cámara de reacción 18, en la unión entre la tubuladura de salida 20 del reactor 4 y la entrada 26 del horno 6 y en la unión entre la salida 28 del horno 6 y la tubuladura de entrada 42 del dispositivo de recogida 40. Los dispositivos de estanqueidad 54 aseguran la estanqueidad al hacer posible la rotación del dispositivo de transferencia 30 con respecto al reactor 4 y la rotación del tambor 32 del horno 6 con respecto al reactor 4 y al dispositivo de recogida 40.

25

**[0097]** Los dispositivos de estanqueidad 54 se presurizan con un gas neutro, y preferentemente con nitrógeno.

30

**[0098]** Para este fin, como se ilustra en la Figura 1, la instalación de conversión 2 comprende, por ejemplo, alimentaciones de presurización 57 dispuestas para alimentar los dispositivos de estanqueidad 54 con un gas neutro de presurización.

35

**[0099]** La presión del gas neutro que alimenta los dispositivos de estanqueidad 54 es superior a la presente en la instalación de conversión 2 para evitar toda diseminación de polvo al exterior de la instalación de conversión 2. En la práctica, el gas neutro de presurización de los dispositivos de estanqueidad 54 puede pasar al reactor 4 y/o al horno 6, y los parámetros de funcionamiento del reactor 4 y del horno 6 se adaptan para tener en cuenta esta aportación de gas neutro.

40

**[0100]** La instalación de conversión 2 comprende al menos un dispositivo de percusión 60 para percutir contra una superficie de percusión 62 del horno 6 de manera que se desprenda el polvo de  $UO_2F_2$  o de  $UO_2$  de la superficie interna del tambor 32.

45

**[0101]** La instalación de conversión 2 comprende en este caso un dispositivo de percusión 60 dispuesto en cada extremo axial del tambor 32 para percutir contra una superficie de percusión 62 formado por la superficie externa del extremo axial del tambor 32 que sale axialmente del recinto térmico 38 del horno 6. Como variante, la superficie de percusión 62 se define por cualquier otra superficie del horno 6 que permita transmitir vibraciones a la pared periférica del tambor 32 cuando se percute contra esta superficie de percusión 62 del horno 6.

50

**[0102]** La instalación de conversión 2 puede comprender ventajosamente varios dispositivos de percusión 60 dispuestos en un mismo extremo del tambor 32 estando distribuidos en sentido angular alrededor del tambor 32.

55

**[0103]** En un modo preferido, la instalación de conversión 2 comprende dos grupos de dispositivos de percusión 60, estando cada grupo dispuesto en un extremo respectivo entre los dos extremos del tambor 32, y estando los dispositivos de percusión 60 de cada grupo distribuidos en sentido angular alrededor del tambor 32.

60

**[0104]** Los dispositivos de percusión 60 son similares. En la Figura 2 se ilustra más en detalle solo un dispositivo de percusión 60.

60

**[0105]** Como se ilustra en la Figura 2, cada dispositivo de percusión 60 comprende un percutor 64 móvil con respecto a la superficie de percusión 62 según una dirección de percusión P y una pieza intermedia 66 dispuesta entre el percutor 64 y la superficie de percusión 62 de manera que el percutor 64 golpea la superficie de percusión 62 por medio de la pieza intermedia 66, tal que la pieza intermedia 66 puede moverse según la dirección de percusión P entre

65

una posición separada de la superficie de percusión 62 y una posición de contacto con la superficie de percusión 62 del horno 6.

5 **[0106]** La dirección de percusión P es en este caso perpendicular al plano tangente a la superficie de percusión 62 en el punto de contacto de la pieza intermedia 66 con la superficie de percusión 62. La dirección de percusión P es en este caso sustancialmente radial con respecto al eje central C del tambor 32.

10 **[0107]** El percutor 64 es llevado por un accionador de percusión 68 capaz de desplazar el percutor 64 en traslación alternativa según la dirección de percusión P. El accionador de percusión 68 es en este caso un elevador hidráulico o neumático de doble efecto.

15 **[0108]** El dispositivo de percusión 60 posee un soporte 70 que lleva el accionador 68 y la pieza intermedia 66, de manera que la pieza intermedia 66 se sitúa entre el percutor 64 y la superficie de percusión 62. La pieza intermedia 66 está montada de forma deslizante en el soporte 70 según la dirección de percusión P.

20 **[0109]** La pieza intermedia 66 posee una superficie trasera 66A destinada a ser golpeada por el percutor 64, y una superficie delantera 66B destinada a entrar en contacto con la superficie de percusión 62. En posición de contacto, la superficie delantera 66B está en contacto con la superficie de percusión 62, y en posición separada, la superficie delantera 66B está separada de la superficie de percusión 62.

25 **[0110]** El dispositivo de percusión 60 comprende un miembro elástico 72 de recuperación dispuesto para volver a llevar la pieza intermedia 66 a la posición separada. La pieza intermedia 66 es recibida en un alojamiento 74 del soporte 70, estando el miembro elástico 72 interpuesto entre un resalte interno 74A del alojamiento 74 y un resalte externo 66C de la pieza intermedia 66.

**[0111]** El miembro elástico 72 es en este caso un muelle helicoidal que rodea a la pieza intermedia 66 y se comprime cuando la pieza intermedia 66 se desplaza de la posición separada a la posición de contacto.

30 **[0112]** El dispositivo de percusión 60 comprende un sensor de posición 76 que permite conocer la posición del percutor 64. El sensor de posición 76 es, por ejemplo, un sensor inductivo dispuesto cerca de la pieza intermedia 66, y que permite determinar si el percutor 64 está en contacto o no con la pieza intermedia 66. El accionador de percusión 68 está controlado según la señal de posición suministrada por el sensor de posición 76.

35 **[0113]** En funcionamiento, el accionador de percusión 68 desplaza el percutor 64 en traslación alternativa de manera que separa el percutor 64 de la pieza intermedia 66 y después desplaza el percutor 64 contra la pieza intermedia 66, de forma que percute contra la superficie de percusión 62 por medio de la pieza intermedia 66. El percutor 64 desplaza la pieza intermedia 66 de la posición separada a la posición de contacto contra el miembro elástico 72.

40 **[0114]** Los impactos repetidos del percutor 64 podrían dañar el percutor 64 en sí y la superficie externa del tambor 32. La previsión de una pieza intermedia 66 distinta del percutor 64 y que no esté relacionada de manera permanente con el horno 6, permite usar la pieza intermedia 66 como pieza sacrificial o pieza de desgaste. En el ejemplo ilustrado, la pieza intermedia 66 está montada de manera que puede moverse con respecto al horno 6.

45 **[0115]** La obtención de un polvo de  $UO_2$  que presente características satisfactorias, especialmente un contenido de impurezas, esencialmente flúor, inferior a 50 ppm, una distribución granulométrica homogénea situada, por ejemplo, en la gama comprendida entre 20 y 100  $\mu m$ , y una superficie específica inferior a 4  $m^2/g$ , depende de las condiciones operativas de hidrólisis y de pirohidrólisis, especialmente de los caudales de alimentación de los reactivos y de la temperatura.

50 **[0116]** El dispositivo de alimentación 8 está configurado para alimentar los reactivos y el gas neutro, especialmente el gas neutro de barrido, con caudales determinados.

55 **[0117]** El dispositivo de calentamiento 24 del reactor 4 está configurado para mantener la cámara del reactor 4 en un intervalo de temperatura adecuado para la obtención de polvos de  $UO_2F_2$  y después de  $UO_2$  con las características deseadas.

60 **[0118]** De manera ventajosa, durante una fase de producción estabilizada, el caudal másico por hora de alimentación del reactor 4 con  $UF_6$  gaseoso está comprendido entre 75 y 130 kg/h, el caudal másico por hora de alimentación del reactor 4 con vapor de agua seco de hidrólisis está comprendido entre 15 y 30 kg/h y la temperatura en el reactor 4 está comprendida entre 150 y 250°C.

65 **[0119]** Estos intervalos de valores permiten obtener polvo de  $UO_2F_2$  que permite *in fine* obtener polvo de  $UO_2$  que presenta las características deseadas. En particular, estos intervalos de valores permiten obtener polvo de  $UO_2$  que tiene una superficie específica de grano comprendida entre 1  $m^2/g$  y 4  $m^2/g$ , y preferentemente entre 1,9  $m^2/g$

2,9 m<sup>2</sup>/g. Además, estos intervalos de valores permiten obtener polvo de UO<sub>2</sub> con un contenido residual de flúor (F) inferior a 50 ppm, preferentemente inferior a 35 ppm y más preferentemente inferior a 20 ppm.

5 **[0120]** En una realización ventajosa, el caudal másico por hora de alimentación del reactor 4 en UF<sub>6</sub> gaseoso está comprendido entre 90 y 120 kg/h y el caudal másico por hora de alimentación del reactor 4 con vapor de agua seco de hidrólisis está comprendido entre 20 y 25 kg/h.

10 **[0121]** Para evitar la cristalización del UF<sub>6</sub> durante su inyección en el reactor 4, el reactor 4 se alimenta con UF<sub>6</sub> a una temperatura de alimentación comprendida entre 75°C y 130°C, preferentemente entre 90°C y 120°C.

**[0122]** En una realización particular, la instalación de conversión 2 comprende un dispositivo de emisión que permite emitir el UF<sub>6</sub> en modo continuo hacia el reactor 4 con un caudal y una temperatura de UF<sub>6</sub> regulados.

15 **[0123]** El UF<sub>6</sub> es transportado en depósitos que son, por ejemplo, cilíndricos. A temperatura ambiente, el UF<sub>6</sub> se encuentra en estado sólido. El paso del estado sólido al estado gaseoso se efectúa mediante el calentamiento de los depósitos, por ejemplo, en un recinto calefactor, en particular en una estufa (no estanca) o en un autoclave (estanco).

20 **[0124]** Como se ilustra en la Figura 3, la instalación de conversión 2 posee un dispositivo de emisión 82 para la alimentación del reactor 4 con UF<sub>6</sub> gaseoso a partir de depósitos 84 que contienen UF<sub>6</sub>. Cada depósito 84 está cerrado por una válvula 85 de estanqueidad.

25 **[0125]** El dispositivo de emisión 82 comprende al menos dos recintos calefactores 86, estando cada recinto calefactor 86 previsto para recibir un depósito 84 de UF<sub>6</sub> en estado sólido y calentarlo para generar UF<sub>6</sub> en estado gaseoso, estando el dispositivo de emisión 82 configurado para alimentar el reactor 4 en secuencia a partir de los recintos calefactores 86, pasando de un recinto calefactor 86 actual a un recinto calefactor 86 siguiente cuando el depósito 84 recibido en dicho recinto calefactor 86 actual no está suficientemente lleno, preferentemente sin interrupción del flujo de UF<sub>6</sub> gaseoso que alimenta el reactor 4. Preferentemente, cada recinto calefactor 86 es capaz de calentar y mantener el depósito 84 respectivo a una temperatura superior a la temperatura de punto triple del UF<sub>6</sub>,  
30 por ejemplo, a una temperatura superior a 75°C y preferentemente a una temperatura nominal de 95°C, por ejemplo, 95°C ± 10°C.

35 **[0126]** El dispositivo de emisión 82 comprende así un circuito de alimentación 87 configurado para la emisión de UF<sub>6</sub> hacia el reactor 4 selectivamente a partir de uno de los calefactores 86, durante lo cual cada otro recinto calefactor 86 calienta un depósito 84 en espera de la emisión de UF<sub>6</sub> a partir de este depósito 84 o se recarga con un depósito 84 lleno de UF<sub>6</sub>.

40 **[0127]** Cada recinto calefactor 86 está conectado, por ejemplo, al reactor 4 por medio de una válvula 88 de regulación de caudal respectiva cuyo cierre permite aislar el recinto calefactor 86 del reactor 4 y cuya apertura permite conectar de manera fluida el recinto calefactor 86 al reactor 4. La apertura de la válvula 85 del depósito 84 y después de la válvula 88 permite el flujo del UF<sub>6</sub> del recinto calefactor 86 hacia el reactor 4 debido a una diferencia de presión entre el depósito 84 y el reactor 4. El recinto calefactor 86 está entonces en un modo de emisión pasiva.

45 **[0128]** Como opción, cada depósito 84 está conectado al reactor 4 por medio de una bomba 90 respectiva asociada a cada recinto calefactor 86 y dispuesta en paralelo a la válvula 88 asociada a este recinto calefactor 86. La bomba 90 es preferentemente una bomba de desplazamiento positivo y más preferentemente una bomba volumétrica de fuelles.

50 **[0129]** La activación de la bomba 90 permite forzar la circulación del UF<sub>6</sub> gaseoso del recinto calefactor 86 hacia el reactor 4 cuando la presión en el depósito 84 contenido en el recinto calefactor 86 es insuficiente para asegurar esta circulación. El recinto calefactor 86 está entonces en un modo de emisión activa. Cuando la válvula 88 está abierta, la bomba 90 es sorteada.

55 **[0130]** El dispositivo de emisión 82 comprende, por ejemplo, un dispositivo para abrir la válvula del depósito 84 respectivo desde el exterior de cada recinto calefactor 86 y una unidad de control electrónico 92 configurada para controlar la válvula 88 y en su caso la bomba 90 asociada a cada recinto calefactor 86 y asegurar la alimentación en secuencia a partir de los recintos calefactores 86, y, en su caso, el paso del modo pasivo al modo activo para cada recinto calefactor 86.

60 **[0131]** El dispositivo de emisión 82 está configurado, por ejemplo, para controlar el paso de un recinto calefactor 86 al siguiente, y en su caso el paso del modo pasivo al modo activo de manera subordinada a la presión en cada depósito 84.

**[0132]** Para ello, el dispositivo de emisión 82 comprende, por ejemplo, un sensor de presión 94 asociado a cada depósito 84, estando la unidad de control electrónico 92 configurada para controlar la válvula 88 y en su caso la

bomba 90 asociada a cada recinto calefactor 86 según las medidas suministradas por los sensores de presión 94.

**[0133]** En el inicio de un ciclo de producción, se recalienta un depósito 84 en un primer recinto calefactor 86 preferentemente en una atmósfera de gas neutro para mejorar los intercambios térmicos entre la atmósfera del recinto calefactor 86 y el depósito 84. El gas neutro es, por ejemplo, nitrógeno. Cuando se alcanza la temperatura requerida, es decir, cuando el UF<sub>6</sub> sólido se ha licuado y el UF<sub>6</sub> en el depósito 84 está en una fase de equilibrio líquido/gas, y después de la apertura de la válvula 85 de estanqueidad del depósito 84, la válvula 88 dispuesta entre la salida de este primer recinto calefactor 86 y el conducto de inyección 10 del UF<sub>6</sub> en el reactor 4 se abre y la emisión de UF<sub>6</sub> empieza en modo de emisión pasivo a partir de este primer recinto calefactor 86. En paralelo se inicia el recalentamiento de otro depósito 84 en un segundo recinto calefactor 86.

**[0134]** Al lo largo de la emisión de UF<sub>6</sub>, la presión en el depósito 84 del primer recinto calefactor 86 baja hasta un valor cercano al que puede provocar una caída del caudal del UF<sub>6</sub> y la inversión de los flujos entre el reactor 4 y el depósito 84 recibidos en este primer recinto calefactor 86. Entonces quedan todavía varios kilogramos de UF<sub>6</sub> en el depósito 84. Antes de alcanzar este estadio, el primer recinto calefactor 86 bascula del modo de emisión pasivo al modo de emisión activo con el cierre de la válvula 88 y la puesta en marcha de la bomba 90 correspondiente. La emisión de UF<sub>6</sub> puede así proseguir hasta la emisión de la casi totalidad del UF<sub>6</sub> contenido en el depósito 84 del primer recinto calefactor 86, con, por ejemplo, una presión al final de emisión de 100 mbar absoluta en el depósito 84. En este momento, el depósito 84 recibido en el segundo recinto calefactor 86 ha alcanzado la temperatura requerida para la emisión de UF<sub>6</sub> y la válvula 85 de estanqueidad del depósito 84 está abierta. La válvula 88 asociada al primer recinto calefactor 86 se cierra y la válvula 88 asociada al segundo recinto calefactor 86 se abre y la emisión de UF<sub>6</sub> prosigue a partir del depósito 84 del segundo recinto calefactor 86 sin interrupción y sin modificación notable del caudal, de la temperatura y de la presión del UF<sub>6</sub> durante la basculación del primer recinto calefactor 86 al segundo recinto calefactor 86. En paralelo la válvula 85 del depósito 84 recibido en el primer recinto calefactor 86 está cerrada y, después del enfriamiento, el primer recinto calefactor 86 se pone en condiciones atmosféricas, se desbloquea y el depósito 84 es evacuado y sustituido por un nuevo depósito 84 lleno de UF<sub>6</sub>.

**[0135]** Como variante y para reducir aún más las variaciones de alimentación del reactor 4 con UF<sub>6</sub>, la válvula 88 asociada al segundo recinto calefactor 86 puede abrirse antes de que la válvula 88 asociada al primer recinto calefactor 86 se cierre y la emisión de UF<sub>6</sub> prosigue a partir de los dos depósitos 84, de manera que el primer recinto calefactor 86 funciona en modo de emisión activo y el segundo recinto calefactor 86 funciona en modo de emisión pasivo. La apertura de la válvula 88 asociada al segundo recinto calefactor 86 puede intervenir, por ejemplo, en el momento del cierre de la válvula 88 y de la puesta en marcha de la bomba 90 del primer recinto calefactor 86 o en cualquier otro momento antes de detener la emisión de UF<sub>6</sub> por parte del depósito 84 del primer recinto calefactor 86.

**[0136]** Preferentemente y con el fin de poder cortar la alimentación en UF<sub>6</sub> lo más cerca de la fuente de emisión en todas las circunstancias, las válvulas 88 son resistentes a los esfuerzos sísmicos.

**[0137]** El dispositivo de emisión 82 permite una producción en modo continuo de la instalación de conversión 2, usando la casi totalidad del UF<sub>6</sub> contenido en los depósitos 84 con una emisión de UF<sub>6</sub> a la presión y la temperatura requeridas y con el caudal requerido.

**[0138]** Preferentemente, el reactor 4 se alimenta con vapor de agua seco de hidrólisis a una temperatura de alimentación comprendida entre 175°C y 300°C, en particular entre 200°C y 270°C.

**[0139]** Preferentemente, el horno 6 se alimenta con vapor de agua seco de pirohidrólisis con un caudal másico por hora de alimentación comprendido entre 25 y 40 kg/h, en particular entre 30 y 35 kg/h.

**[0140]** Preferentemente también, el horno 6 se alimenta con vapor de agua seco de pirohidrólisis a una temperatura de alimentación comprendida entre 250°C y 450°C, preferentemente entre 300°C y 400°C.

**[0141]** Preferentemente, el caudal en volumen de alimentación del horno 6 con H<sub>2</sub> está comprendido entre 10 y 25 Nm<sup>3</sup>/h, en particular entre 15 y 20 Nm<sup>3</sup>/h («Nm<sup>3</sup>/h» significa metros cúbicos normales por hora y es una unidad de medida de cantidad de gas que corresponde al contenido de un volumen de un metro cúbico, para un gas que se encuentra en las condiciones normales de temperatura y de presión (20°C y 1 atm)). El H<sub>2</sub> es inyectado generalmente a temperatura ambiente.

**[0142]** Los parámetros de inyección del gas neutro de barrido que alimenta el reactor 4 influyen en las reacciones que se producen en el reactor 4.

**[0143]** Preferentemente, el caudal de alimentación del gas neutro de barrido del reactor 4 está comprendido entre 1,5 y 5 Nm<sup>3</sup>/h, la temperatura de inyección del gas neutro de barrido está comprendida entre 80°C y 130°C, y la presión relativa de alimentación de este gas neutro de barrido es superior a la presión relativa en el interior del reactor 4 y es preferentemente inferior a 1 bar.

[0144] En una realización particular, el caudal de alimentación del gas neutro de barrido está comprendido entre 2 y 3 Nm<sup>3</sup>/h y la temperatura de inyección del gas neutro de barrido está comprendida entre 90 y 105°C.

5 [0145] Además, los elementos calefactores 36 del horno 6 están controlados para establecer en el horno 6 una temperatura progresivamente creciente y después decreciente de la entrada 26 del horno 6 hacia la salida 28 del horno 6.

10 [0146] El horno 6 comprende, por ejemplo, varios tramos sucesivos definidos a lo largo del horno 6, en este caso seis tramos S1 a S6 sucesivos de la entrada 26 hacia la salida 28 del horno 6, de manera que cada tramo S1 a S6 es calentado por elementos calefactores 36 dedicados a este tramo S1 a S6.

[0147] El horno 6 comprende un sensor de temperatura 80 respectivo asociado a cada tramo S1 a S6. La temperatura de cada tramo del horno 6 se considera como la medida por el sensor de temperatura 80 asociado a este tramo. Cada sensor de temperatura 80 es, por ejemplo, un termopar adyacente a los elementos calefactores 36  
15 asociados al tramo.

[0148] Los elementos calefactores 36 dedicados a cada tramo S1 a S6 son controlados independientemente de los dedicados a otros tramos para los que la temperatura medida por el sensor de temperatura 80 situado en este tramo se sitúa en un valor de referencia determinado.  
20

[0149] En una realización ventajosa, cada tramo S1 a S6 está provisto de varios sensores de temperatura 80 y la temperatura de cada tramo S1 a S6 del horno 6 se considera como la mediana de las temperaturas medidas por los sensores de temperatura 80 en funcionamiento asociados a este tramo S1 a S6.

25 [0150] En un modo de implementación ventajoso, los elementos calefactores 36 del horno 6 se controlan para establecer un perfil de temperatura siguiente:

- primer tramo S1: entre 660 y 700°C
- segundo tramo S2: entre 700 y 730°C
- 30 - tercer tramo S3: entre 720 y 745°C
- cuarto tramo S4: entre 730 y 745°C
- quinto tramo S5: entre 660 y 700°C
- sexto tramo S6: entre 635 y 660°C.

35 [0151] Este perfil de temperatura permite controlar la evolución de la pirohidrólisis del polvo de UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, que es una reacción compleja constituida por varias reacciones elementales que dependen especialmente de la temperatura.

[0152] En fase de producción, el dispositivo de descolmatación 53 realiza una descolmatación periódica, de manera automática y regular. Además, preferentemente, el dispositivo de flujo 56 hace vibrar y/o percute contra el reactor 4, de manera automática, de forma regular o continua, y/o el dispositivo de percusión 60 percute contra el horno 6, de manera automática y regular, para hacer caer el polvo adherido en las paredes internas antes de que forme núcleos de grandes dimensiones y/o compactos.  
40

[0153] A pesar de todo, los filtros 52 pueden colmatarse de manera excesiva durante el funcionamiento de la instalación de conversión 2 y su envejecimiento.  
45

[0154] El aumento de la presión relativa en el interior del reactor 4 es en general representativo del hecho de que la descolmatación de los filtros 52 se vuelva insuficiente.

50 [0155] La vigilancia de la presión en el interior del reactor 4 permite vigilar la eficacia de la descolmatación.

[0156] Preferentemente, en fase de producción estabilizada, es conveniente que la presión relativa en el interior del reactor 4 permanezca comprendida entre 10 mbar y 500 mbar, preferentemente entre 50 y 400 mbar y más preferentemente entre 100 y 350 mbar.  
55

[0157] La instalación de conversión 2 comprende un sensor de presión P1 para medir la presión en el interior del reactor 4.

[0158] Preferentemente, si la presión relativa en el interior del reactor 4 supera un umbral de seguridad predeterminado, el sistema de control 16 está configurado para controlar una puesta en parada de la instalación de conversión 2.  
60

[0159] El umbral de seguridad está comprendido, por ejemplo, entre 100 y 500 mbar, preferentemente entre 200 y 450 mbar y más preferentemente entre 200 y 400 mbar, en particular aproximadamente 350 mbar.  
65

**[0160]** Ventajosamente, si la presión relativa en el interior del reactor 4 supera un umbral de descolmatación puntual predeterminado, al dispositivo de descolmatación 53 se le ordena que realice una descolmatación puntual de los filtros 52. La descolmatación puntual puede realizarse con una presión de inyección de descolmatación en la parte superior del intervalo de presión de inyección de gas neutro de descolmatación secuencial e incluso a una presión de inyección superior a dicho intervalo. La descolmatación puntual puede realizarse además específicamente en uno o varios filtros 52, por ejemplo, individualmente en uno o varios filtros 52 particulares que se colmarían, o en conjunto en un número limitado de filtros 52.

**[0161]** El umbral de descolmatación puntual se fija, por ejemplo, en un intervalo de 100 mbar por debajo de la presión de puesta en seguridad de la instalación y es, por ejemplo, 50 mbar y preferentemente 30 mbar inferior al umbral de seguridad de la instalación.

**[0162]** De hecho, en caso de colmatación importante de los filtros 52, la presión aumenta rápidamente en el reactor 4 y se hace difícil, incluso imposible, descolmatar los filtros 52 sin parar la instalación para proceder a una limpieza manual o a su sustitución o sin crear heterogeneidades del polvo de  $UO_2$  en salida debido a la adición en el polvo de  $UO_2F_2$  de cantidades incontroladas de aglomerados que vuelven a caer de los filtros 52 en el dispositivo de transferencia 30 durante la operación de descolmatación.

**[0163]** Durante la descolmatación, la inyección de gas neutro en el interior de cada filtro 52 permite expulsar las partículas de polvo de  $UO_2F_2$  atrapadas en la superficie exterior del filtro 52, a la vez que se limitan las perturbaciones del reactor 4 que funciona a una presión relativa entre 10 mbar y 500 mbar.

**[0164]** La puesta en vibración y/o la percusión de una o varias paredes del reactor 4, en este caso por el dispositivo de flujo 56 que equipa el reactor 4, permite además desprender las partículas de polvo de  $UO_2F_2$  que pueden depositarse en la pared interna del reactor 4.

**[0165]** La percusión de una superficie de percusión 62 del horno 6, en este caso por el dispositivo de percusión 60, permite evitar la formación de núcleos de polvo en el horno 6, que también podrían afectar a la calidad del polvo de  $UO_2$  producida por la instalación de conversión 2.

**[0166]** El control de los caudales de gases reactivos y de gas neutro de barrido y de la temperatura en el reactor 4 y en el horno 6 permiten también el establecimiento de reacciones de hidrólisis y de pirohidrólisis en condiciones de obtención de polvo de  $UO_2$  satisfactorias.

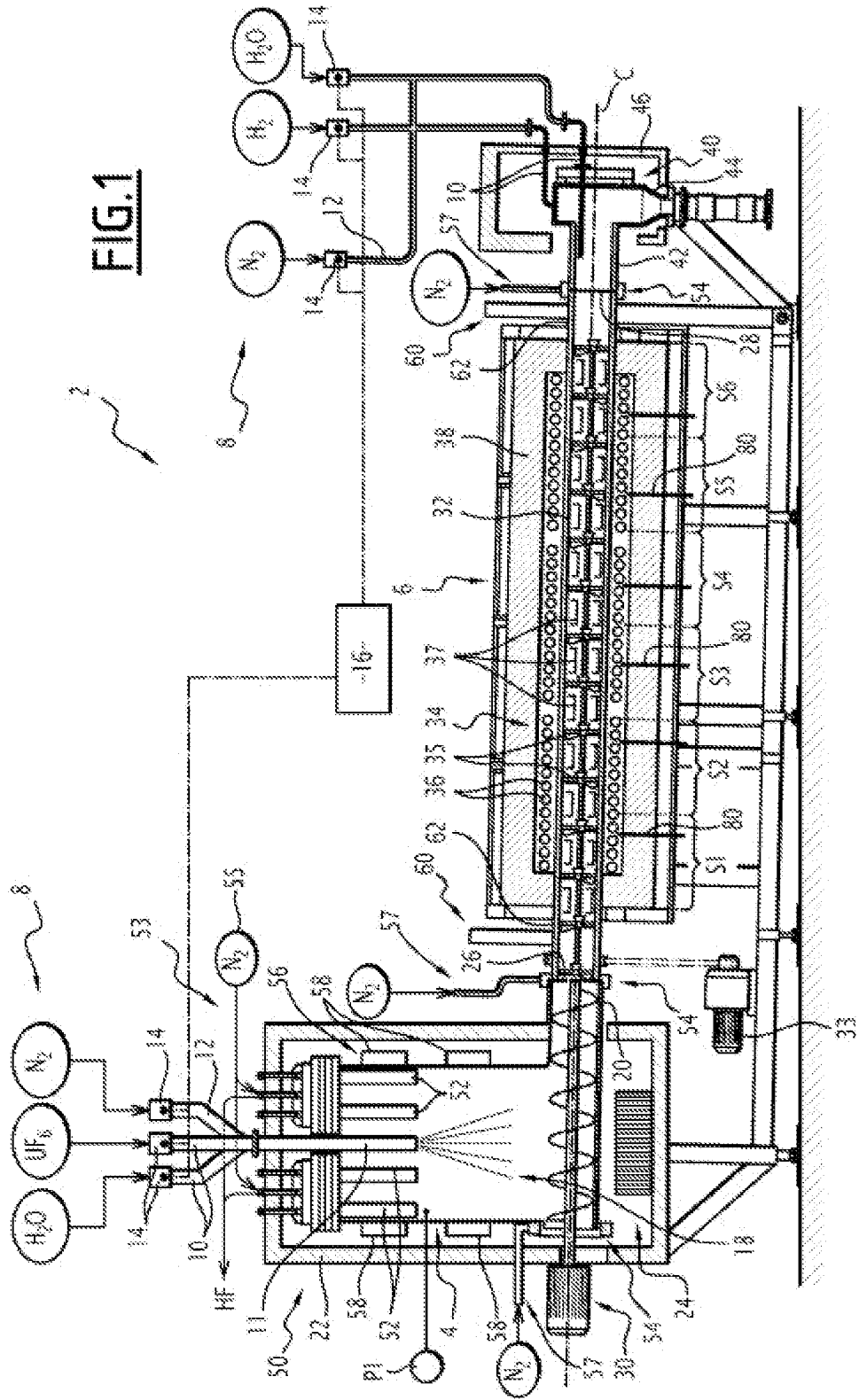
**[0167]** De manera general, en funcionamiento, el conjunto de los gases inyectados en el reactor 4 o en el horno 6 lo están a una presión superior a la existente en el reactor 4 o el horno 6, por ejemplo, a una presión al menos 20 mbar por encima de la presión en el interior del reactor 4 o del horno 6, y preferentemente al menos 50 mbar por encima.

40

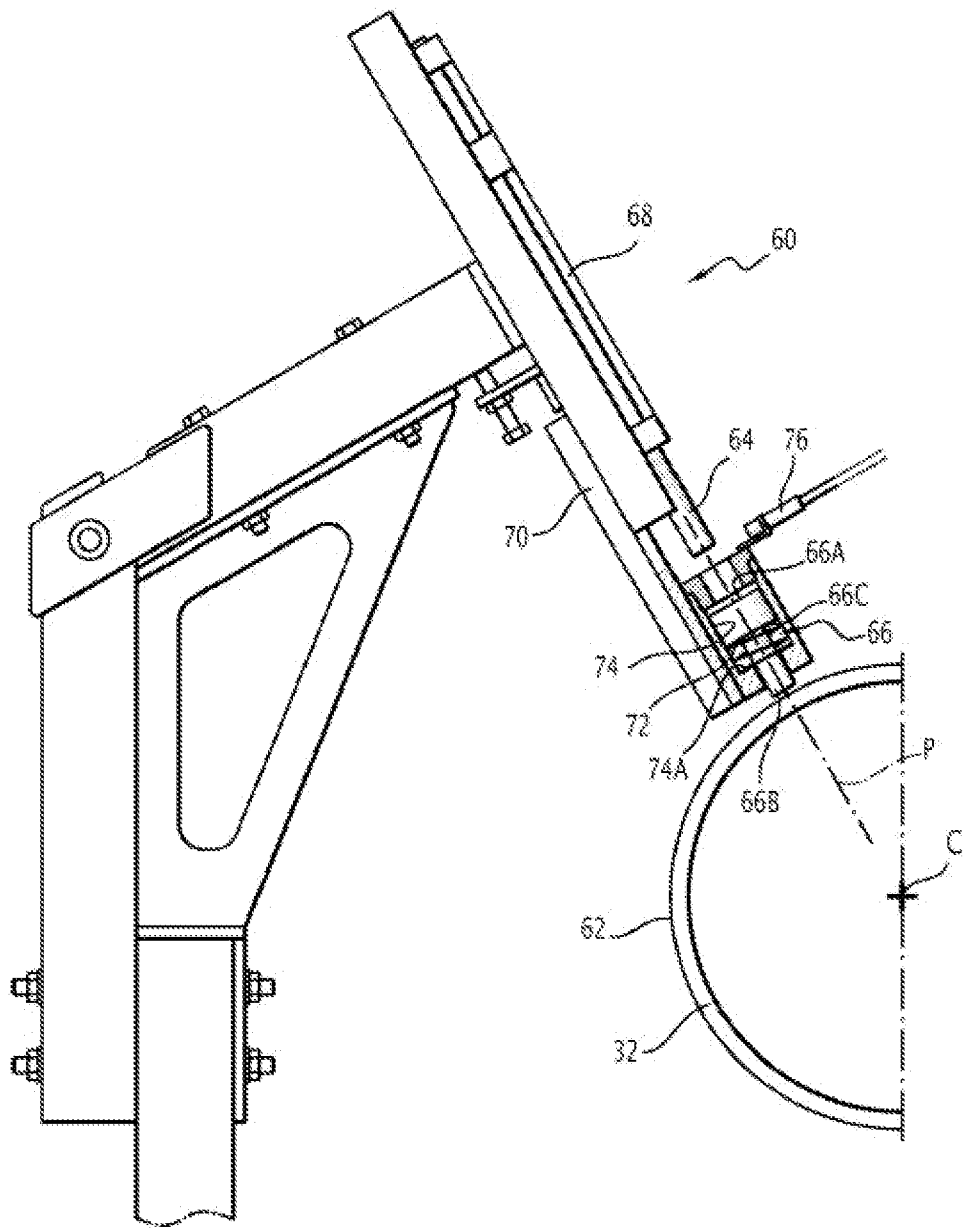
REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de conversión de hexafluoruro de uranio,  $UF_6$ , en dióxido de uranio,  $UO_2$ , comprendiendo el procedimiento las etapas de:
  - 5 - hidrólisis de  $UF_6$  en oxifluoruro de uranio,  $UO_2F_2$ , en un reactor (4) de hidrólisis por reacción entre  $UF_6$  gaseoso y vapor de agua seco inyectados en el reactor (4), y
  - pirohidrólisis del  $UO_2F_2$  en  $UO_2$  en un horno (6) de pirohidrólisis por reacción del  $UO_2F_2$  con vapor de agua seco y dihidrógeno,  $H_2$ , gaseoso inyectados en el horno (6),
- 10 donde el caudal másico por hora de alimentación del reactor (4) en  $UF_6$  gaseoso está comprendido entre 75 y 130 kg/h, el caudal másico por hora de alimentación del reactor (4) con vapor de agua seco de hidrólisis está comprendido entre 15 y 30 kg/h y la temperatura en el reactor (4) está comprendida entre 150 y 250°C.
- 15 2. Procedimiento de conversión según la reivindicación 1, que comprende la inyección de un gas neutro de barrido en el reactor (4).
3. Procedimiento de conversión según la reivindicación 1 o 2, donde el  $UO_2$  se obtiene en forma de un polvo de  $UO_2$  que tiene una superficie específica de grano comprendida entre 1 m<sup>2</sup>/g y 4 m<sup>2</sup>/g, y preferentemente entre
  - 20 1,9 m<sup>2</sup>/g y 2,9 m<sup>2</sup>/g.
4. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el  $UO_2$  tiene un contenido residual de flúor, F, inferior a 50 ppm, preferentemente inferior a 35 ppm.
- 25 5. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el  $UF_6$  que alimenta el reactor (4) está a una temperatura comprendida entre 75°C y 130°C, preferentemente entre 90°C y 12°C.
6. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el vapor de agua seco de hidrólisis que alimenta el reactor (4) está a una temperatura comprendida entre 175 y 300°C,
  - 30 preferentemente entre 200 y 270°C.
7. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el caudal másico por hora de vapor de agua seco de pirohidrólisis que alimenta el horno (6) está comprendido entre 25 y 40 kg/h, preferentemente entre 30 y 35 kg/h.
  - 35
8. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la temperatura del vapor de agua seco de pirohidrólisis que alimenta el horno (6) está comprendida entre 250 y 450°C, preferentemente entre 300 y 400°C.
- 40 9. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el caudal en volumen de alimentación del horno (6) con  $H_2$  está comprendido entre 10 y 25 Nm<sup>3</sup>/h, en particular entre 15 y 20 Nm<sup>3</sup>/h.
10. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el caudal de alimentación del reactor (4) con gas neutro de barrido está comprendido entre 1,5 y 5 Nm<sup>3</sup>/h, la temperatura del gas neutro de barrido que alimenta el reactor (4) está comprendida entre 80°C y 130°C y la presión relativa de alimentación del gas neutro de barrido es superior a la presión relativa en el interior del reactor (4) y es preferentemente inferior a
  - 45 1 bar.
- 50 11. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la alimentación del reactor (4) con  $UF_6$  gaseoso a partir de un dispositivo de emisión (82) que comprende al menos un recinto calefactor (86), tal que el o cada recinto calefactor (86) recibe un depósito (84) de  $UF_6$  en estado sólido y lo calienta para generar  $UF_6$  en estado gaseoso, y un circuito de alimentación (87) configurado para alimentar el reactor (4) a partir del o de cada recinto calefactor (86).
  - 55
12. Procedimiento de conversión según la reivindicación 11, donde el dispositivo de emisión (82) comprende al menos dos recintos calefactores (86), estando el circuito de alimentación (87) configurado para alimentar el reactor (4) en secuencia a partir de los recintos calefactores (86), pasando de un recinto calefactor (86) actual a un recinto calefactor (86) siguiente cuando el depósito (84) recibido en dicho recinto calefactor (86) actual no está ya
  - 60 suficientemente lleno.
13. Procedimiento de conversión según la reivindicación 12, donde la alimentación del reactor (4) a partir del recinto calefactor (86) siguiente comienza antes de la parada de la alimentación del reactor (4) a partir del recinto calefactor (86) actual, de manera que la alimentación del reactor (4) se realiza simultáneamente a partir de los dos
  - 65 recintos calefactores (86) durante un periodo de tiempo.

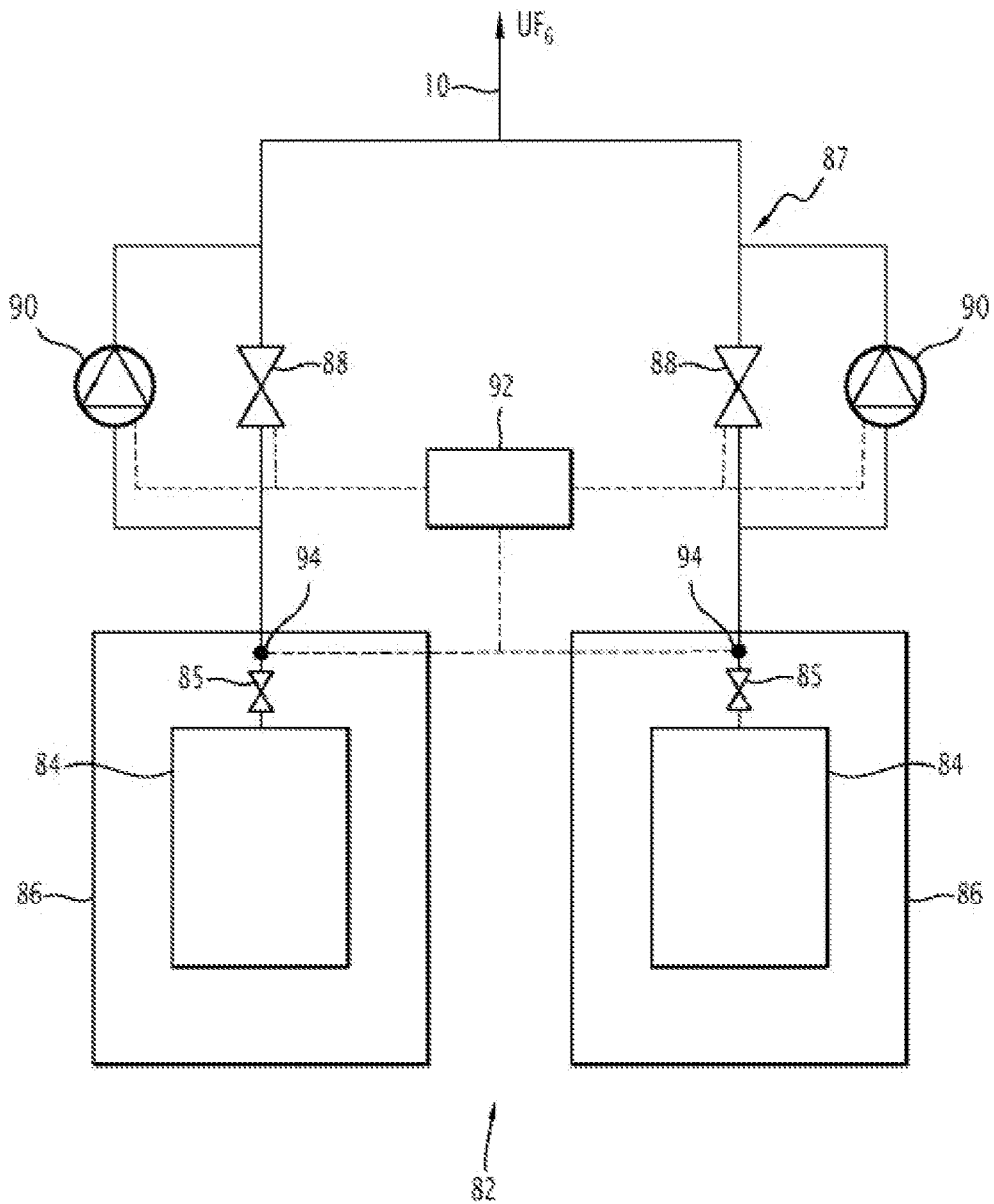
14. Procedimiento de conversión según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, donde el circuito de alimentación (87) comprende una bomba (90) asociada al o a cada recinto calefactor (86) para forzar la circulación del  $UF_6$  del depósito (84) recibido en el recinto calefactor (86) hacia el reactor (4), siendo la o cada bomba (90) preferentemente una bomba de desplazamiento positivo y más preferentemente una bomba volumétrica de fuelles.
15. Procedimiento de conversión según la reivindicación 14, donde el circuito de alimentación (87) comprende una válvula (88) de regulación de caudal asociada al o a cada recinto calefactor (86) y colocada en derivación de la bomba (90) asociada al recinto calefactor (86).
- 10 16. Instalación de conversión de hexafluoruro de uranio,  $UF_6$ , en dióxido de uranio,  $UO_2$ , comprendiendo la instalación de conversión:
- 15 - un reactor (4) de hidrólisis de  $UF_6$  en polvo de oxifluoruro de uranio,  $UO_2F_2$ , por reacción entre  $UF_6$  gaseoso y vapor de agua seco inyectados en el reactor (4),
- un horno (6) de pirohidrólisis del polvo de  $UO_2F_2$  en polvo de  $UO_2$  por reacción del polvo de  $UO_2F_2$  con vapor de agua seco y dihidrógeno,  $H_2$ , gaseoso inyectados en el horno (6), y
- un dispositivo de alimentación (8) del reactor (4) y del horno (6) con gases reactivos y con gas neutro de barrido,
- 20 **caracterizada porque** la instalación de conversión está configurada para la implementación de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
17. Instalación de conversión según la reivindicación 16, que comprende un dispositivo de emisión (82) para la alimentación del reactor (4) con  $UF_6$ , comprendiendo el dispositivo de emisión (82) al menos un recinto calefactor (86), estando el o cada recinto calefactor (86) configurado para recibir un depósito (84) de  $UF_6$  en estado sólido y calentarlo para generar  $UF_6$  en estado gaseoso, y un circuito de alimentación (87) configurado para alimentar el reactor (4) a partir del o de cada recinto calefactor (86).
- 25



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG.3**