

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 023**

51 Int. Cl.:

**C01G 43/025** (2006.01)

**B01J 19/00** (2006.01)

**B01J 19/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2010 PCT/US2010/056237**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2011 WO11060072**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2010 E 10830659 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2499097**

54 Título: **Reactores segmentados para cambios de capacidad y enriquecimiento en la conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio**

30 Prioridad:

**12.11.2009 US 281172 P**

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

**11.10.2019**

73 Titular/es:

**FRAMATOME INC. (100.0%)  
3315 Old Forest Road  
Lynchburg, VA 24501, US**

72 Inventor/es:

**KIMURA, RICHARD, THADDEUS;  
LANDON, ANDREW y  
YEAGER, CLIFFORD**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 727 023 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

Reactores segmentados para cambios de capacidad y enriquecimiento en la conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio

5

**[0001]** Esta invención se refiere al proceso de conversión en seco de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio.

## ANTECEDENTES

10

**[0002]** La patente de EE. UU. N.º 6.656.391 describe un proceso para preparar un polvo moldeable de dióxido de uranio (UO<sub>2</sub>) para el uso en la fabricación de combustibles de MOX. El proceso incluye el secado por pulverización de un polvo de UO<sub>2</sub> fluidificable obtenido por conversión de proceso en seco de hexafluoruro de uranio (UF<sub>6</sub>).

15 **[0003]** La patente de EE. UU. N.º 6.352.677 describe un proceso para producir fluoruro de hidrógeno anhidro (AHF) de grado comercial y UO<sub>2</sub> a partir de la defluoración de UF<sub>6</sub>.

**[0004]** La patente de EE. UU. N.º 5.346.684 describe un procedimiento para recuperar un fluoruro de hidrógeno anhidro a partir de UF<sub>6</sub> empobrecido.

20

**[0005]** La patente de EE. UU. N.º 4.830.841 describe un reactor de conversión en seco de UF<sub>6</sub> en UO<sub>2</sub>. Tal conversión se realiza actualmente en un reactor de un solo segmento con una sección de reacción en fase gaseosa y una sección de defluoración/aglomeración que están fijadas para funcionar hasta el nivel de enriquecimiento requerido en reactores de agua ligera comerciales para producir una reacción nuclear controlada, es decir, hasta un enriquecimiento máximo de 5 % de U-235. La parte superior del reactor separa el sólido de la fase gaseosa utilizando filtros de metal sinterizado. El UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> es defluorado y el UO<sub>2</sub> es aglomerado en la parte inferior del reactor utilizando un lecho fluidizado. Las geometrías tanto de la sección de lecho fluidizado fijo como de la sección de reacción en fase gaseosa no permiten cambios oportunos o rentables en la capacidad o el enriquecimiento de U-235, o facilidad de mantenimiento.

30

**[0006]** La patente de EE. UU. N.º 5.875.385 describe un aparato reactor que comprende un reactor que recibe una mezcla gaseosa de UF<sub>6</sub> y O<sub>2</sub> que incluye opcionalmente un gas inerte tal como Ar o N<sub>2</sub>, alimentado a través de un tubo interior y una mezcla gaseosa de H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y/o CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O o CO<sub>2</sub>, opcionalmente con gas inerte tal como Ar o N<sub>2</sub>, alimentado a través de un tubo exterior. El producto de reacción se descarga en una vasija de recogida ubicada debajo del reactor.

35

**[0007]** Los reactores de conversión en seco actuales generalmente están hechos de material usado normalmente en aplicaciones de alta temperatura tales como superaleaciones con base de níquel-cromo, p. ej., Inconel®625, o de material resistente a la corrosión tal como aleaciones con base de níquel-cobre, p. ej., Monel®, pero las modificaciones y el mantenimiento del reactor no pueden realizarse en los reactores de conversión en seco sin soldadura en materiales envejecidos y termociclados. Los reactores no pueden ser actualizados rápidamente en la sección de lecho fluidizado excepto soldando metal nuevo para modificar la geometría. La soldadura en materiales viejos tales como Inconel® 625 o Monel® puede causar problemas con el agrietamiento en las soldaduras entre el metal del reactor envejecido y termociclado y las nuevas secciones. A menos que todo el reactor sea tratado térmicamente, puede producirse agrietamiento en las costuras soldadas ya que el metal termociclado envejecido es distinto del metal nuevo que es más amorfo. El agrietamiento se producirá en poco tiempo, normalmente poco después de la instalación al reinicio del funcionamiento. Cualquier cambio en un reactor de fase gaseosa o en una sección de lecho fluidizado de un diseño de reactor existente, hasta e incluyendo un reemplazo completo del reactor, es muy caro. Además, aunque el propio reactor entero puede sufrir tratamiento térmico, esto es muy costoso y consume mucho tiempo.

50

**[0008]** Además, los reactores actuales están limitados a una capacidad fija y capacidad de enriquecimiento con respecto a la sección de reacción en fase gaseosa y la sección de lecho fluidizado. No pueden tolerar alimentaciones superiores al 5 % de enriquecimiento sin ser reemplazados. Estos reactores no pueden ser actualizados a menos que se corte la sección de lecho fluidizado o la sección de reacción en fase gaseosa y se suelden nuevas secciones de geometría, y éstas pueden fallar debido al agrietamiento en las costuras soldadas.

55

## RESUMEN DE LA INVENCION

60 **[0009]** Los reactores de conversión en seco actuales están soldados en una sola pieza y, por lo tanto, no pueden ser modificados fácilmente para cambios relacionados con la capacidad, el enriquecimiento, la modificación u otros cambios deseados. Un objeto de la invención es proporcionar un procedimiento y aparato para modificar un reactor de conversión en seco, tal como el lecho fluidizado u otras secciones del reactor de una manera simple y rentable.

65

**[0010]** La presente invención proporciona un reactor de conversión en seco para convertir hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio, comprendiendo el reactor de conversión en seco un segmento de reacción en fase gaseosa; y un segmento de lecho fluidizado, en el que al menos uno de los segmentos de reacción en fase gaseosa y el segmento de lecho fluidizado es un segmento reemplazable.

5

**[0011]** La presente invención también proporciona un procedimiento para operar el reactor de conversión en seco utilizando un proceso de conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio, comprendiendo el procedimiento reemplazar al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable.

10 **[0012]** La presente invención de instalar segmentos prediseñados es aplicable a una amplia gama de configuraciones que incluyen otras secciones del reactor tales como la cámara de lecho fluidizado que conecta a la salida de polvo, o el segmento de cámara de descarga gaseosa que conecta a la salida de descarga gaseosa.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15

**[0013]** Una realización de la presente invención se muestra con respecto a los dibujos en los que:

la fig. 1a muestra modificaciones de capacidad ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista frontal de un reactor de menor capacidad;

20

la fig. 1b muestra modificaciones de capacidad ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista lateral del reactor de menor capacidad mostrado en la fig. 1a;

25

la fig. 1c muestra modificaciones de capacidad ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista frontal de un reactor de mayor capacidad;

30 la fig. 1d muestra modificaciones de capacidad ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista lateral del reactor de mayor capacidad mostrado en la fig. 1c;

la fig. 2a muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista frontal de un reactor diseñado para un menor enriquecimiento;

35

la fig. 2b muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista lateral del reactor diseñado para el menor enriquecimiento mostrado en la fig. 2a;

40

la fig. 2c muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista frontal de un reactor diseñado para un mayor enriquecimiento;

45

la fig. 2d muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría de sección transversal rectangular en una vista lateral del reactor diseñado para el mayor enriquecimiento mostrado en la fig. 2c;

50 la fig. 3a muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría cilíndrica con una vista frontal de un reactor diseñado para un menor enriquecimiento; y

la fig. 3b muestra modificaciones de enriquecimiento ejemplares usando segmentos reemplazables en el reactor de conversión en seco para una geometría cilíndrica con una vista frontal de un reactor diseñado para un mayor enriquecimiento.

55

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

60 **[0014]** La patente de EE. UU. N.º 4.830.841 se mejora para permitir mayor capacidad, mayor % de enriquecimiento de U-235, facilidad de modificación, facilidad de mantenimiento y otras mejoras semejantes, al tiempo que manteniendo una alta eficiencia operativa total con mínimo tiempo de inactividad del proceso.

**[0015]** La presente invención proporciona un procedimiento y aparato para aumentar la capacidad del lecho fluidizado del reactor y modificar el enriquecimiento de uranio de los reactores de conversión existentes al 5 % de

65

enriquecimiento de U-235 o superior. Esto puede hacerse usando, por ejemplo, una geometría de losa o cilíndrica para la seguridad de la criticidad nuclear. Para los propósitos de esta invención, el término losa se usa para definir una geometría que tiene una sección transversal rectangular, estando determinada la anchura máxima de la sección transversal rectangular por consideraciones de seguridad de criticidad.

5 **[0016]** La presente invención mejora las operaciones del reactor de la patente de EE. UU. N.º 4.830.341 detallando cómo la capacidad y la alimentación admisible de % de enriquecimiento de U-235 a la sección de reacción en fase gaseosa y la sección de lecho fluidizado pueden modificarse usando segmentos reemplazables. Tales segmentos reemplazables pueden incluir segmentos reemplazables con bridas en una diversidad de configuraciones.

10 **[0017]** Las figs. 1a a 1d, las figs. 2a a 2d y las figs. 3a y 3b muestran diferentes modos de modificaciones de ejemplo en un reactor de conversión en seco usando segmentos reemplazables. El reactor 1 comprende un segmento de reacción en fase gaseosa 3 conectado en un extremo a una cámara de descarga gaseosa 5 y en el otro extremo a un segmento de transición 7 y un segmento de lecho fluidizado 9 conectado en un extremo al segmento de transición  
15 7 y en el otro extremo a una cámara de lecho fluidizado 11. Se inyectan UF<sub>6</sub>, vapor y H<sub>2</sub> a través de toberas o tuberías 13, 15 en el segmento de transición 7 y la cámara de lecho fluidizado 11, respectivamente. Los diferentes componentes del reactor 1 están conectados mediante conexiones libres de soldadura tales como conexiones de brida 17. Como se analiza en la patente de EE. UU. N.º 4.830.841, la parte superior del reactor 1 separa el sólido de la fase gaseosa utilizando filtros de metal sinterizado implementados en el segmento de reacción en fase gaseosa 3 y el UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> es  
20 desfluorado y el UO<sub>2</sub> se aglomera en el segmento de lecho fluidizado 9. Habitualmente, el diseño del segmento de reacción en fase gaseosa 3 está vinculado al proceso y no está determinado por el análisis de seguridad. El diseño del segmento de lecho fluidizado 9 está definido por las necesidades del proceso, con la anchura limitada por consideraciones de seguridad de criticidad.

25 **[0018]** Como se muestra en las figs. 1a a 1d, el segmento reemplazable 9 permite la expansión del volumen de lecho fluidizado y, en consecuencia, mayor capacidad, tiempo de residencia del UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> y mejora el rendimiento del reactor. En casos extremos, el segmento de transición 7 puede eliminarse para obtener un tamaño continuo a lo largo de todo el reactor 1. Los segmentos reemplazables, tales como el segmento de reacción en fase gaseosa 3, el segmento de transición 7 y el segmento de lecho fluidizado 9 eliminan la necesidad de soldar la sección de reacción  
30 en fase gaseosa envejecida 3 o la sección de lecho fluidizado 9 que están en servicio. También pueden usarse segmentos reemplazables para reemplazar rápidamente un segmento envejecido. Los segmentos de lecho fluidizado 9 pueden ser reemplazados fácilmente con segmentos hechos, por ejemplo, de otros metales, tales como el cambio de Monel® a Inconel®625 u otros sin soldadura. Cualquier segmento tal como el segmento de reacción en fase gaseosa 3, el segmento de transición 7 y el segmento de lecho fluidizado 9, así como la cámara de descarga gaseosa  
35 5 y la cámara de lecho fluidizado 11 puede ser retirado, reparado y reemplazado rápidamente según sea necesario para mantener una mayor eficiencia operativa. Cuando los segmentos usados son retirados del servicio, pueden ser tratados térmicamente más fácilmente para restaurar las propiedades originales y luego volver a ponerlos en servicio. Pueden realizarse modificaciones en los segmentos después del tratamiento térmico y los segmentos modificados luego pueden ser reinsertados en su posición.

40 **[0019]** Como se muestra en las figs. 2a a 2d, los segmentos reemplazables tales como el segmento de reacción en fase gaseosa 3, el segmento de transición 7 y el segmento de lecho fluidizado 9, pueden usarse para ejecutar mayores enriquecimientos a través del reactor rápidamente ajustando los siguientes parámetros con el fin de garantizar la seguridad de criticidad. Por ejemplo, la siguiente relación para la anchura del lecho fluidizado, la masa crítica mínima,  
45 el volumen crítico mínimo y la concentración crítica mínima se incluirían todos en el volumen del segmento del lecho fluidizado para diferentes enriquecimientos deseados.

Enriquecimiento de U-235 (w/o)	Anchura de "losa" (m)	Masa crítica mínima (kg)	Volumen crítico mínimo (1)	Conc. crítica mínima (gU/1)
6,0	0,1118	28	23,0	230
7,0	0,1041	22	19,2	190
>7,0	Calculado según sea necesario para cualquier enriquecimiento hasta el 100 %.			

50 **[0020]** La anchura máxima del lecho fluidizado, determinada por cálculos de seguridad de criticidad para un enriquecimiento máximo específico, representaría la anchura interior del segmento de lecho fluidizado reemplazable.

**[0021]** Como se muestra en las figs. 3a y 3b, además, una geometría cilíndrica puede direccionarse usando segmentos reemplazables tales como el segmento de reacción en fase gaseosa 3, el segmento de transición 7 y el segmento de lecho fluidizado 9 también. Tal geometría sería aplicable para mayores enriquecimientos de U-235, como  
55 un ejemplo de cómo se mantendría la seguridad de criticidad. Pero el concepto y el procedimiento no se limitan a estos. Ejemplos de mayores enriquecimientos de U-235 son los siguientes para una geometría cilíndrica segura:

U-235 (w/o)	Diámetro del cilindro (m)
6,0	0,2413
7,0	0,2235
>7,0	Calculado según sea necesario para cualquier enriquecimiento hasta el 100 %.

**[0022]** Los segmentos pueden estar diseñados para cambiar rápidamente una configuración a la capacidad necesaria, el tiempo de residencia, el trabajo de mantenimiento o de reemplazo, los parámetros de seguridad de criticidad u otro trabajo que requiera cambios rápidos de segmento.

5

**[0023]** Además de cambios de capacidad y de enriquecimiento, los lechos fluidizados más grandes son una mejora del proceso que permite mejor defluoración y densificación adicional, si es necesario. Los segmentos del reactor reemplazables pueden usarse para aumentar o disminuir rápidamente la capacidad ya sea en la reacción en fase gaseosa o en las secciones de lecho fluidizado de defluoración/aglomeración del reactor. Esto proporciona una manera de proporcionar rápidamente el aumento apropiado al volumen de lecho fluidizado, y conducir a polvo de alta calidad para fabricar polvo activo (cerámicamente) y sinterizable usando la metodología analizada en la patente de EE. UU. N.º 4.830.841.

10

**[0024]** El reactor 1 se construye según el código de recipiente a presión. El uso de segmentos mejora las condiciones actuales. Las reparaciones a los reactores existentes, según con la patente de EE. UU. N.º 4.830.841, pueden realizarse reemplazando rápidamente los segmentos. Cuando las secciones segmentadas del reactor pueden ser modificadas o reparadas más fácilmente, los segmentos de repuesto pueden mantenerse a mano para garantizar mayor eficiencia de producción y tiempo de inactividad mínimo. Los segmentos también son mucho más fáciles de tratar térmicamente para restaurar el metal a sus propiedades originales que un reactor entero.

20

**[0025]** Puede realizarse la modificación o reparación de un segmento antiguo, tal como la soldadura en una nueva brida de tubería, y el segmento puede ser tratado térmicamente de manera rentable para restaurar las propiedades metálicas para su reutilización. Esto incluiría retirar el segmento antiguo, reemplazar la pieza defectuosa o implementar los nuevos cambios, por ejemplo, mediante soldadura, tratamiento térmico, reinstalación, etc.

25

Alternativamente, un segmento de reemplazo de repuesto que tenga todas las modificaciones necesarias que se le hayan hecho puede ser sustituido en lugar del segmento antiguo que después sería reparado o modificado mediante soldadura y tratamiento térmico.

**[0026]** Las conexiones entre los segmentos reemplazables podrían usar una junta tubular hecha de Inconel® o Monel®, recubierta con plata, para sellado, comprimida por tuercas y pernos en la brida. También pueden usarse otros materiales y recubrimientos. Toberas, o tuberías, con bridas conectadas a los segmentos reemplazables pueden ser conectadas con uniones anulares usando cobre, níquel u otro material anular. Las fugas de HF o de uranio del reactor pueden ser detenidas rápidamente reemplazando el segmento o la junta dañados o agrietados.

30

**[0027]** Los pernos de anclaje, varillas o soportes estructurales internos, que proporcionan rigidez al reactor, también pueden ser sellados mecánicamente con accesorios con bridas para eliminar la necesidad de soldar materiales antiguos y nuevos.

35

**[0028]** En la memoria descriptiva anterior, la invención se ha descrito con referencia a realizaciones ejemplares específicas y ejemplos de las mismas. Sin embargo, será evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en las mismas sin apartarse de la invención como se expone en las siguientes reivindicaciones. Por consiguiente, la memoria descriptiva y los dibujos deben considerarse de una manera ilustrativa en lugar de en un sentido restrictivo.

40

**REIVINDICACIONES**

1. Un reactor de conversión en seco para convertir hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio, comprendiendo el reactor de conversión en seco al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable con  
5 bridas,
- en el que el reactor de conversión en seco comprende un segmento de reacción en fase gaseosa y un segmento de lecho fluidizado, siendo al menos uno del segmento de reacción en fase gaseosa y el segmento de lecho fluidizado un segmento de reactor de conversión reemplazable con bridas.
- 10 2. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 1, que comprende al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable configurado para cambios en una capacidad, un enriquecimiento, un material o para mantenimiento.
- 15 3. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 1, que comprende al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable configurado para ser reinsertado después de ser reparado o modificado.
4. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 1, que comprende al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable configurado para ser reemplazado por un segmento de reactor de conversión de  
20 repuesto.
5. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 1, en el que al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable es una cámara de descarga gaseosa, un segmento de transición o una cámara de lecho fluidizado.
- 25 6. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 5, en el que al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable tiene una sección transversal rectangular o cilíndrica.
7. El reactor de conversión en seco según la reivindicación 1, en el que al menos un segmento de reactor  
30 de conversión reemplazable es unido con una conexión con bridas y una junta tubular.
8. Un procedimiento para operar un reactor de conversión en seco que utiliza un proceso de conversión de hexafluoruro de uranio en dióxido de uranio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, comprendiendo el procedimiento el reemplazo de al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable.
- 35 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el reemplazo del al menos un segmento de reactor de conversión reemplazable es para cambiar una capacidad, un enriquecimiento, un material o para mantenimiento.
10. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el segmento de reactor de conversión reemplazable  
40 es reinsertado después de que el segmento de reactor de conversión reemplazable es reparado o modificado.
11. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el segmento de reactor de conversión reemplazable es reemplazado por un segmento de reactor de conversión de repuesto.
- 45 12. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el segmento de reactor de conversión reemplazable es el segmento de lecho fluidizado, el segmento de reacción en fase gaseosa, una cámara de descarga gaseosa, un segmento de transición o una cámara de lecho fluidizado.
13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que el segmento de reactor de conversión  
50 reemplazable usado tiene una sección transversal rectangular o cilíndrica.
14. El procedimiento según la reivindicación 8, que comprende además unir el segmento de reactor de conversión reemplazable con una conexión con bridas y una junta tubular.

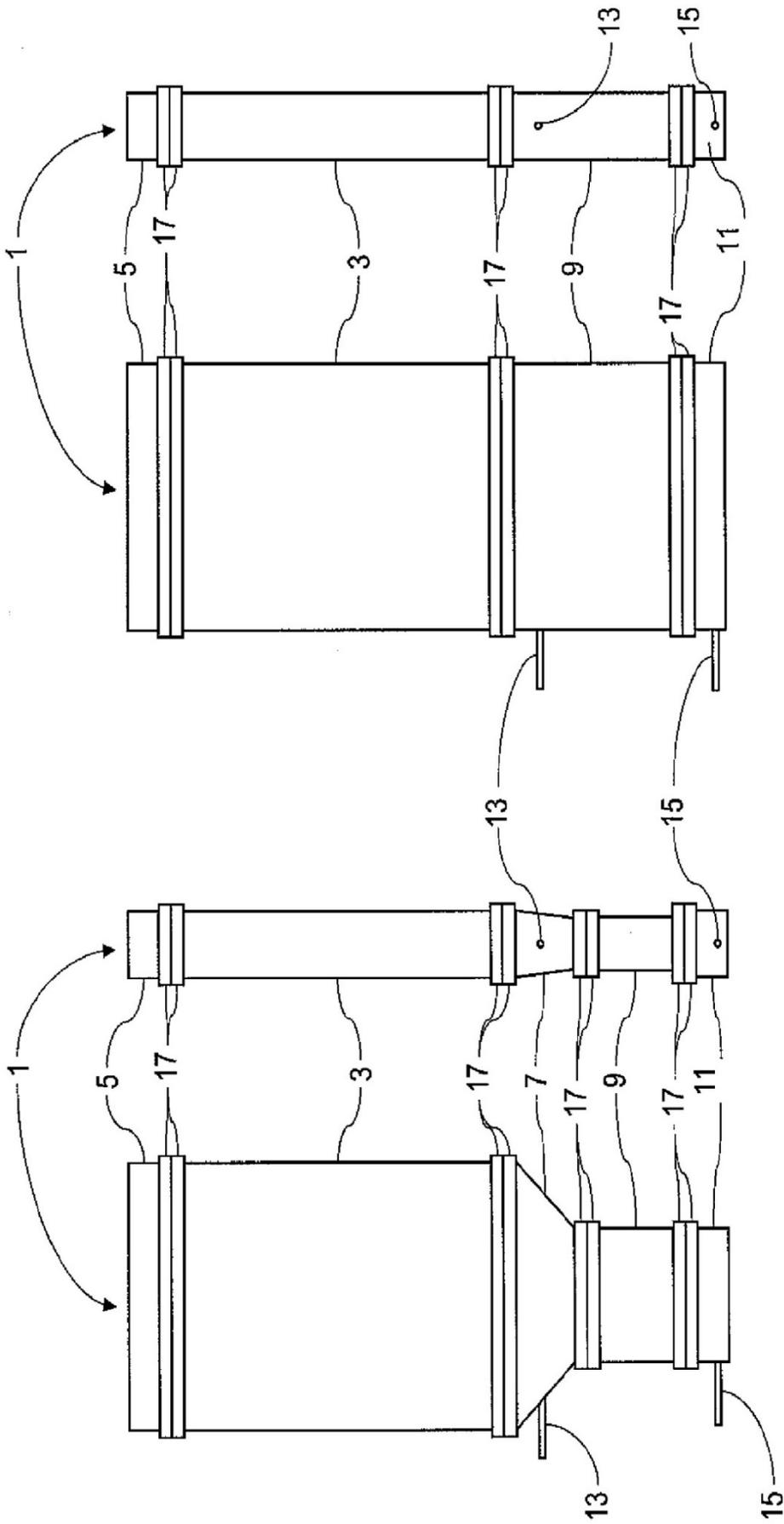


Fig. 1d

Fig. 1c

Fig. 1b

Fig. 1a

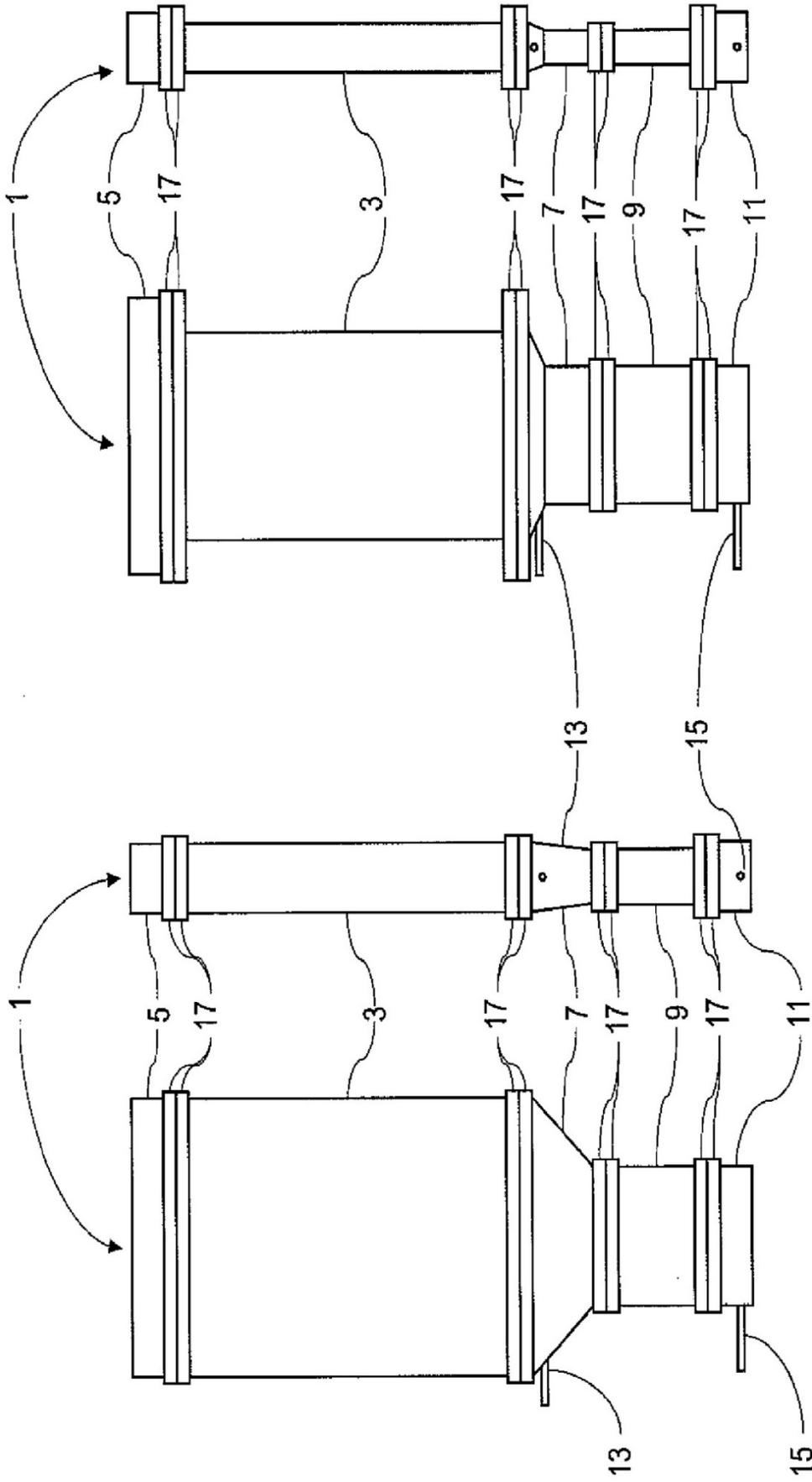


Fig. 2d

Fig. 2c

Fig. 2b

Fig. 2a

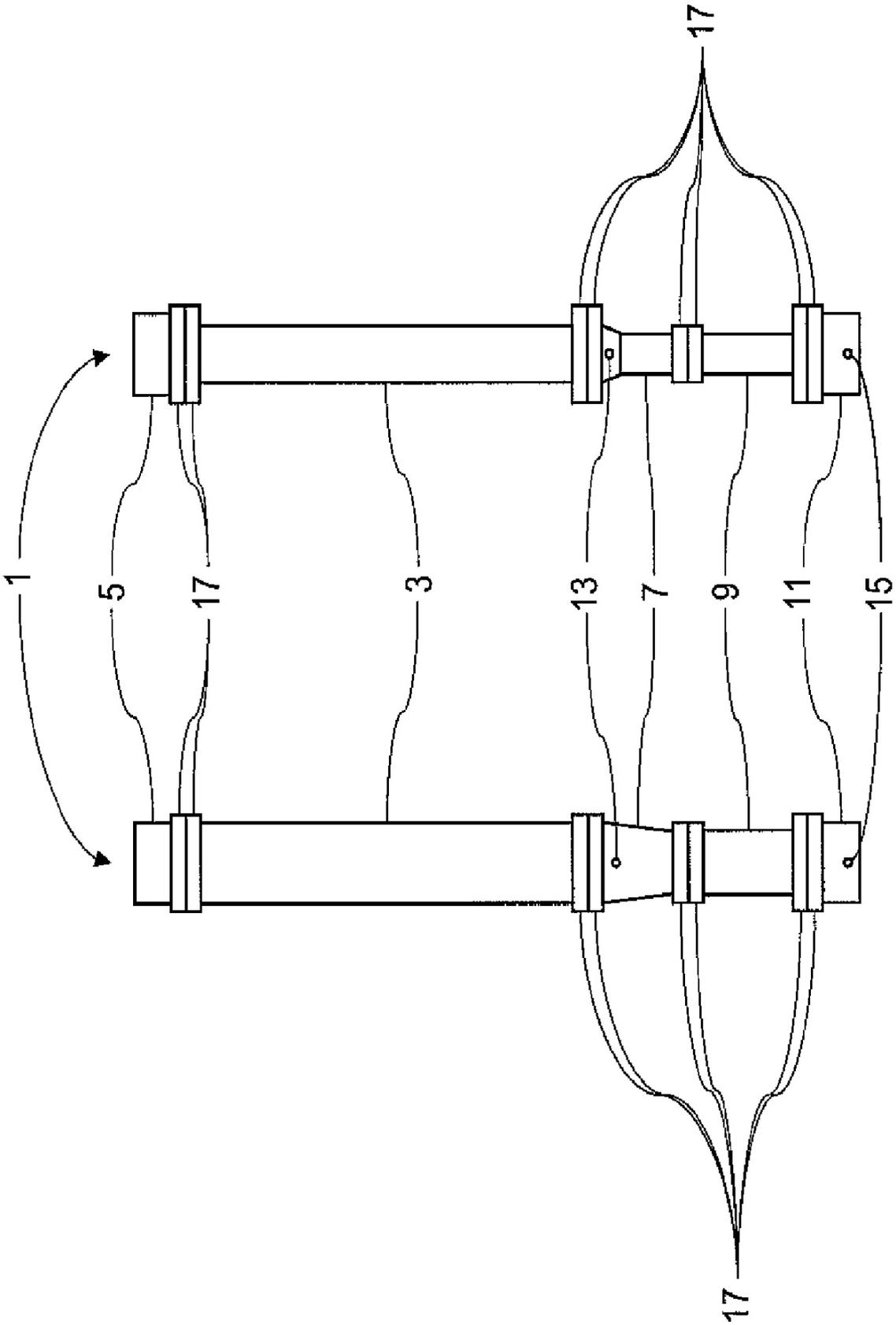


Fig. 3b

Fig. 3a