

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 963 758**

51 Int. Cl.:

F24S 20/20 (2008.01)

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.05.2017 PCT/CH2017/000045**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.11.2017 WO17197536**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.05.2017 E 17728044 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2023 EP 3458779**

54 Título: **Sistema de proceso para la recuperación de calor y procedimiento para su funcionamiento**

30 Prioridad:

18.05.2016 CH 6402016

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

01.04.2024

73 Titular/es:

**SYNHELION SA (100.0%)
Obere Plessurstrasse 36
7000 Chur, CH**

72 Inventor/es:

PEDRETTI-RODI, ANDREA

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 963 758 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

Sistema de proceso para la recuperación de calor y procedimiento para su funcionamiento

5 La presente invención se refiere a un sistema de proceso con acumuladores de calor que trabajan entre una temperatura superior y una temperatura inferior de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y a un procedimiento para calentar y enfriar cíclicamente varias unidades de proceso de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 7.

10 Los procesos que tienen lugar a diferentes niveles de temperatura están muy extendidos en la técnica. Un paso de proceso tiene lugar a una temperatura superior y otro paso de proceso tiene lugar a una temperatura inferior, o un paso de proceso tiene lugar durante el cambio de temperatura. Muchas aplicaciones se refieren al caso en el que tiene lugar una reacción química con la ayuda de un catalizador. Entonces, a menudo es conveniente calentar una unidad de proceso a un rango de temperatura superior y luego enfriarla a un rango de temperatura inferior y repetir este cambio de temperatura cíclicamente para la producción en curso.

15 Uno de los numerosos casos de aplicación es en el campo de la fabricación de combustibles solares ("solar fuels"), cuyas sustancias de partida son H_2 (hidrógeno) y CO (monóxido de carbono) bajo suministro de energía, en concreto, calor a altas temperaturas, a partir de H_2O (agua) y CO_2 (dióxido de carbono). Una mezcla de gases que contiene principalmente H_2 y el CO , entre otros gases, se denomina gas de síntesis o sencillamente sintegás. Este sintegás sirve para la fabricación de combustibles de hidrocarburos líquidos o gaseosos.

20 En una disertación de ETH no. 21864 "SOLAR THERMOCHEMICAL CO_2 AND H_2O SPLITTING VIA CE-RIA REDOX REACTIONS" de Philipp Furler se describe un reactor solar experimental de cerio con el que, bajo la irradiación de luz solar concentrada (2865 soles, es decir, una radiación térmica de hasta 2865 kW/m^2) se puede fabricar gas de síntesis.

La luz solar en la concentración mencionada anteriormente se puede generar a escala industrial, por ejemplo con un concentrador parabólico del solicitante de acuerdo con el documento WO 2011/072410, de modo que la producción comercial de gas de síntesis usando energía renovable o regenerativa se ha vuelto realista.

30 De acuerdo con la disertación de ETH mencionada anteriormente, en un primer paso de proceso endotérmico, hasta una temperatura máxima de 1800 K se reduce el cerio bajo formación de oxígeno; a continuación, el cerio se enfría a una temperatura inferior de 1100 K y en un paso de proceso siguiente se produce el gas de síntesis mediante reoxidación exotérmica; siendo el calor requerido endotérmicamente mucho mayor que el calor generado exotérmicamente. Este proceso se puede repetir cíclicamente para la producción continua de gas de síntesis; para ello, el cerio debe calentarse consecuentemente de forma periódica a 1800 K y enfriarse a 1100 K. Para una recuperación de calor extraído por el enfriamiento se propone una construcción de doble anillo de un portador de cerio. Dos anillos de cerio adyacentes y contrarrotativos con un eje de rotación común se encuentran entre la zona cálida (1800 K) y la zona fría (1100 K), de modo que una sección de cada anillo en la zona caliente se encuentra en la posición de 12 horas y una sección opuesta en la zona fría se encuentra en la posición de 6 horas. Al girar los anillos de cerio inmediatamente adyacentes en direcciones opuestas, la sección fría de un primer anillo de cerio se mueve en el sentido de las agujas del reloj en dirección hacia la zona caliente y la sección caliente se mueve en dirección hacia la zona fría, y en un segundo anillo de cerio que gira en sentido contrario a las agujas del reloj, asimismo la sección fría se mueve en dirección hacia la zona caliente y la sección caliente se mueve en dirección hacia la zona fría, pasando los dos anillos de cerio uno delante de otro rozándose e intercambiando de esta manera constantemente energía térmica. Por consiguiente, las secciones calientes se enfrían y las secciones frías se calientan mutuamente, lo que hace posible una recuperación de una cantidad de calor. Sin embargo, el grado de eficacia de la recuperación por causas de construcción y ronda el 25%. Los requisitos en cuanto a la construcción y la estabilidad de los anillos de cerio adyacentes y contrarrotativos, la transferencia de calor, la radiación de calor y el esfuerzo mecánico, son grandes.

Problemas similares a los descritos anteriormente resultan también en otros campos del estado de la técnica, cuando una unidad de proceso debe hacerse funcionar a diferentes temperaturas y debe recuperarse el calor extraído durante el enfriamiento.

55 Una recuperación de calor mejorada en un sistema de proceso con una unidad de proceso que puede hacerse funcionar entre una temperatura superior y una temperatura inferior se describen en el documento WO 2016/162839 A1.

60 La invención de acuerdo con el documento WO 2016/162839 A1 se refiere a un sistema de proceso y a un procedimiento para su funcionamiento con una unidad de proceso que puede hacerse funcionar entre una temperatura superior y una temperatura inferior, estando conectados operativamente entre sí un primer y un segundo acumulador de calor mediante una disposición de conductos para un medio transportador de calor, y estando dispuesta la unidad de proceso en una primera sección de la disposición de conductos entre el primer y el segundo acumulador de calor. De esta manera, se puede recuperar de manera eficiente el calor para enfriar la unidad de proceso desde la temperatura superior a la temperatura inferior. Además, en caso de usar acumuladores de calor estratificados, todos

los elementos de conmutación del sistema de proceso pueden estar dispuestos en el lado frío del acumulador de calor, mientras que en el lado caliente solo deben preverse conductos de conexión. Preferentemente, el sistema de proceso se hace funcionar cíclicamente, conmutándose cíclicamente la dirección de flujo del fluido transportador de calor.

- 5 Otros dispositivos y procedimientos de acuerdo con el estado de la técnica se conocen por los documentos US 2011/0100611 A1 y US 2005/0126170 A1.

Por lo tanto, la invención tiene el objetivo de perfeccionar un sistema de proceso con una unidad de proceso que pueda hacerse funcionar entre una temperatura superior y una temperatura inferior, de tal manera que se pueda recuperar mejor el calor usando un sistema de proceso simplificado y económico. El sistema de proceso, entre otras cosas, debe poder usarse también a temperaturas superiores a 1000 K, para poder fabricar, por ejemplo, gas de síntesis.

Este objetivo se consigue mediante las características de las reivindicaciones 1 y 7. Al estar previstas varias unidades de proceso, se puede reducir el volumen total de acumuladores de calor requerido por unidad de proceso.

Formas de realización preferentes de la presente invención tienen las características de las reivindicaciones dependientes 2 a 6.

- 20 A continuación, la invención se explica con la ayuda de figuras. Los objetos idénticos están designados en las figuras básicamente por los mismos signos de referencia. Muestran:

- La figura 1 una representación esquemática de un grupo de proceso sencillo para un sistema de proceso con una conexión en serie de un acumulador de calor, una unidad de proceso y un acumulador de calor adicional,
 25 la figura 2 un curso de temperatura en la unidad de proceso,
 la figura 3 una forma de realización de un acumulador de calor estratificado con diagramas de la distribución de temperatura que reina en el mismo durante el funcionamiento,
 la figura 4 una forma de realización de un grupo de proceso sencillo, compuesto por una unidad de proceso dispuesta entre dos acumuladores de calor estratificados, con diagramas de la distribución de temperatura que reina en el sistema de proceso durante el funcionamiento,
 30 la figura 5 la forma de realización del grupo de proceso sencillo de la figura 4 con diagramas de la distribución de temperatura que reina en el grupo en una forma de funcionamiento alternativa,
 la figura 6 una representación esquemática de una forma de realización de un grupo de proceso sencillo con una unidad de proceso, con un tercer acumulador de calor para calor externo,
 35 las figuras 7a a 7d el grupo de proceso sencillo de la figura 6 en cuatro estados de conmutación diferentes,
 la figura 8a una representación esquemática de un sistema de proceso con cuatro grupos de proceso sencillos conectados en paralelo,
 la figura 8b el sistema de proceso de la figura 8a en un primer estado de conmutación,
 40 la figura 8c el sistema de proceso de la figura 8b en un segundo estado de conmutación,
 la figura 9 un grupo de proceso de acuerdo con la invención,
 la figura 10 un sistema de proceso del tipo de aquel de la figura 8, que se hace funcionar con una distribución de temperatura alternativa, y
 la figura 11 otro grupo de proceso de acuerdo con la invención.

45 La figura 1 muestra un grupo de proceso sencillo 1 para un sistema de proceso, que a su vez se compone de varios grupos de proceso sencillos, por ejemplo cuatro grupos de proceso 100a a 100d de acuerdo con la figura 8.

El grupo de proceso 1 sencillo presenta una unidad de proceso 2 que puede hacerse funcionar entre una temperatura superior y una temperatura inferior, estando conectados operativamente entre sí un primer 3 y un segundo acumulador de calor 4 mediante una disposición de conductos L para un medio transportador de calor, y estando dispuesta la unidad de proceso 2 en una primera sección I de la disposición de conductos entre el primer 3 y el segundo acumulador de calor 4. De esta manera, cada uno de los acumuladores de calor 3, 4 presenta un extremo 3a, 4a orientado hacia la unidad de proceso 2 y un extremo 3b, 4b opuesto al mismo, y la primera sección I de la disposición de conductos presenta las secciones de conducto 5a, 5b que conectan los acumuladores de calor 3, 4 con la unidad de proceso 2.

En la forma de realización mostrada de la invención, la unidad de proceso 2 está configurada como un reactor de cerio que es adecuado para las reacciones descritas en la disertación ETH n° 21864 (evidentemente, también son conformes a la invención otros reactores). Para ello, el reactor de cerio está conectado en el lado de entrada por vía de un conducto 16a a través de una válvula 11 a un depósito de CO₂ 8 y a través de una válvula 12 a un depósito de H₂O 9 y, en el lado de salida, por vía de un conducto 16b a través de una válvula 13 y una bomba 14 a un depósito de gas de síntesis 10, en el que se acumula como productos finales una mezcla de gases compuesta principalmente de CO y H₂.

65 Además, se puede ver que el primer 3 y el segundo acumulador de calor 4 están conectados en el lado respectivo 3b, 4b, opuesto a la unidad de proceso 2, por medio de una segunda sección II de la disposición de conductos L a través

de del conducto 6 de esta. Por las dos secciones I y II de la disposición de conductos L resulta un circuito del medio transportador de calor que fluye en este, que puede ser, por ejemplo, argón, que también es adecuado para el transporte de calor a altas temperaturas.

Una disposición de bombas 15 permite mantener la dirección de flujo del medio transportador de calor en ambas direcciones del circuito y, en caso necesario, invertirlo. Para simplificar, la disposición de bombas 15 está representada aquí con dos bombas 15a y 15b que pueden conectarse al circuito o desacoplarse del mismo a través de válvulas 15c y 15d. Evidentemente, el experto en la materia puede concebir la disposición de bombas 15 de acuerdo con las necesidades en el caso concreto.

Cabe señalar aquí que en otra forma de realización no representada también se puede omitir la sección de conducto II. Entonces, por ejemplo, los acumuladores de calor 3, 4 están abiertos en sus lados 3b, 4b opuestos a la unidad de proceso 2, es decir, conectados con el entorno, de modo que el medio transportador de calor puede ser aire ambiente que fluye por los acumuladores de calor 3, 4, la unidad de proceso 2 y, por tanto, por la sección de conducto I. El experto en la materia también elegirá el circuito cerrado representado o una disposición abierta según el caso concreto (configuración de la unidad de proceso para un proceso industrial discrecional con las correspondientes temperaturas superior e inferior). Finalmente, en lugar de la sección de conducto II es posible prever depósitos para el medio transportador de calor en los lados opuestos de la unidad de proceso 2, de modo que entonces se pueda utilizar un medio distinto del aire ambiente. Estas variantes son posibles de forma análoga para todas las formas de realización de la presente invención.

Como se mencionó anteriormente, la unidad de proceso 2 en la forma de realización mostrada en la figura está configurada como un reactor de cerio que aquí funciona cíclicamente con una temperatura inferior en el rango de, por ejemplo, 1300 °K y una temperatura superior en el rango de, por ejemplo, 1800 °K (también en este caso, el experto puede determinar en el caso concreto fácilmente todos los parámetros de acuerdo con el proceso seleccionado). Por consiguiente, el reactor debe calentarse continuamente y después volver a refrigerarse. De acuerdo con la invención, el calor extraído durante la refrigeración del reactor se almacena de forma predeterminada en uno de los acumuladores de calor 3, 4 y se utiliza para el (re)calentamiento posterior, recuperándose de este modo. Un grado de eficacia del 100% no es posible, con la consecuencia de que al calentar en un rango de temperatura superior hasta la temperatura superior (aquí 1800 °K), el calor debe ser suministrado al reactor desde fuera, por ejemplo por el sol 7 (u otras fuentes de calor) que ilumine la unidad de proceso 2 (aquí el reactor de cerio), o indirectamente a través de otro acumulador de calor, no mostrado en la figura para mayor claridad, que a su vez se carga con energía solar (o con calor obtenido de otra manera) (véase más abajo, figura 6). Por lo tanto, en la forma de realización mostrada, la unidad de proceso 2 está configurada como reactor solar llenado de óxido de cerio (CeO_2), iluminado por el sol 7.

La figura 2 muestra cualitativamente un diagrama con una curva de temperatura en la unidad de proceso 2 (figura 1), que en las realizaciones ilustradas está configurada como un reactor de cerio, cuya temperatura de funcionamiento varía entre la temperatura inferior T_U (aquí 1300 °K) y la temperatura superior T_O (aquí 1800 °K).

En el momento t_U , salvo un proceso de inicio, comienza el calentamiento del reactor que se encuentra a la temperatura inferior T_U mediante calor recuperado de los acumuladores de calor 3, 4 (figura 1). Esto hace que la temperatura del reactor aumente a T_R (la temperatura que se puede alcanzar mediante la recuperación), que se alcanza en el momento t_R . Para un calentamiento adicional hasta T_O (alcanzado en el momento t) se necesita calor adicional, que debe suministrarse externamente, como se mencionó anteriormente, por ejemplo, mediante la iluminación del reactor por el sol o mediante el suministro de calor desde otra fuente de calor externa. Por lo tanto, la curva de temperatura pasa por los puntos P_U , P_R y P_O , donde el grado de eficacia de recuperación está determinado por la relación de las áreas bajo las secciones de la curva P_U a P_R y P_R a P_O .

Durante el calentamiento del reactor de T_U a T_O se reduce el cerio, se libera O_2 y se evacua continuamente al reactor a través de un conducto que para mayor claridad no se muestra en la figura 1. Una vez que se ha alcanzado T_O , como mucho están presentes todavía trazas de O_2 en el reactor que durante el corto tiempo de permanencia en el rango de temperatura superior se enfría fácilmente a la temperatura T_k , el inicio del enfriamiento del reactor, debido a las pérdidas de calor. El calor extraído del reactor hasta el final del enfriamiento a la temperatura T_{KE} en el momento t_{KE} se almacena en los acumuladores de calor 3, 4. Tan pronto como el reactor alcanza la temperatura T_{KE} , por el conducto 16 (figura 1) se alimenta O_2 y H_2O (preferentemente en forma de vapor) al reactor, formándose el gas de síntesis mediante reoxidación del cerio y suministrándose el gas de síntesis al depósito de sintegás a través del conducto 16b (figura 1). Durante la reoxidación, el reactor continúa enfriándose ligeramente hasta la temperatura T_U que se ha alcanzado en el momento t_{UE} .

Entonces el ciclo puede comenzar de nuevo. Para los acumuladores de calor 3,4 es aplicable que su temperatura de funcionamiento T_b , es decir, la temperatura máxima del calor almacenado en ellos, se sitúa entre T_k y T_R , ya que entre el medio intercambiador de calor y el reactor o el acumulador de calor es inevitable cierta diferencia de temperatura.

De acuerdo con la figura 1, el enfriamiento del reactor se realiza de tal forma que un medio transportador de calor más frío se conduce, por ejemplo, desde el primer acumulador de calor 3, a través de la sección de conducto 5a, al reactor (unidad de proceso 2), donde se calienta y se conduce adicionalmente a través de la sección de conducto 5b al

segundo acumulador de calor 4 que de este modo se carga y al invertir la dirección de flujo puede emitir calor para calentar el reactor, lo que puede producirse una y otra vez de forma cíclica.

Un grado de eficacia particularmente favorable de la recuperación se puede conseguir si, de acuerdo con una forma de realización, el primer 3 y el segundo acumulador de calor 4 están configurados como acumuladores de calor estratificados, es decir, acumuladores de calor que pueden hacerse funcionar con una distribución de temperatura definida, para realizar así de acuerdo con la invención de manera sencilla una forma de construcción sencilla y también económica.

La figura 3 muestra esquemáticamente una forma de realización preferente de un acumulador de calor 30 estratificado, es decir, un acumulador de calor que durante el funcionamiento puede formar una estratificación de temperatura con un perfil de temperatura predeterminado, como se describe a continuación. El acumulador de calor 30 representado aquí presenta sustancialmente una carcasa 31 aislante alargada y un relleno 32 acumulador de calor de material a granel como la grava o, por ejemplo, roca más fina o más gruesa (u otros materiales adecuados). En sus extremos desembocan conductos 30a y 30b para un medio transportador de calor, en este caso un gas como por ejemplo aire ambiente o, por ejemplo, en caso de altas temperaturas de funcionamiento, argón. El gas o argón fluye a lo largo del acumulador de calor 30 a través de los intersticios presentes en el material a granel y así emite calor al material a granel o absorbe calor del mismo, dependiendo de si el acumulador de calor 30 debe cargarse o descargarse de calor.

La figura 3 también muestra los diagramas 34, 40, 45 y 50 con diferentes distribuciones de temperatura a lo largo de la longitud del acumulador de calor 30 dependiendo del estado de funcionamiento actual, abarcando el intervalo de temperatura desde una temperatura ambiente T_{UG} hasta una temperatura de funcionamiento T_B . Están representados los estados de funcionamiento con diferentes direcciones de flujo del gas o argón, una vez del conducto 30a al conducto 30b, es decir, hacia la derecha, y después viceversa del conducto 30b al conducto 30a, es decir, hacia la izquierda, de acuerdo con la dirección de la flecha representada en los diagramas.

El diagrama 34 muestra la distribución de temperatura del acumulador de calor 30 que inicialmente se encuentre a la temperatura ambiente T_{UG} durante la carga de calor, para lo cual es atravesado hacia la derecha, en la dirección de la flecha, por un gas con una temperatura de funcionamiento T_B .

Se pueden observar cuatro curvas de distribución de temperatura 35 a 38 conforme a los tiempos de carga progresivos t_1 a 4. Al comienzo de la carga, el material a granel 32 situado en la entrada del acumulador de calor 30 se calienta haciendo que el gas pierda temperatura, de modo que las partes siguientes del material a granel 32 se calientan correspondientemente menos y las partes siguientes posteriormente del granel 32 se calientan aún menos a causa de la constante pérdida de temperatura del gas. En el momento t_1 resulta una distribución de temperatura que desciende gradualmente en la dirección de flujo de acuerdo con la curva 35. Por la carga sigue persistiendo resulta una distribución de temperatura escalonada de acuerdo con la curva 36 (momento t_2), es decir, el escalón aumenta en altura con el aumento de la temperatura del material a granel 32 en la entrada al acumulador de calor 30, desplazándose el escalón solo ligeramente en la dirección de flujo. Finalmente, el material a granel ha alcanzado en el momento t_3 en el lado de entrada la temperatura de funcionamiento T_B del gas, de modo que con una carga adicional la etapa pasa en la dirección de flujo a través del material a granel 32, véase la curva 37 en el momento t_4 . En otras palabras, durante la carga se crea un escalón o una rampa de temperatura en el acumulador, que se establece al comienzo de la carga (curvas 35 y 36) y después se desplaza en la dirección de flujo durante la carga adicional (curva 37), hasta que alcanza el otro extremo del acumulador de calor 30 y, en cierta medida, ha migrado a través de él, de modo que en el momento t_4 , el acumulador de calor 30 completamente cargado tiene una distribución de temperatura de acuerdo con la curva 38 al nivel de la temperatura de funcionamiento T_B . Cabe señalar que el gas que entra a la temperatura de funcionamiento T_B sale del acumulador de calor a la temperatura ambiente inferior T_{UG} hasta que el escalón alcanza su salida (aquí en el conducto 30b).

La figura 3 muestra la distribución de temperatura en el diagrama 40 si en el momento t_3 , la carga se detiene y después el acumulador de calor 30 se descarga haciendo pasar un gas a la temperatura ambiente T por el acumulador de calor 30 en la dirección de flujo inversa T_{UG} desde el conducto 30b. Como se mencionó, la carga se detiene en el momento t_3 , la distribución del calor corresponde a la curva 37. En el momento t_4 , el escalón de temperatura se ha desplazado hacia la izquierda, la distribución del calor corresponde a la curva 41. Cabe señalar que con la temperatura ambiente T_{UG} , el gas entrante mantiene el acumulador de calor a la temperatura de funcionamiento T_B hasta que el escalón alcance su salida (aquí en el conducto 30a).

La figura 3 muestra en el diagrama 45 la distribución de temperatura en el acumulador de calor 30 cuando, estando cargado solo parcialmente (pero todavía en la dirección de flujo hacia la derecha, es decir, desde el conducto 30a hasta el conducto 30b, véase la dirección de la flecha), la temperatura del gas entrante es T_B , por ejemplo hasta T_{UG} , aquí en el momento t_2 del diagrama 34, es decir, después de que esté presente una distribución de temperatura de acuerdo con la curva 37 del diagrama 40.

El material a granel en el lado de entrada calienta por tanto el gas que entra con T_{UG} gas hasta la temperatura de funcionamiento T_B y se enfría un poco durante ello, pero el gas calentado ahora a T_B continúa fluyendo hacia la derecha y calienta la zona del material a granel 32, situado inmediatamente por detrás, correspondientemente a T_B , pero pierde

calor durante ello, de modo que una zona del material a granel 32 situada todavía más atrás se sigue calentando, pero a una temperatura más baja, y así sucesivamente, lo que en el momento t_{3^*} da lugar a una distribución de temperatura de acuerdo con la curva 46. El gas que sigue entrando a la temperatura T_{UG} sigue enfriando el material a granel 32 en el lado de entrada, pero absorbe su calor y lo sigue transportando en la dirección de flujo, y en el momento t_{4^*} resulta la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 47 y, al seguir entrando el gas a la temperatura T_{UG} , en el momento t_{5^*} resulta la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 48. En otras palabras, la distribución de temperatura ya no se forma como un escalón, sino como una onda que pasa por el acumulador de calor 30 en la dirección de flujo. Cabe señalar que en este estado de funcionamiento, el gas entra y sale a la temperatura inferior T_{UG} fluye, mientras se forma la onda y pasa por el acumulador de calor 30 en la dirección de flujo, a medida que avanza el tiempo hasta que la onda llega a la salida en el conducto 30b, comenzando solo entonces una descarga del acumulador de calor 30 que dura hasta que la onda haya pasado completamente por el conducto 30b.

Cabe destacar que se pueden formar ondas con las formas más diversas, por ejemplo en función de cómo se modifica la temperatura que fluye hacia el acumulador de calor. A continuación, para todas estas posibles formas de onda se usará simplemente el término "onda".

La figura 3 muestra en el diagrama 50 la distribución de temperatura en el acumulador de calor 30 cuando en el momento de la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 48 (diagrama 40) en el momento t_{5^*} se invierte la dirección de flujo, de modo que entonces el gas fluya (todavía a la temperatura inferior T_{UG}) desde el conducto 30b al conducto 30a hacia la izquierda, véase la dirección de la flecha.

Como situación de partida en el momento de la inversión de la dirección de flujo existe, como se ha mencionado, la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 48 en el momento t_{5^*} , pero ahora la onda se mueve hacia la izquierda de acuerdo con la dirección de flujo inversa, hacia el conducto 30a. A esto le sigue, un intervalo de tiempo después de la inversión de la dirección de flujo, la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 51 en el momento t_{6^*} y después aquella de acuerdo con la curva 52 en el momento t_{7^*} . Cabe señalar que durante la descarga del acumulador de calor 30 mostrado en el diagrama 50, el gas entra a la temperatura ambiente T_{UG} fluye y sale inicialmente también a la temperatura ambiente T_{UG} mientras el flanco de temperatura anterior de la onda alcanza el conducto 30a, donde la temperatura aumenta entonces conforme al flanco ascendente de la onda hasta la temperatura de funcionamiento T_B aumenta y después vuelve a bajar conforme al flanco descendente siguiente, hasta que el acumulador de calor 30 se ha descargado por completo.

Durante el funcionamiento adecuado, es decir, durante el funcionamiento con carga solo parcial incluso siendo atravesado continuamente por el gas transportador de calor, el acumulador de calor 30 tiene un lado caliente y un lado frío, véanse los diagramas 34 y 40 de la figura 3, siguiente el lado frío aquí sustancialmente a la temperatura ambiente T_{UG} , aunque el lado caliente alcanza la temperatura de funcionamiento T_B . Esto también es aplicable al funcionamiento con una onda de acuerdo con los diagramas 45 y 50, si la onda se desplaza hacia dentro del acumulador de calor 30 solo hasta tal punto que el lado caliente del acumulador de calor aún no haya caído a la temperatura inferior (por ejemplo hasta la distribución del calor de acuerdo con la curva 47 del diagrama 45).

La figura 4 muestra un grupo de proceso 60 sencillo de acuerdo con una forma de realización con dos acumuladores de calor 61, 62 estratificados que están configurados de acuerdo con la figura 3, de modo que contienen un material a granel 66 que almacena calor. Entre el primer acumulador de calor 61 y el segundo acumulador de calor 62 está dispuesta una unidad de proceso representada solo con líneas discontinuas, configurada aquí como reactor de cerio 63, pudiendo verse las secciones de conducto 64a y 64b de una primera sección I de la disposición de conductos L (figura 1) que conecta el reactor de cerio 63 operativamente con los acumuladores de calor 61, 62. También están representadas las bocas 65a y 65b del conducto 6, no representadas en la figura para mayor claridad, de la segunda sección II de la disposición de conductos L (figura 1), que hacen posible el circuito del medio transportador de calor (aquí a su vez argón) en ambas direcciones de flujo, concretamente hacia la derecha desde la boca 65a hasta la boca 65b y viceversa hacia la izquierda desde la boca 65b hasta la boca 65a.

Mediante el funcionamiento del grupo de proceso 60 sencillo se conmuta ahora cíclicamente el reactor de cerio 63 de acuerdo con la figura 2 entre una temperatura superior T_o y una temperatura inferior T_u , mostrándose en los diagramas 70 a 74 el intercambio de calor entre el primer 61 y el segundo acumulador de calor 62 y el reactor 63 e, pero para ilustrar la interacción entre los acumuladores de calor inicialmente sin el suministro de calor externo entre la temperatura de recuperación T_R y la temperatura superior T_o (véase el diagrama 20, figura 2) pero partiendo desde la temperatura de funcionamiento T_B , comprendida entre T_R y T_o , de los acumuladores de calor 61, 62. Con respecto al suministro de calor externo, véanse más abajo las figuras 6 y 7a a 7d.

Los diagramas 70 a 74 muestran curvas de distribución de temperatura 76 a 80 de diferentes estados operativos de la disposición del reactor de cerio 63 con el primer 61 y el segundo acumulador de calor 62, representando las secciones A, B y C respectivamente el área o la longitud en el dirección de flujo del medio transportador de calor del primer acumulador de calor 61, el reactor de cerio 63 y el segundo acumulador de calor 62.

El diagrama 70 muestra la curva de distribución de temperatura 76 después de una primera parte de un proceso de inicio del grupo de proceso 60 sencillo en el momento t_0 . El primer acumulador de calor 61 está cargado de calor de

tal manera que existe una onda de temperatura W con una temperatura máxima T_B , cayendo los flancos de la onda W a la temperatura ambiente T_{UG} , aquí por ejemplo 300 °K. El reactor de cerio 63 y el segundo acumulador de calor 62 se encuentran todavía a la temperatura ambiente T_{UG} . Para la segunda parte del proceso de inicio, el argón fluye a temperatura ambiente T_{UG} desde la boca 65a hacia la derecha a través del primer acumulador de calor 61, el reactor de cerio 63 y el acumulador de calor 62 hasta la boca 65b, véase la dirección de la flecha en el diagrama 70, con la consecuencia de que la onda W se mueve hacia la derecha en la dirección de flujo, como se describe en el diagrama 45 en la figura 3.

El diagrama 71 muestra la curva de distribución de temperatura 77 en el momento t_{10} , donde la onda de temperatura W se ha desplazado tanto hacia la derecha en la dirección de flujo que con el flanco anterior ha chocado con el reactor de cerio 63 y ha pasado parcialmente por este, es decir, el argón tiene ha fluido a través del reactor de cerio 63 con una temperatura T_F ascendente comprendida entre T_{UG} y T_B del flanco y lo ha calentado correspondientemente.

Debido a que la onda de temperatura W de T_{UG} va penetrando en el reactor de cerio 63 a medida que va aumentando la temperatura de flanco T_F , calentándolo continuamente de modo que la diferencia de temperatura de T_F y la del reactor 63 siempre sigue siendo pequeña. Evidentemente, como resultado, el argón pierde algo de calor, véase la caída de temperatura en la curva de distribución de temperatura 71 en la sección B, después de lo cual el argón sale del reactor de cerio 63 a una temperatura inferior a T_F temperatura predominante. Finalmente, el segundo acumulador de calor 62 es calentado por el argón entrante, de modo que la curva de distribución de temperatura 77 tiene un flanco en la sección C, véase la descripción relativa a la figura 3, en particular el diagrama 34, curva 35. Resulta que el calor almacenado en el acumulador de calor 61 se utiliza para calentar el reactor 63, pero también sirve para cargar el acumulador de calor 62.

De ello resulta además que la onda W que se desliza pasando por el reactor de cerio 63 en cierto modo "no lo ve" (con excepción de la caída de temperatura a causa del intercambio de calor del argón con el reactor 63), pero, evidentemente, queda partida por la longitud del reactor 63 (sección B), como muestra la curva de distribución de temperatura 77.

En resumen, el proceso de inicio finaliza en cuanto la distribución de temperatura corresponda a la curva de distribución de temperatura 77: el reactor 63 está a T_U , estando el primer acumulador de calor 61 cargado con una onda W de tal manera que el reactor 63 puede ser llevado por esa a T_B y, a continuación, volver a ser refrigerado a T_U . En otras palabras, el reactor 63 se encuentra en el punto P_U del diagrama 20 de la figura 2.

El diagrama 72 muestra la curva de distribución de temperatura 78 posteriormente, en el momento t_{11} , en el que la onda W ha entrado en el reactor de cerio 63 hasta tal punto que este es atravesado por argón a la temperatura superior T_B . Por tanto, el reactor de cerio se ha llevado a una temperatura T_R (figura 2) próxima a la temperatura superior T_o y se encuentra en el punto P_R del Diagrama 20, figura 2. De acuerdo con la descripción de las figuras 1 y 2, después, el reactor de cerio 63 preferentemente es llevado por el calor adicional o externo procedente de la irradiación solar, o por calor procedente de otra fuente de calor a T_o (es decir, al punto P_o en el diagrama 20), véase a este respecto la descripción que figura más adelante con respecto a las figuras 6 y 7.

El diagrama 73 muestra la curva de distribución de temperatura 79 en el momento t_{12} , donde la onda W ha seguido pasando por el reactor de cerio 63 entre los momentos t_{11} y t_{12} , de modo que ahora lo atraviesa su flanco siguiente descendente y la cresta de la onda W ha migrado al segundo acumulador de calor 62. Mientras lo esté atravesando el flanco siguiente de la onda W , el reactor de cerio 63 emite continuamente calor al argón, ya que de acuerdo con el flanco descendente, este siempre está más frío, a pesar de la continua pérdida de calor del reactor 63, que el reactor de cerio que pierde calor con un retraso respecto a él.

De nuevo, la diferencia entre la temperatura actual del argón y la del reactor 63 es pequeña. En el momento t_{12} , el reactor 63 e encuentra en el punto P_{KE} del diagrama 20, figura 2. Para la reoxidación del cerio y el enfriamiento asociado del reactor 63 a T_U (punto P_U en el diagrama 20, figura 2), se puede detener el flujo de argón.

A continuación, se produce la conmutación de la dirección de flujo hacia la izquierda en la dirección de la flecha inferior, es decir, del conducto 65b al conducto 65a, después de lo cual la onda W se mueve hacia la izquierda y calienta a su vez el reactor 63 durante su paso por el flanco ascendente delantero y, a continuación, lo enfría por el flanco descendente siguiente.

El diagrama 74 muestra la curva de distribución de temperatura 80 en el momento t_{14} , en el que la onda W ha pasado a través del reactor de cerio 63 hasta tal punto que, después de calentar a T_R (y por calor externo a T_o , véase el diagrama 20, figura 2) se ha vuelto a enfriar a T_{KE} y se ha acumulado el calor correspondiente en el acumulador de calor 61.

En resumen, después de un proceso inicial de acuerdo con el diagrama 70, el grupo de proceso 60 tiene una distribución de temperatura de acuerdo con el diagrama 71, la onda W es enviada entonces a través del reactor 63 en una dirección de flujo (aquí: hacia la derecha), de modo que resulta la distribución de temperatura de acuerdo con el diagrama 73 y, desde allí, la onda W es enviada de vuelta en la otra dirección de flujo (aquí: hacia la izquierda) a través

del reactor de cerio 63 hasta que esté presente la distribución de temperatura de acuerdo con el diagrama 74 que constituye el punto de partida para un nuevo ciclo, es decir, nuevamente en una dirección de flujo hasta el estado de acuerdo con el diagrama 73 y, después, de vuelta en la otra dirección de flujo hasta el estado de acuerdo con el diagrama 74, y así sucesivamente mientras se ejecute el proceso. Partiendo del centro del reactor 73, el árbol W se desplaza a posiciones finales situadas simétricamente en los acumuladores de calor 61 y 62. Después del proceso de inicio, la onda W se extiende a lo largo de la longitud L_{SIM} desde el reactor de cerio 63 a los dos acumuladores de calor 61,62 o secciones A y C, véase el diagrama 74 en conjunto con el diagrama 73. Esto significa que durante el funcionamiento, los dos acumuladores de calor se mantienen, en sus secciones exteriores situadas en las bocas 65a y 65b, siempre a la temperatura ambiente T_{UG} y por tanto fríos, mientras que en el interior del sistema de proceso tiene lugar un intercambio de calor cíclico entre el reactor 63 y los acumuladores de calor 61,62 mediante la onda W que oscila continuamente de un lado a otro de acuerdo con los diagramas 73,74.

La figura 5 muestra una forma de realización adicional en la que el proceso no se lleva a cabo de forma simétrica (figura 4), sino de forma asimétrica, por el hecho de que la onda W que pasa a través del reactor 63 hacia la derecha se detiene ya con la distribución de temperatura de acuerdo con el diagrama 72 (figura 4). A modo de explicación, la figura 5 muestra dicha secuencia con los diagramas 85 a 87 que corresponden a los diagramas 71, 72 y 74 de la figura 4, es decir, sus curvas de distribución de temperatura 88 a 90 (en los momentos t_{20} hasta t_{23}) son las mismas que las curvas de distribución de temperatura 77, 78 y 80. Sin embargo, como se mencionó, lo que ha cambiado es el momento en el que se conmuta la dirección de flujo, lo que ocurre cuando está presente la distribución de temperatura de acuerdo con la curva 89 conforme al diagrama 86.

Esto significa que el reactor 63 se calienta comenzando desde el estado de acuerdo con el diagrama 85 al del diagrama 86 y el enfriamiento se produce tras la conmutación del flujo desde el estado de acuerdo con el diagrama 86 al estado de acuerdo con el diagrama 87, después de lo cual el ciclo comienza de nuevo. Por consiguiente, la onda oscilante W penetra menos en el segundo acumulador de calor 62 que en el primer acumulador de calor 61, de modo que sus posiciones finales ya no son simétricas, sino asimétricas. Las longitudes L_{ASIM} correspondientes se indican en el diagrama 87 en combinación con el diagrama 86. De ello se deduce que el segundo acumulador de calor 62 puede realizarse ventajosamente de forma más corta que en el caso de la forma de realización de acuerdo con la figura 4, mientras que, evidentemente, los dos extremos exteriores de los acumuladores de calor 61,62 en las bocas 65a y 65b también están siempre a la temperatura ambiente T_{UG} y por tanto permanecen fríos.

Las pérdidas de calor en el intercambio de calor descrito con referencia a las figuras 4 y 5 son pequeñas y el grado de eficacia de la recuperación de calor así conseguida es alto. Además, en combinación con la descripción de la figura 2, el experto en la materia puede especificar fácilmente los tiempos de conmutación del flujo para el caso concreto con respecto a cualquier proceso con temperatura cambiante cíclicamente. En particular, mediante la pendiente de los flancos de la onda W y su velocidad al pasar a través del reactor 63, el experto en la materia puede determinar la diferencia de temperatura a la que está expuesto el reactor durante el calentamiento o el enfriamiento, lo que, a la inversa, también hace posible concebirlo solo para pequeñas diferencias de temperatura predeterminadas.

En la forma de realización del grupo de proceso 60 sencillo descrito en las figuras 4 y 5, el primer 61 y el segundo acumulador de calor 62 tienen un relleno acumulador de calor, hecho de material a granel 66, siendo el medio transportador de calor preferentemente un gas, de manera particularmente preferente argón. Además, resulta que los acumuladores de calor 61 y 62 están, en su lado opuesto al reactor 63 (en las bocas 65a y 65b), siempre a la temperatura ambiente T_{UG} durante el funcionamiento, mientras que sus lados orientados hacia el reactor 63 están, en las secciones de conducto 64a y 64b (después del proceso de inicio), siempre a temperaturas elevadas entre T_U y T_B , la temperatura máxima de la onda W (que oscila de un lado a otro).

Por consiguiente, durante el funcionamiento, el primer acumulador de calor (61) y el segundo acumulador de calor (62) presentan respectivamente un lado frío, estando prevista preferentemente una segunda sección (II) de la disposición de conductos (L), que une estos lados fríos entre sí. Incluso suprimiendo la segunda sección II, los lados fríos pueden estar conectados con el entorno o con otros sistemas, como es el caso en una forma de realización descrita en la figura 1. A este respecto, cabe añadir que durante el funcionamiento real, los lados fríos pueden calentarse ligeramente con el tiempo. El experto en la materia puede entonces prever para el caso concreto una unidad de refrigeración para el medio transportador de calor en la segunda sección II de la disposición de conductos L, si fuera necesario, o también puede concebir el sistema de proceso de tal manera que pueda enfriarse durante las interrupciones (noche) que se producen en el régimen solar.

En las figuras 4 y 5 se puede ver además que los acumuladores de calor 61,62 están interconectados a través de las líneas 64a y 64b (sección I de la disposición de conductos L), mientras que de acuerdo con la figura 1, todos los elementos de conmutación necesarios para el funcionamiento del sistema de proceso, como por ejemplo la disposición de bombas 15, pueden preverse en la segunda sección II de la disposición de conductos L, con la ventaja de que los elementos de conmutación están dispuestos en el lado frío, de modo que están libres de altas temperaturas y pueden concebirse con una construcción correspondientemente sencilla. En el lado caliente o candente que en función de la aplicación puede estar a temperaturas superiores a 1300 °K o 2300 °K o más, son suficientes unas conexiones de tubo sencillas, como por ejemplo tubos de cerámica. Por consiguiente, en la segunda sección II de la disposición de conductos L están dispuestos preferentemente elementos de conmutación para el funcionamiento de la primera

sección I y de la segunda sección II de la disposición de conductos. De manera especialmente preferente, la primera sección de conducto I está libre de elementos de conmutación para el funcionamiento del grupo de proceso sencillo. Los acumuladores de calor 60, 61 deben configurarse con una longitud mínima para que su lado frío no exceda durante el funcionamiento la temperatura ambiente T_{UG} . Gráficamente, esta longitud mínima está representada en las figuras 4 y 5 por una longitud L_{SIM} o L_{ASIM} asignada a cada acumulador de calor 60,61; se trata de aquellos trayectos en las secciones A y C, que la onda W necesita recorrer para desplazarse de un lado a otro. Las longitudes L_{SIM} y L_{ASIM} del acumulador de calor 61 en las realizaciones de acuerdo con las figuras 4 y 5 son del mismo tamaño, mientras que las longitudes L_{ASIM} del acumulador de calor 62 en la figura 5 son menores que L_{SIM} del acumulador de calor 62 en la figura 4, debido a que la onda W entra en menor medida en el acumulador de calor 62.

Resulta que el experto en la materia puede dimensionar la longitud del acumulador de calor en la forma de realización de acuerdo con la figura 4 a un mínimo de L_{SIM} , y en una forma de realización de acuerdo con la figura 5, puede volver a acortar la longitud de un acumulador de calor (aquí el segundo acumulador de calor 62) a L_{ASIM} , lo que permite una fabricación más económica.

A este respecto, cabe destacar que el lado frío del acumulador de calor está, en la mayoría de las aplicaciones, a la temperatura ambiente T_{UG} . Sin embargo, dependiendo del caso concreto, puede estar indicado que los lados fríos, es decir, los lados de la unidad de almacenamiento de calor opuestos a la unidad de proceso, estén durante el funcionamiento a una temperatura más alta, por ejemplo de hasta 400 °K o incluso superior, si, por ejemplo, el fluido transportador de calor todavía circula en otros sistemas conectados al sistema de proceso o se encuentra a su vez en intercambio de calor con otros sistemas de este tipo. Sin embargo, en el presente caso siempre se usa el término "lado frío" para distinguirlo del lado caliente del acumulador de calor. El experto en la materia puede prever para el funcionamiento con un lado frío que esté por encima de la temperatura ambiente T_{UG} un proceso de inicio configurado específicamente; no cambia por ello el principio de funcionamiento de acuerdo con la invención descrito en las figuras 3 a 5.

Las condiciones descritas anteriormente, en particular en lo que respecta a los lados caliente y frío del acumulador de calor, se aplican no solo a un grupo de proceso sencillo independiente, sino también a sistemas de proceso con varios grupos de proceso y a sistemas de proceso con grupos de proceso combinados.

De la descripción anterior, relativa a las figuras 1 a 5 y también de acuerdo con las formas de realización descritas en las figuras 6 a 10, resulta un procedimiento para calentar y enfriar cíclicamente una o varias unidades de proceso 2, que pueden hacerse funcionar entre una temperatura superior y una inferior, estando conectada respectivamente una unidad de proceso de forma operativa entre un primer 3 y un segundo acumulador de calor 4,

- en el que el primer 3 y el segundo 4 acumulador de calor liberan calor en el rango de temperatura superior en un estado cargado, y durante una descarga, la temperatura tiende hacia la temperatura inferior,
- en el que el primer 3 y el segundo 4 acumulador de calor pueden cargarse, durante una carga, primero con calor en el rango de temperatura inferior y después en el rango de temperatura superior, y
- en el que por un cambio cíclico de la dirección de flujo de un medio transportador de calor que fluye a través del primer 3 y el segundo acumulador de calor 3, y por tanto a través de la unidad de proceso 2, dicha unidad de proceso 2 se hace alternar entre la temperatura superior y la temperatura inferior.

En este caso se mantiene preferentemente una dirección de flujo antes de la inversión cíclica hasta que una o varias unidades de proceso 2 se calientan desde la temperatura inferior hasta una temperatura de recuperación y a continuación se enfrían de nuevo hasta la temperatura inferior (véase la forma de realización de acuerdo con la figura 4).

Más preferentemente, los acumuladores de calor funcionan con una estratificación de temperatura ondulada que forma una onda W. De manera especialmente preferente, el cambio de dirección de flujo se sincroniza de tal manera que la onda entre y salga de ambos acumuladores de calor en la misma medida en funcionamiento continuo y simétrico, oscilando de un lado a otro. Alternativamente, el cambio de dirección de flujo también se puede sincronizar de tal manera que la onda oscile continuamente de un lado a otro en funcionamiento asimétrico en un acumulador de calor en menor medida que en el otro acumulador de calor, preferentemente hasta su pico de temperatura.

Las ventajas que se pueden conseguir de acuerdo con la invención con un lado frío (y caliente) del acumulador de calor se realizan particularmente si durante el funcionamiento la onda W solo alcanza parcialmente los lados del acumulador de calor opuestos a la unidad de proceso, de manera que estos lados permanezcan por debajo de una temperatura predeterminada, pero preferentemente no los alcanza, de modo que estos lados permanezcan fríos.

Finalmente, el experto en la materia también puede adaptar el flujo a la unidad de proceso de tal manera que la diferencia de temperatura actual entre el medio transportador de calor que la atraviesa y la unidad de proceso no exceda un valor predeterminado.

En todas las formas de realización mostradas, la unidad de proceso puede estar configurada como reactor solar iluminado directa o indirectamente. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el calor de cualquier otra fuente

de calor también se puede utilizar para aumentar durante el calentamiento de la unidad de proceso la temperatura de la misma de T_R a T_0 .

La figura 6 muestra un diagrama de un grupo de proceso 100 sencillo visto de forma aislada, en el que el calor externo, aquí por ejemplo energía solar, se introduce entre los puntos P_R y P_0 en el diagrama 20 de la figura 2 indirectamente, es decir, sin iluminación directa de la unidad de proceso 2 (figura 1) por el sol. Sin embargo, como se mencionó, en lugar de energía solar también se puede usar energía procedente de otra fuente.

Se muestra a su vez una unidad de proceso configurada como reactor de cerio 63, en la que desembocan operativamente los conductos necesarios para el transporte del medio transportador de calor y de todos los reactivos. Se pueden ver los conductos 101a y 101b de una primera sección I de una disposición de conductos L, así como una segunda sección II de la disposición de conductos L con una disposición de bombas 103 con bombas 103a y 103b que están provistas respectivamente de un depósito 104 para el medio transportador de calor, aquí a su vez argón. Asimismo se pueden ver el depósito de CO_2 8, el depósito de H_2O 9 y el depósito de sintegás 10 (véase a este respecto la descripción relativa a la figura 1). Un primer acumulador de calor 61 y un segundo acumulador de calor 62 están configurados de acuerdo con la forma de realización mostrada en la figura 4. Hasta aquí y salvo la iluminación directa del reactor 63 por el sol 7 (figura 1), el grupo de proceso 100 sencillo corresponde al de la figura 1.

Pero ahora se añaden además un tercer acumulador de calor 110 y un receptor solar 111 para rayos solares 111a (u otra fuente de calor adecuada), los cuales pueden conectarse al circuito para el medio transportador de calor, estando configurados el receptor 111 y el acumulador de calor 110 para generar o almacenar calor a al menos la temperatura superior T_0 . Preferentemente, el tercer acumulador de calor 110 está configurado como acumulador de calor estratificado de acuerdo con la figura 3 y se carga y descarga de acuerdo con el diagrama 40 de la figura 3. Además, en la segunda sección de la disposición de conductos L está conectada a través de los conductos 115a y 115b (allí por vía de la bomba 103c) al depósito de argón 104 y a través del conducto 115c a una entrada al reactor 63 configurada como conducto 116. El receptor solar 111 está conectado a su vez a través del conducto 117a (por vía de la bomba 103d) al depósito de argón 104 y a través del conducto 117b, de forma conmutable opcionalmente, al conducto 116 por un lado y al conducto 115c por otro, de modo que el medio calentado por el calor (aquí: argón) puede ser transportado directamente al reactor 63 o al tercer acumulador de calor 110, de forma accionada por la bomba 103d en el conducto 117a. Las válvulas 118a a 118c, junto con los conductos 101c a 101f y junto con las válvulas de retención asignadas a las bombas 103a a 103d, determinan el flujo y la trayectoria del medio transportador de calor en el sistema de proceso 100.

Cabe destacar que la línea discontinua en el grupo de proceso 100, representada en la figura, forma el límite entre su lado caliente, que incluye el reactor 63, y su lado frío, en el que están dispuestos todos los elementos de conmutación como las válvulas y la disposición de bombas 103. Una vez más queda clara la disposición ventajosa que permite disponer todos los elementos de conmutación de forma sencilla y económica en la zona fría (preferentemente a temperatura ambiente T_{UG}), mientras que en la zona caliente, a temperaturas entre T_R y T_0 que pueden superar los 1300 °K o 2300 °K, solo deben preverse tuberías para el medio transportador de calor y para las sustancias que reaccionan o se generan en el reactor, que asimismo pueden componerse de forma sencilla y económica, por ejemplo, de cerámica.

El conducto 117b forma una tercera sección III y el conducto 115c forma una cuarta sección IV de la disposición de conductos L.

Esto significa que, de acuerdo con la forma de realización mostrada, en la primera sección I de la disposición de conductos L, en la dirección de flujo delante de la unidad de proceso está dispuesta una entrada 116 para el medio transportador de calor en el rango de la temperatura superior, y más preferentemente está previsto un receptor solar para calentar el medio transportador de calor, conectando una tercera sección de la disposición de conductos el receptor solar a la entrada y, por último, de forma particularmente preferente está previsto un tercer acumulador de calor que está conectado, por una cuarta sección de la disposición de conductos, a la entrada, pudiendo ser almacenado, en este tercer acumulador de calor, calor del receptor solar.

La forma de realización de acuerdo con la figura 6 también muestra que para un sistema de proceso discrecional, accionado por energía solar, el receptor puede disponerse de forma alejada de la unidad de proceso (por ejemplo, un reactor para reacciones químicas u otra unidad para el aprovechamiento de calor), ya sea en conexión directa a una unidad de proceso del sistema de proceso o indirectamente a través de un acumulador de calor asignado al receptor.

Las figuras 7a a 7d muestran cómo el grupo de proceso 100 sencillo puede conmutarse para las diferentes fases de funcionamiento del reactor 63 mostrado en la figura 2 (y también hacerse funcionar para los pasos de proceso descritos anteriormente), en cuyo caso los acumuladores de calor 61 y 62 se hacen funcionar preferentemente de acuerdo con las figuras 4 y 5.

La figura 7a muestra un estado de conmutación del grupo de proceso 100 sencillo en el período de tiempo t_0 a t_k o en el período de tiempo t_{KE} a t_{UE} (véase la figura 2, diagrama 20, con los puntos P_0 a P_k y P_{KE} a P_{UE}), en los que ha concluido la reducción del cerio o está teniendo lugar la reoxidación y por lo tanto aquí no hay flujo del medio

transportador de calor a través del reactor 63. Durante estos períodos de tiempo t_R a t_0 o en el periodo de tiempo t_{KE} a t_{UE} , el calor procedente del receptor solar 111 puede ser almacenado, a través del medio transportador de calor (aquí: argón), en el tercer acumulador de calor 110. Para este fin, la bomba 103d impulsa el argón procedente del depósito 104 a través del receptor 111, donde se carga con calor, después a través de los conductos 117b y 115c al acumulador de calor 110 que de esta manera se carga con calor, y finalmente, enfriado a la temperatura ambiente t_{UG} , de vuelta al depósito 104. Los conductos activos de esta manera están resaltados en negrita en la figura.

La figura 7b muestra un estado de conmutación del sistema de proceso 100 sencillo para un flujo que discurre hacia la derecha en las realizaciones de las figuras 4 y 5, es decir, por ejemplo, en el período t_U a t_R o entre los puntos P_U arriba_R (véase la figura 2), en el que el reactor 63 se calienta mediante calor recuperado, es decir, calor almacenado en el primer acumulador de calor 61. En los acumuladores de calor 61,62 está presente inicialmente la distribución de temperatura de acuerdo con el diagrama 71 de la figura 4 o el diagrama 85 de la figura 5, dependiendo de la forma de realización de acuerdo con la cual se hace funcionar el sistema de proceso. Para ello, la bomba 103b impulsa el argón procedente del depósito 104 a través del receptor a través del primer acumulador de calor 61, donde se carga con calor, y después a través del conducto 101b al reactor 63 y desde este a través del conducto 101a al segundo acumulador de calor 62 que de esta manera se carga con calor, y finalmente, enfriado a temperatura ambiente t_{UG} , de vuelta al depósito 104. Los conductos activos de esta manera están resaltados en negrita en la figura.

Sin embargo, este estado de conmutación también existe si en el periodo de tiempo t_K a t_{KE} o entre los puntos P_K a P_{KE} (véase la figura 2) se extrae calor del reactor 63 que ha de ser refrigerado y se almacena para su recuperación en el acumulador de calor 62, como se muestra en el diagrama 73 de la figura 4. Entonces, desde el acumulador de calor 61 fluye argón a temperatura descendente a través del reactor 63 donde este absorbe su calor y lo almacena en el acumulador de calor 62.

La figura 7c muestra un estado de conmutación del sistema de proceso 100 en el período de tiempo t_R a t_0 o entre los puntos P_R a P_0 (véase la figura 2), en el que el reactor 63 es llevado a la temperatura superior T_0 por el calor externo (aquí procedente el receptor 111) almacenado en el tercer acumulador de calor 110. Como ya se mencionó anteriormente, el acumulador de calor 110 también puede cargarse mediante otras formas de energía que la energía solar, y en lugar del receptor 111, una fuente de energía distinta del sol también podría introducir calor en el sistema de proceso 100.

Para ello, la bomba 103c impulsa el argón procedente del depósito 104 a través del acumulador de calor 110, donde se carga con calor, y después a través de los conductos 115c y 116 al reactor 63 y desde este a través del conducto 101a al acumulador de calor 62 que de esta manera se carga con calor por encima de T_R , y finalmente, enfriado a la temperatura ambiente t_{UG} , de vuelta al depósito 104. Los conductos activos de esta manera están resaltados en negrita en la figura.

Alternativamente, también se puede conectar la bomba 103d, de modo que al mismo tiempo el fluido transportador de calor calentado por el receptor 111 y el tercer acumulador de calor 110 fluye a través del conducto 116 hacia el reactor. Asimismo, solo se puede activar la bomba 103d, pero no la bomba 103c, de modo que el estado de conmutación del sistema de proceso 100 corresponde al de la figura 1 con iluminación directa del reactor por el sol.

Cabe destacar que en el diagrama 73 de la figura 4 o en el diagrama 86 de la figura 5, la temperatura máxima de la onda W está representada sin esta carga con calor por encima de T_R , ya que en estos diagramas se analiza el desplazamiento de la onda W como resultado de la estructura del grupo de proceso 60 mostrado allí. En un estado de conmutación de acuerdo con la figura 7c de un sistema de proceso de acuerdo con la invención, el grado de eficacia aumenta de nuevo debido al calor externo así recuperado. También cabe señalar que esto permite evitar la pequeña y constante caída de la temperatura máxima de la onda desplazándose en los diagramas 45 y 50 de la figura 3, de tal manera que las temperaturas T_R y T_0 en realidad pueden permanecer constantes durante un período de funcionamiento de duración discrecional. En el caso concreto, el experto en la materia puede concebir el sistema de proceso 100 fácilmente de manera correspondiente.

La figura 7d muestra un estado de conmutación del sistema de proceso 100 para un flujo que discurre hacia la izquierda en las formas de realización de las figuras 4 y 5, es decir, por ejemplo para una onda de retorno W de acuerdo con el diagrama 73 de la figura 4 en el período t_U a t_R o entre los puntos P_U a P_R (véase la figura 2), en el que el reactor 63 se calienta mediante calor recuperado, es decir, a diferencia de la figura 7b, acumulado no en el primer acumulador de calor 61, sino en el segundo acumulador de calor 62. Pero la onda de retorno W también hace que el reactor 73 se enfríe durante el período t_K a t_{KE} o entre los puntos P_K a P_{KE} (véase la figura 2), y se extrae calor del reactor 63 que ha de ser enfriado y se almacena ahora en el acumulador de calor 61 para su recuperación.

Para ello, la bomba 103a impulsa el argón procedente del depósito 104 a través del acumulador de calor 62, después a través del conducto 101a al reactor 63 y desde allí a través del conducto 101b al acumulador de calor 61, y finalmente, enfriado a la temperatura ambiente t_{UG} , de vuelta al depósito 104. Los conductos activos de esta manera están resaltados en negrita en la figura.

La figura 8a muestra un sistema de proceso 130, que se compone de cuatro grupos de proceso 100a a 100d sencillos,

todos los cuales están configurados de manera análoga al grupo de proceso 1 de la figura 1 y están conectados en paralelo. Para aliviar la carga de la figura, se han omitido los depósitos 8 para CO₂, 9 para H₂O y 10 para sintegás, pertenecientes a cada grupo de proceso 100a a 100d. En el caso concreto, el experto en la materia puede concebir fácilmente los depósitos y conductos correspondientes para el sistema de proceso 130.

5 Por lo tanto, cada uno de estos grupos de proceso 100a a 100d sencillos presenta una unidad de proceso 63a a 63d configurada como reactor de cerio con dos acumuladores de calor 61a a 61d y 62a a 62d que la incluyen. La disposición de conductos L está configurada de tal manera que cada uno de los grupos de proceso 100a a 100d puede ser
10 atravesado en ambas direcciones por un fluido transportador de calor, de modo que en el interior de cada uno de los grupos de proceso 100a a 100d tiene lugar un intercambio de calor cíclico con en el que se forma una Onda W oscilante de un lado a otro, como se describió anteriormente con referencia a los diagramas 70 a 74 y 85 a 87 (es decir, de forma simétrica o asimétrica) de las figuras 4 y 5. En el grupo de proceso 100a se forma la onda W_a, en el grupo de proceso 100b la onda W_b etcétera.

15 Ahora, preferentemente, las ondas W_a a W_d están desfasadas entre sí; véase a este respecto la descripción siguiente.

El lado caliente de los grupos de proceso 100a a 100d sencillos está delimitado por la línea discontinua 140 (véase a este respecto también la figura 6), fuera del conducto 140 se encuentra el lado frío de los grupos de proceso 100a a 100d con la segunda sección II de la disposición de conductos. L. Dentro de la línea discontinua 140 se encuentra el
20 lado caliente con la primera sección I de la disposición de conductos L (véase a este respecto también la descripción relativa a las figuras 1 a 7).

En el presente caso, los lados fríos de los acumuladores de calor 61a a 62d están conectados a través de dos conductos 141,142 paralelos, de modo que para cada dirección de flujo está disponible un conducto 141 o 142 propio.
25 En consecuencia, en cada conducto 141,142, también está prevista una bomba 143,144 propia, siendo sus direcciones de flujo opuestas. Los conductos 141, 142 también conectan los lados fríos de los acumuladores de calor 61a a 62d entre sí, es decir, entre grupos, para realizar la conexión en paralelo.

Los intercambiadores de calor 145,146 forman una unidad de enfriamiento para el medio transportador de calor (véase a este respecto la descripción relativa a la figura 5).
30

La conmutación de la disposición de conductos L para el flujo cíclico desfasado a través de los grupos de proceso 100a a 100d en direcciones alternas se realiza a través de las válvulas 150a a 150d, 151a a 151d, 152a a 152d y 153a a 153d. Se han omitido las válvulas de retención para aliviar la carga en las figuras 8a a 8c; el experto en la materia
35 puede preverlas fácilmente tomando como modelo las figuras 7a a 7d.

Resulta que varios grupos de proceso 100a a 100d sencillos, formados respectivamente por una unidad de proceso 63a a 63d y dos acumuladores de calor 61a a 61d y 63a a 63d que los encierran entre sí, están conectados en paralelo mediante la disposición de conductos L, presentando los acumuladores de calor 61a a 61d y 63a a 63d un lado frío y
40 un lado caliente durante el funcionamiento, estando conectados los lados calientes de los acumuladores de calor de cada grupo 100a a 100d a la unidad de proceso 63a a 63d correspondiente por la disposición de conductos L y estando conectados los lados fríos entre sí entre grupos.

En la figura 8a está representada otra fuente de energía externa 111, que está conectada a los acumuladores de calor 61a a 61d y 62a a 62d a través de los conductos 133a a 133d y 134a a 134d de una sección V de la disposición de conductos L. De este modo, a través de la sección V, el fluido transportador de calor, cargado con calor procedente de la fuente de energía 111, puede llevarse a cada uno de los acumuladores de calor 61a a 62d. Con este calor, por ejemplo, en cada unidad de proceso 63a a 63d en su intervalo de tiempo t_R a t_O, su temperatura de funcionamiento se
50 lleva de T_R a T_O (véase a este respecto la descripción de la figura 2).

los conductos 133a a 134d se abren o se cierran a través de válvulas 131a a 131d y 132a a 132d, de modo que se controla el suministro de calor al respectivo acumulador de calor 61a a 62d. Los conductos 133a a 134d son alimentados preferentemente por los conductos 141,142, de modo que los conductos 133a a 134d están incluidas en el circuito del fluido transportador de calor.
55

Un control omitido para mayor claridad en la figura, que está conectado operativamente a las válvulas 131a a 132d y a las válvulas 150a a 150d, 151a a 151d, 152a a 152d y 153a a 153d, controla estas válvulas, entre otras cosas, como se menciona en la siguiente descripción relativa a las figuras 8b y 8c.

60 La figura 8b muestra el estado de funcionamiento del sistema de proceso 130 cuando las unidades de proceso 63a a 63d de los grupos de proceso 100a a 100d son atravesadas por un fluido transportador de calor, concretamente desde los acumuladores de calor 61a a 61d hacia los acumuladores de calor 62a a 62d (en el plano del dibujo, de arriba a abajo). La bomba 143 está activa, las válvulas 150a a 150d y 151a a 151d están abiertas por el control, de modo que los conductos representados en negrita (pero no los que están representados de forma normal) de la sección II de la disposición de conductos L transportan fluido transportador de calor. Las ondas w_a a W_d discurren por tanto desde los
65 acumuladores de calor 61a a 61d hacia las unidades de proceso 63a a 63d, entran en ellas o, en caso del

funcionamiento simétrico, vuelven a salir de ellas entrando en los acumuladores de calor 62a a 62d.

Cabe señalar aquí que los pares de válvulas 150a, 151a y 150b, 151b hasta el par 150d, 151d deben conmutarse individualmente para hacer posible el funcionamiento desfasado.

5 Por ejemplo, el par de válvulas 150a, 151a se es el primero en encenderse y apagarse y el par 150d, 151d el último, de modo que las ondas correspondientes W_a a W_d pasan a través de sus reactores de cerio (63a a 63d) de manera desfasada.

10 El control abre entonces en el periodo de tiempo t_R a t_O de cada unidad de proceso (o en la forma de realización mostrada: de cada reactor de cerio) 63a a 63d las válvulas 131a a 131d asignadas, de modo que en la entrada de las unidades de proceso 63a a 63d la temperatura del fluido transportador de calor entrante aumenta de T_R a T_O , mientras la respectiva onda W_a a W_d entre con el flanco ascendente en la unidad de proceso 63a a 63d. Véase con respecto a este suministro de calor la figura 2 y la descripción al respecto.

15 La apertura de las válvulas 131a a 131d se produce evidentemente también con un desfase, correspondiente al desfase de las ondas W_a a W_d .

20 La figura 8c muestra el estado de funcionamiento del sistema de proceso 130 cuando las unidades de proceso 63a a 63d de los grupos de proceso 100a a 100d son atravesadas por un fluido transportador de calor, concretamente desde los acumuladores de calor 62a a 62d hacia los acumuladores de calor 61a a 61d (en el plano del dibujo, de abajo a arriba). Ahora la bomba 144 está activa, las válvulas 153a a 153d y 152a a 152d están abiertas, de modo que los conductos representados en negrita (pero no los que están representados de forma normal) de la sección II de la disposición de conductos L transportan fluido transportador de calor. Las ondas W_a a W_d se dirigen por tanto hacia los acumuladores de calor 61a a 61d o entran en ellos.

25 Cabe señalar aquí que los pares de válvulas 153a, 152a o 153b, 152b hasta el par 153d, 152d deben conmutarse individualmente para hacer posible el funcionamiento desfasado. Por ejemplo, el par de válvulas 153a, 152a se es el primero en encenderse y apagarse y el par 153d, 152d el último, de manera que las ondas correspondientes W_a a W_d pasan a través de sus reactores de cerio (63a a 63d) de manera desfasada.

30 El control abre entonces en el periodo de tiempo t_R a t_O de cada unidad de proceso (o en la forma de realización mostrada: de cada reactor de cerio) 63a a 63d las válvulas 132a a 132d asignadas, de modo que en la entrada de las unidades de proceso 63a a 63d la temperatura del fluido transportador de calor entrante aumenta de T_R a T_O , mientras la respectiva onda W_a a W_d entre con el flanco ascendente en la unidad de proceso 63a a 63d. Véase con respecto a este suministro de calor la figura 2 y la descripción al respecto.

35 La apertura de las válvulas 132a a 132d se produce también con un desfase, correspondiente al desfase de las ondas W_a a W_d .

40 Un período para una onda oscilante de un lado a otro W_a a W_d de acuerdo con la disposición de la figura 4, dura dos veces el tiempo $t_{medio} = t_{UE} - t_U$, véase a este respecto la figura 2. Para la frecuencia f de la onda oscilante de lado a otro W_a a W_d resulta que $f = 1/2 t_H$. Si todos los grupos de proceso 100a a 100d se hacen funcionar a la misma frecuencia f (lo que no es obligatorio), el experto en la materia puede prever $1/8 \times 2 t_H$ para el tiempo en el que una válvula 133a a 134d está abierta, en cuyo caso se produce entonces un flujo constante de fluido transportador de calor desde la otra fuente de energía 111 a los acumuladores de calor 61a a 62d. Esto elimina la necesidad de un tercer acumulador de calor 110, como es el caso en la disposición de acuerdo con la figura 6.

45 Si por una conmutación diferente de las válvulas 133a a 134d resulta un flujo no constante, se puede elegir un tercer acumulador de calor más pequeño, lo que sigue siendo ventajoso en comparación con la disposición de la figura 6 en términos de costes de construcción y de mantenimiento. En otras palabras, la conexión en paralelo de varios grupos de proceso es sinérgica, lo que también se puede lograr con más o menos de los cuatro grupos de proceso 100a a 100d mostrados en las figuras 8a a 8c. En el caso concreto, el experto en la materia puede concebir el sistema de proceso de manera correspondiente.

50 En resumen, en el caso de varios grupos de proceso conectados en paralelo, preferentemente se proporciona un control para hacer que en cada grupo, una onda de temperatura W pase de un lado a otro cíclicamente por la unidad de proceso, estando realizado el control para hacer pasar de un lado a otro las ondas de temperatura de los grupos con la misma frecuencia, pero con un desfase una respecto a otra, preferentemente con sustancialmente el mismo desfase.

55 A este respecto, cabe señalar además que el experto puede elegir la concepción en el caso concreto de tal manera que algunas de las ondas W_a a W_d ya retrocedan, mientras otras olas W_a a W_d todavía avancen, por lo que, como ya se ha mencionado, la misma frecuencia de las ondas W es favorable, pero no obligatoria.

60 Resumiendo, resulta que por una disposición de conductos (L) se conmutan grupos de proceso, que presentan

respectivamente una unidad de proceso dispuesta entre dos acumuladores de calor asignados, siendo conectados los grupos de proceso a su vez en paralelo entre sí por la disposición de conductos (L), presentando los acumuladores de calor en cada grupo de proceso una estratificación de temperatura ondulada que forma una onda W que se desplaza a través de su grupo de proceso de acuerdo con una dirección de flujo del medio transportador de calor, siendo sincronizado además un cambio de la dirección de flujo para cada uno de los grupos de proceso conectados en paralelo, de tal manera que las ondas W de los grupos de proceso pasan continuamente oscilando de un lado a otro a través de la unidad de proceso del grupo.

Preferentemente, este procedimiento está configurado para el calentamiento y enfriamiento cíclico de varias unidades de proceso que pueden hacerse funcionar entre una temperatura superior (TO) y una temperatura inferior (TU), calentándose y enfriándose al menos dos unidades de proceso de manera desfasada, siendo calentadas las unidades de proceso desde un acumulador de calor asignado a ellas respectivamente, emitiendo a un acumulador de calor asignado a ellas el calor emitido durante el enfriamiento. Más preferentemente, durante ello, las al menos dos unidades de proceso se calientan y se vuelven a enfriar con la misma frecuencia. En particular, el cambio de fase puede configurarse de tal manera que el calor procedente de una fuente de calor adicional pueda ser extraído en intervalos sustancialmente regulares e introducirse en el ciclo de calentamiento y enfriamiento de la pluralidad de unidades de proceso.

La figura 9 muestra un grupo de proceso 160 combinado de acuerdo con la presente invención. Se pueden ver una primera 161 y una segunda unidad de proceso 162, ambas configuradas aquí como reactores de cerio (aunque también pueden estar previstas unidades de proceso de realizados de manera diferente). También se ven un acumulador de calor delantero 163, un acumulador de calor central 164 y un acumulador de calor trasero 165, que están configurados como acumuladores de calor estratificados, de modo que en ellos se puede generar una distribución de temperatura que forma una onda de temperatura W_k , véase a este respecto la descripción relativa a las figuras 3 a 5. A través de conexiones de conductos 166a, 166b de una disposición de conductos L para fluido transportador de calor, este puede fluir longitudinalmente a través de la disposición de acumuladores de calor 162 a 165 y unidades de proceso 161, 162 conectados en serie de forma alternada (que forman el grupo de proceso combinado), pudiendo ser conmutada por un control, omitido para mayor claridad en la figura, la disposición de conductos L de tal manera que el fluido fluya por el grupo de proceso combinado 160 de una manera cíclicamente alterna desde la conexión de conducto 166a a la conexión de conducto 166b (hacia la derecha en la figura) y desde la conexión de conducto 166b hasta la conexión de conducto 166a (hacia la izquierda en la figura).

Resulta que en la forma de realización de acuerdo con la invención los acumuladores de calor para la absorción y la emisión de calor están configurados como acumuladores de calor estratificados bajo un curso de temperatura ondulado. Además, resulta que en el grupo de proceso de acuerdo con la invención están previstas al menos dos unidades de proceso y al menos tres acumuladores de calor, que están conectados en serie de forma alternada a través de la disposición de conductos (L), de modo que dos unidades de proceso encierran un acumulador de calor entre sí, como es el caso aquí para las unidades de proceso 161, 162 que incluyen el acumulador de calor 164. Además, en la forma de realización mostrada en la figura, las unidades de proceso conectadas en serie con acumuladores de calor están situadas respectivamente entre dos acumuladores de calor, de manera que en ambos extremos de la unidad de proceso combinada hay un acumulador de calor respectivamente.

El diagrama 170 muestra la distribución de temperatura en el grupo de proceso combinado 160 después de un proceso de inicio con la ayuda de la curva de distribución de temperatura 171 en el momento t_0 . La onda W_k se extiende desde la entrada del primer acumulador de calor 163 hasta la mitad del tercer acumulador de calor 165 y se compone de un flanco ascendente 171a en el acumulador de calor 163, un flanco descendente superior 171c en el acumulador de calor 164 y un flanco descendente inferior 171e en el acumulador de calor 165, donde finaliza a mitad de la longitud del mismo a temperatura ambiente T_{UG} . Durante el proceso de inicio, la onda W_k que recorre el grupo de proceso 160 de izquierda a derecha y va formando durante ello ha calentado ambos reactores 161, 162, el primer reactor 161 a T_0 , el segundo reactor 162 a T_u . De nuevo, la temperatura de la onda W_k desciende a lo largo de la longitud de los reactores o unidades de proceso 161, 162, en el reactor 161 donde se encuentra la cresta de la onda, desde la temperatura de flanco T_{FO} a T_0 , y en el reactor 162 desde la temperatura de flanco T_{FU} a T_u , véanse las áreas 171b y 171d de descenso plano de la onda W_k .

Mediante el proceso de inicio puede generarse fácilmente una temperatura de la onda de $T_{FO} > T_0$; sin embargo, durante el funcionamiento del grupo de proceso combinado, para temperaturas $> T_R$ se requiere el suministro de calor externo, de forma análoga al caso de los grupos de proceso sencillos de acuerdo con las figuras 1 a 8d, en particular las figuras 8b y 8c; véase a este respecto también la descripción relativa al diagrama 173 que figura más abajo.

Por lo tanto, la onda W_k se encuentra después del proceso de inicio en el momento t_f en su posición final izquierda. Después, el control conmuta la disposición de conductos L de tal manera que el fluido transportador de calor fluya hacia la derecha a través del grupo de proceso combinado 160 de acuerdo con la flecha que se muestra en el diagrama 170, de modo que la onda W_k se mueva hacia la derecha.

El diagrama 173 muestra la distribución de temperatura en el grupo de proceso combinado 160 con la ayuda de la curva de distribución de temperatura 174 en el momento t_r , es decir, tan pronto como la onda W_k está en su posición

final derecha debido al flujo hacia la derecha del fluido transportador de calor. El flanco ascendente ha pasado por la mitad del reactor 161 y, de esta manera, lo ha enfriado de T_o en T_{KE} (véase la figura 2). La mitad inferior 174a del flanco ascendente todavía se encuentra en el acumulador de calor 163, y la mitad superior 174c del flanco ascendente ya se encuentra en el acumulador de calor 164, mientras que las mitades de los flancos están separadas por un área 174b, ya que el flanco ascendente enfriador ha absorbido calor del reactor 161 durante el paso por el mismo. El reactor 161 por lo tanto ha sido enfriado por la onda W_k , el calor correspondiente se encuentra en el flanco 174c.

Al mismo tiempo, el flanco descendente 174e de la onda W_k ha pasado a través del segundo reactor 162 al tercer acumulador de calor 165, de modo que la cresta de onda se encuentra ahora en el segundo reactor 162 y lo ha calentado, a causa de la temperatura de flanco superior T_{FO} , a su temperatura superior T_o .

Ahora, como ya se mencionó de acuerdo con la figura 2, resulta que la temperatura de flanco superior T_{FO} del flanco 174c sin suministro de calor externo estaría a la temperatura de recuperación T_R que está por debajo de la temperatura superior de reactor T_o y, por tanto, por debajo de la temperatura de flanco superior T_{FO} que es necesaria para generar T_o en el reactor. Por consiguiente, preferentemente también en el grupo de proceso combinado 160 mostrado, se suministra calor desde una fuente externa 111, pudiendo tener lugar dicho suministro de calor en el acumulador de calor 164 o en el segundo reactor 162. El experto en la materia puede concebir fácilmente este suministro de calor en el caso concreto con la ayuda de la presente descripción, de modo que en el presente caso, una quinta sección V correspondiente de la disposición de conductos L solo se indica por la conexión de conducto 175 al acumulador de calor. 164.

Cabe señalar que este suministro de calor desde una fuente de calor externa 111 puede realizarse básicamente también directamente a una de las unidades de proceso o a uno o varios acumuladores de calor; esto es aplicable a todas las formas de realización de acuerdo con la invención.

De ello resulta que está previsto un conducto de alimentación para un medio transportador de calor, que desemboca en uno o varios de los acumuladores de calor y/o de las unidades de proceso, que a su vez está conectado a una fuente de calor adicional que proporciona preferentemente calor con una temperatura de T_o o superior.

Una vez que la ola W_k en el momento t_r ha alcanzado su posición final derecha, el control conmuta la disposición de conductos L de modo que la onda W_k se mueve nuevamente hacia la izquierda (pudiendo estar previsto también un corto intervalo de tiempo de permanencia de la onda W_k en su posición final derecha).

El diagrama 176 muestra la distribución de temperatura en el grupo de proceso combinado 160 con la ayuda de la curva de distribución de temperatura 177 en el momento t_r , en el que la onda se encuentra en su posición final izquierda durante el funcionamiento normal. La parte superior 177a del flanco ascendente ha calentado el primer reactor 161 durante su paso el mismo, y la parte superior 177 c del flanco descendente ha enfriado el segundo reactor 162 durante su paso por el mismo, de modo que, sin suministro de energía externa desde la fuente de calor 111, la cresta de onda tendría la temperatura de recuperación T_R . Sin embargo, en el diagrama 176, el pico de la onda tiene la temperatura T_{FO} que es mayor que la temperatura superior T_o , habiendo sido suministrado el calor necesario para ello desde la fuente de calor 111 a través de la conexión de conducto 175.

Una vez que la onda ha alcanzado su posición final izquierda, tiene lugar un ciclo que consiste en una migración hacia la derecha (enfriamiento del primer reactor 161 y calentamiento del segundo reactor 162) y una migración hacia la izquierda (calentamiento del primer reactor 161 y enfriamiento del segundo reactor 162). Este ciclo se repite mientras los reactores 161, 162 estén en funcionamiento.

Resumiendo, resulta que la disposición de conductos (L) tiene un primer estado de conmutación en el que el medio transportador de calor fluye en una dirección a través del grupo de proceso combinado y un segundo estado de conmutación en el que el medio transportador de calor fluye en la dirección opuesta a través del grupo de proceso combinado, estando previsto un control para conmutar la disposición de conductos (L) durante el funcionamiento de forma cíclica de un lado a otro entre el primer y el segundo estado de conmutación. Preferentemente, el control está configurado además para hacer que durante el funcionamiento, en el grupo de proceso una onda de temperatura se mueva de un lado a otro cíclicamente a lo largo de toda su longitud.

Resumiendo, en el grupo de proceso combinado (así como en el grupo de proceso sencillo) resulta un procedimiento en el que para enfriar una unidad de proceso se descarga un acumulador de calor asignado a la misma, emitiendo así a la unidad de proceso calor en el rango de temperatura superior (TO), y por la descarga de este calor tiene hacia la temperatura inferior (TU), y en el que para calentar una unidad de proceso, un acumulador de calor asignado a ella libera calor en el rango de la temperatura inferior (TU), tendiendo este calor hacia la temperatura superior (TO) durante el calentamiento de la unidad de proceso.

Además, en el caso de un grupo de proceso combinado, el procedimiento se concibe preferentemente de tal manera que las unidades de proceso y los acumuladores de calor asociados se conectan en serie alternando mediante una disposición de conductos (L), haciéndose funcionar los acumuladores de calor con una estratificación de temperatura ondulada, que forma una onda W_k , que se mueve de acuerdo con una dirección de flujo del medio transportador de

calor a través de los acumuladores de calor y los grupos de proceso, siendo sincronizado además un cambio en la dirección de flujo a través de los acumuladores de calor y los grupos de proceso, de manera que la onda W_k oscila continuamente de un lado a otro a través de todas las unidades de proceso del grupo de proceso combinado.

- 5 El grupo de proceso combinado 160 tiene ventajas significativas frente a un grupo de proceso sencillo, ya que se requiere menos acumuladores de calor para la unidad de proceso y, por tanto, se simplifica en cuanto a la producción y el control de la disposición de conductos L, de modo que las unidades de proceso 161,162 pueden hacerse funcionar de manera más eficiente:

- 10 La longitud mínima total necesaria de los acumuladores de calor 163,164,165 utilizados en el grupo de proceso 160 corresponde a cinco cuartos de la longitud de la onda W_k , por unidad de proceso, es decir, cinco octavos de la longitud de la onda W_k . Cuando la onda se encuentra en la posición final izquierda, el acumulador de calor 163 debe recibir todo el flanco ascendente 171 a, véase el diagrama 170. Si la onda W_k se encuentra en la posición final derecha, el acumulador de calor 165 debe poder recibir el flanco descendente completo 174e, véase el diagrama 173, correspondiendo un flanco completo a la mitad de la longitud de la onda W_k corresponde. El acumulador de calor 164 debe poder recibir aproximadamente medio flanco, véanse los diagramas 170,173 y 176, lo que corresponde a un cuarto de la longitud de la onda W_k . Por tanto, resulta que, en un sistema de proceso con un grupo de proceso combinado, un acumulador de calor encerrado por las unidades de proceso tiene preferentemente una longitud en el rango de un cuarto de una onda de temperatura W y que, más preferentemente, los acumuladores de calor situados en los extremos de la unidad de proceso combinada tienen una longitud del orden de media onda de temperatura.

- 20 La longitud total mínima necesaria de los acumuladores de calor 61,62 utilizados en el grupo de proceso 63 en funcionamiento asimétrico corresponde a cinco cuartos de la longitud de la onda W_k , por unidad de proceso, es decir, cinco octavos de la longitud de la onda W_k . Cuando la onda W se encuentra en la posición final izquierda, el acumulador de calor 61 debe poder recibir tres cuartos de una onda, véase el diagrama 85. Cuando la onda W se encuentra en la posición derecha, el acumulador de calor 62 debe poder recibir un flanco completo, es decir la mitad de la onda W , un total de cinco cuartos para solo una unidad de proceso 63.

- 25 En otras palabras, resulta que por la disposición de acumuladores de calor y unidades de proceso en un grupo de proceso combinado 160, es decir, en una disposición con dos unidades de proceso, no hay ninguna necesidad adicional en cuanto a la longitud (y la capacidad) de los acumuladores de calor en comparación con una disposición con solo una unidad de proceso, pero la producción se duplica.

- 30 Esto reduce también la complejidad de la disposición de conductos L y, por tanto, también del control, ya que para dos unidades de proceso siguen existiendo solo dos lados fríos de acumuladores de calor, como ocurre en el caso de una unidad de proceso.

- 35 A este respecto, cabe señalar que las condiciones o ventajas descritas en relación con el grupo de proceso sencillo (figuras 1 a 7d) también pueden realizarse en el grupo de proceso combinado de acuerdo con las figuras 8 a 11. Esto incluye en particular, pero no exclusivamente, los lados fríos del acumulador de calor que delimitan el grupo de proceso combinado (y que se hacen funcionar a T_{ug} o superior), una zona caliente exenta de elementos de conmutación, un funcionamiento simétrico o asimétrico, una conexión en paralelo de varios grupos de proceso combinados para, por ejemplo, un suministro simplificado de calor externo adicional, una coordinación de la velocidad del flujo para una diferencia de temperatura predeterminada con respecto al reactor de cerio, etc., etc.

- 40 La figura 10 muestra esquemáticamente un grupo de proceso combinado 180 con tres unidades de proceso, concretamente una primera unidad de proceso 181, una segunda unidad de proceso 182 y una tercera unidad de proceso 183, que están conectadas en serie de alternándose con acumuladores de calor 181 a 183 asignados.

- 45 La distribución de temperatura en el grupo de proceso 180 después de un proceso inicial corresponde a la curva de distribución de temperatura 186 representada en el dibujo directamente en los acumuladores de calor 181 a 183 y las unidades de proceso 184 a 185 (estando representadas en líneas discontinuas las secciones que pasan por las unidades de proceso 184,185).

- 50 De nuevo hay dos conexiones de conducto 188,189 de una sección II de la disposición de conducto L, a través de las cuales durante el funcionamiento del grupo de proceso combinado 180 puede fluir un fluido transportador de calor a lo largo del grupo de proceso 180, y de nuevo, se ha omitido en la figura para mayor claridad un control para el grupo de proceso 180 y depósitos de gas para O_2 y H_2O (véase la figura 1). Además, la segunda sección II de la disposición de conductos L conecta los lados fríos del primer 181 y del tercer acumulador de calor 183.

- 55 La curva de distribución de temperatura 186 muestra un curso en forma de diente de sierra, a diferencia de la forma sustancialmente simétrica, por ejemplo sinusoidal, de las figuras anteriores, de modo que hay una onda W_s con varios picos de onda, de manera que durante un desplazamiento hacia la derecha de la onda W , las unidades de proceso 184,185 se calientan de forma sincrónica y se enfrían de forma sincrónica durante un desplazamiento hacia la izquierda.

- 60 A este respecto, cabe señalar que las curvas de distribución de temperatura también pueden ser separadas por

conductos, como ocurre, por ejemplo, en las unidades de proceso. Por lo tanto, es concebible separar dos partes del acumulador de calor funcional mediante una sección de conducto y separar así un flanco de temperatura. Este tipo de separaciones no se tienen en cuenta aquí cuando se analiza la forma de una onda W , W_a - W_d o W_k (simétrica, asimétrica, sinusoidal, diente de sierra, etc.), ya que las temperaturas deseadas en las unidades de proceso nada tienen que ver con el tipo y la disposición de las separaciones en sí.

Una sexta sección VI de la disposición de conductos L presenta preferentemente conductos ramificados 187, 188, que desembocan en los extremos en los acumuladores de calor 181 a 183 (en una forma de realización no representada, también desembocan en las unidades de proceso 184, 185). Esto permite generar para el proceso de inicio en cada uno de los acumuladores de calor la estratificación de temperatura deseada, lo que puede resultar especialmente ventajoso en el caso de una onda con flancos empinados (por ejemplo, el diente de sierra que se muestra aquí). A diferencia del funcionamiento normal de la unidad de proceso 180, en el que el desplazamiento de la onda es solo pequeño, en un proceso inicial a través de los conductos 188, 189 la primera sección de onda generada debe recorrer toda la disposición, lo que puede conducir a una aplanamiento indeseable de esta primera sección de onda generada. A través de la sexta sección VI de la disposición de conductos L durante el proceso de inicio, cada acumulador de calor 181 a 183 individual puede ser atravesado individualmente por un fluido transportador de calor, de modo que en cada acumulador de calor 181 a 183 se forme exactamente la distribución de calor o estratificación de temperatura deseadas. Además, a través de la sexta sección VI también se puede suministrar calor desde una fuente de calor externa adicional para alcanzar en las unidades de proceso 184, 185 temperaturas por encima de T_R (véase a este respecto la figura 2).

De ello resulta que la disposición de conductos L presenta una sexta sección VI, cuyos conductos están conectados operativamente a cada uno de los acumuladores de calor y/o a cada una de las unidades de proceso, estando configurado un control de tal manera que en un tercer estado de conmutación de la disposición de conductos L, a través de la sexta sección VI someta a calor de una manera predeterminada a los acumuladores de calor y/o las unidades de proceso conectados, de modo que en cada uno de los grupos de proceso resulte una distribución de temperatura predeterminada en forma de una onda W , W_a - W_d o W_k .

La figura 11 muestra una unidad de proceso 190 con más de dos unidades de proceso 191 a 193 y más de tres acumuladores de calor 194 a 198. La diferencia con la disposición de la figura 10 consiste en el número de unidades de proceso; la figura muestra que en la forma de realización representada con la configuración en forma de diente de sierra de la onda W_s , el número de acumuladores de calor previstos en un grupo de proceso combinado básicamente no está limitado. Correspondientemente, la curva de distribución de temperatura 199 presenta tres crestas de onda en lugar de las dos mostradas en la figura 10.

Resumiendo, la figura 11 muestra un sistema de proceso en el que a través de la disposición de conductos (L) están conectadas en serie alternándose tres unidades de proceso con cinco acumuladores de calor, de manera que respectivamente dos unidades de proceso encierran entre sí un acumulador de calor.

De las formas de realización presentadas anteriormente resulta que, de acuerdo con la invención, está previsto un sistema de proceso con acumuladores de calor que están configurados para almacenar y volver a emitir calor entre una temperatura superior (TO) y una temperatura inferior (TU) y con una disposición de conductos (L) para el transporte de un medio transportador de calor hacia los acumuladores de calor y alejándose de los mismos, estando previstas varias unidades de proceso operables entre la temperatura superior (TO) y la temperatura inferior (TU), que están dispuestas respectivamente de forma operativa entre dos acumuladores de calor a través de la disposición de conductos (L).

Al mismo tiempo, resulta un procedimiento para el calentamiento y enfriamiento cíclico de varias unidades de proceso que pueden hacerse funcionar entre una temperatura superior (TO) y una temperatura inferior (TU), calentándose y enfriándose al menos dos unidades de proceso de manera desfasada, siendo calentadas las unidades de proceso desde un acumulador de calor asignado a ellas respectivamente, emitiendo a un acumulador de calor asignado a ellas el calor emitido durante el enfriamiento.

REIVINDICACIONES

1. Grupo de proceso con una primera (161) y una segunda unidad de proceso (162) que están configuradas como reactores, en el que están previstos un acumulador de calor delantero (163), un acumulador de calor central (164) y un acumulador de calor trasero (165) que están conectados en serie y que están configurados como acumuladores de calor estratificados, de manera que en ellos se puede generar una distribución de temperatura que forma una onda de temperatura, y en el que, a través de conexiones de conducto (166a), (166b) de una disposición de conductos (L) para un fluido transportador de calor, este puede fluir longitudinalmente a lo largo de la disposición alternada de los acumuladores de calor (163 a 165) y las unidades de proceso (161), (162), y en el que la disposición de conductos (L) puede ser conmutada de tal manera que el fluido fluya a través del grupo de proceso combinado (160) cambiando cíclicamente de la conexión de conducto (166a) a la conexión de conducto (166b) y de la conexión de conducto (166b) a la conexión de conducto (166a).
2. Grupo de proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, a través de la disposición de conductos (L) están conectadas en serie de forma alternada tres unidades de proceso (191-193) con cuatro acumuladores de calor (195-198), de manera que respectivamente dos unidades de proceso (191,192 y 192,193) encierran entre sí un acumulador de calor (196,197).
3. Grupo de proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un acumulador de calor (164,182,196,197) encerrado entre unidades de proceso (161,162,184,185,191 a 193) tiene una longitud del orden de un cuarto de una onda de temperatura W_k .
4. Grupo de proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los acumuladores de calor (163,165,181,183,195,198) situados en sus extremos tienen una longitud del orden de media onda de temperatura W_k .
5. Grupo de proceso (160,180,190) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que durante el funcionamiento, los acumuladores de calor (163-165,181-183,195-198) presentan una distribución de temperatura que corresponde a una onda de temperatura (W, W_a-W_d, W_k) sustancialmente simétrica.
6. Grupo de proceso (160,180,190) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, durante el funcionamiento, los acumuladores de calor (163-165,181-183,195-198) presentan una distribución de temperatura que corresponde a una onda de temperatura (W, W_a-W_d, W_k) sustancialmente asimétrica, preferentemente en forma de diente de sierra.
7. Procedimiento para calentar y enfriar cíclicamente un grupo de proceso de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el grupo de proceso presenta varias unidades de proceso (161, 162, 184, 185, 191 - 193) configuradas como un reactor, en el que el reactor se hace funcionar para un paso de proceso a una temperatura superior (T_o) y para un paso de proceso a una temperatura inferior (T_u), y en el que al menos dos unidades de proceso (161,162,184,185) se calientan y se vuelven a enfriar, y en el que cada unidad de proceso (161,162,184,185) se calienta desde un acumulador de calor (163 a 165, 181 a 183, 195 a 199) asignado a ella respectivamente y emite el calor, emitido durante el enfriamiento, a un acumulador de calor (163 a 165, 181 a 183, 195 a 199) asignado a ella, y en el que, a través de una disposición de conductos (L), las unidades de proceso (161-162, 184-185, 191-193) y los acumuladores de calor (163-165, 181-183,195-198) asignados a ellas se conectan en serie alternándose, haciéndose funcionar los acumuladores de calor (163-165,181-183,195-198) con una estratificación de temperatura ondulada que forma una onda W_k que se mueve de acuerdo con una dirección de flujo del medio transportador de calor a través del acumulador de calor (163-165,181-183,195-198) y las unidades de proceso (161-162,184-185,191-193), sincronizándose además un cambio de la dirección de flujo a través del acumulador de calor (163-165,181- 183,195-198) y las unidades de proceso (161-162,184-185,191-193) de tal manera que la onda W_k pasa al menos parcialmente a través de todas las unidades de proceso (161-162,184-185,191-193) oscilando continuamente de un lado a otro.

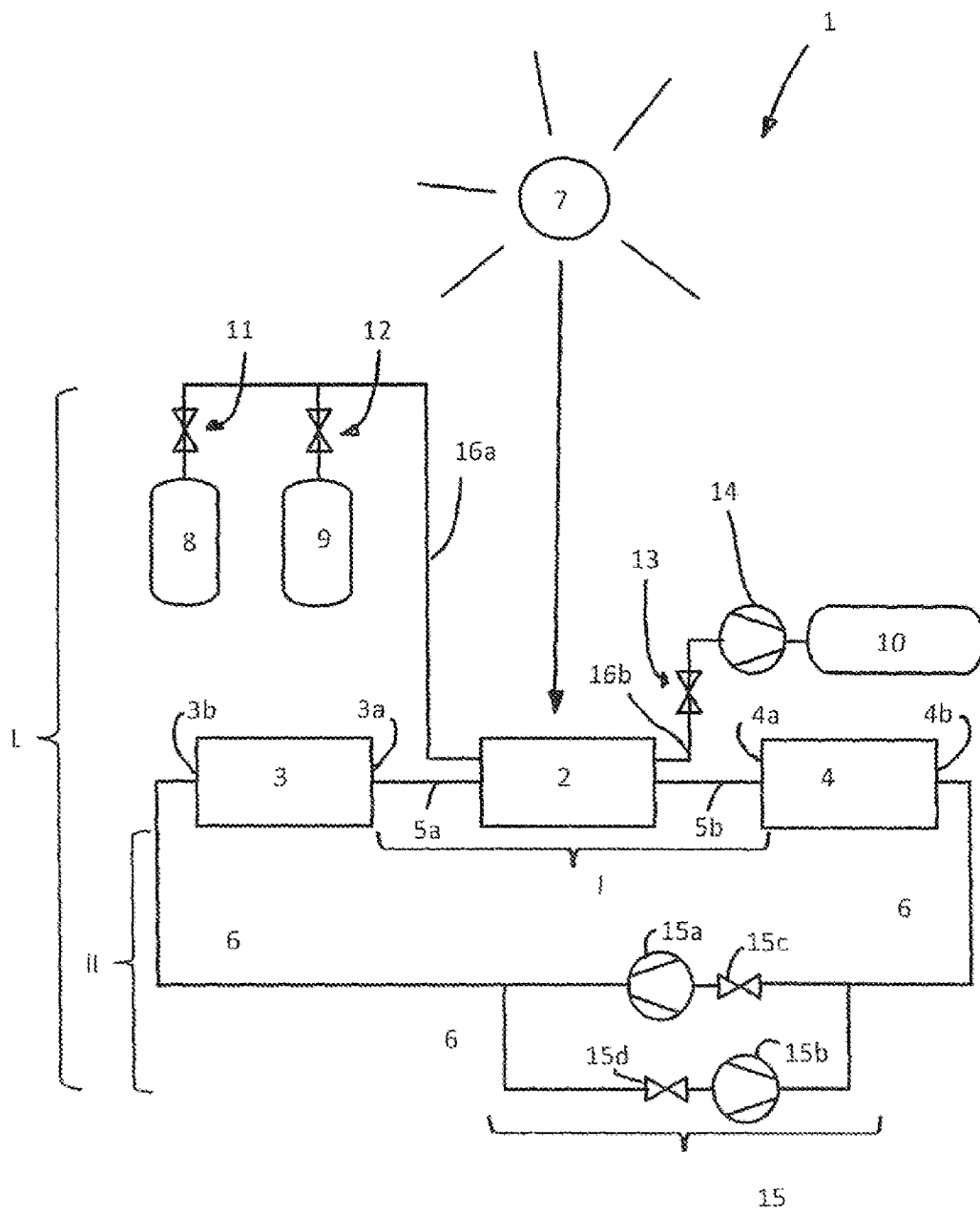


Fig. 1

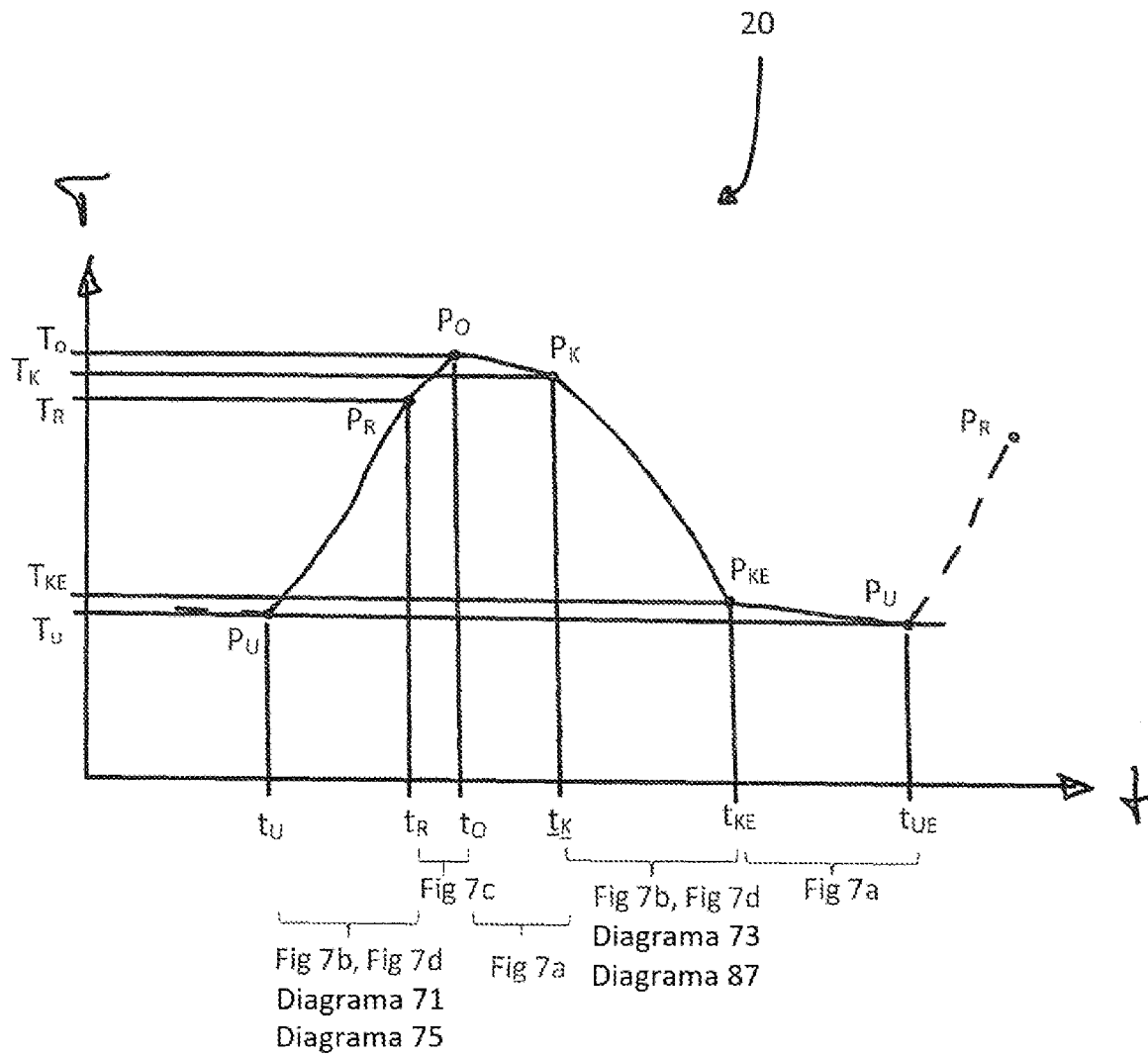


Fig. 2

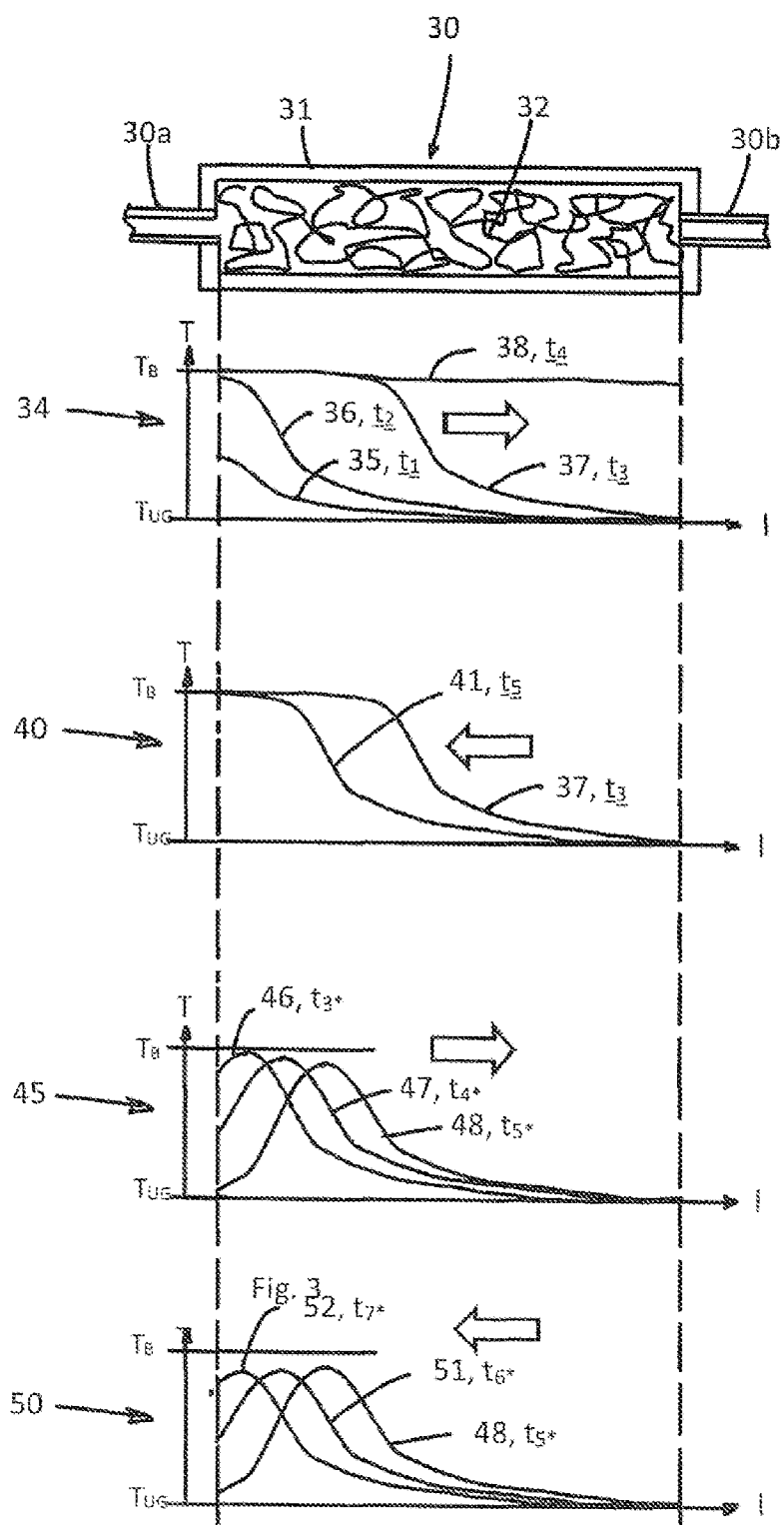


Fig. 3

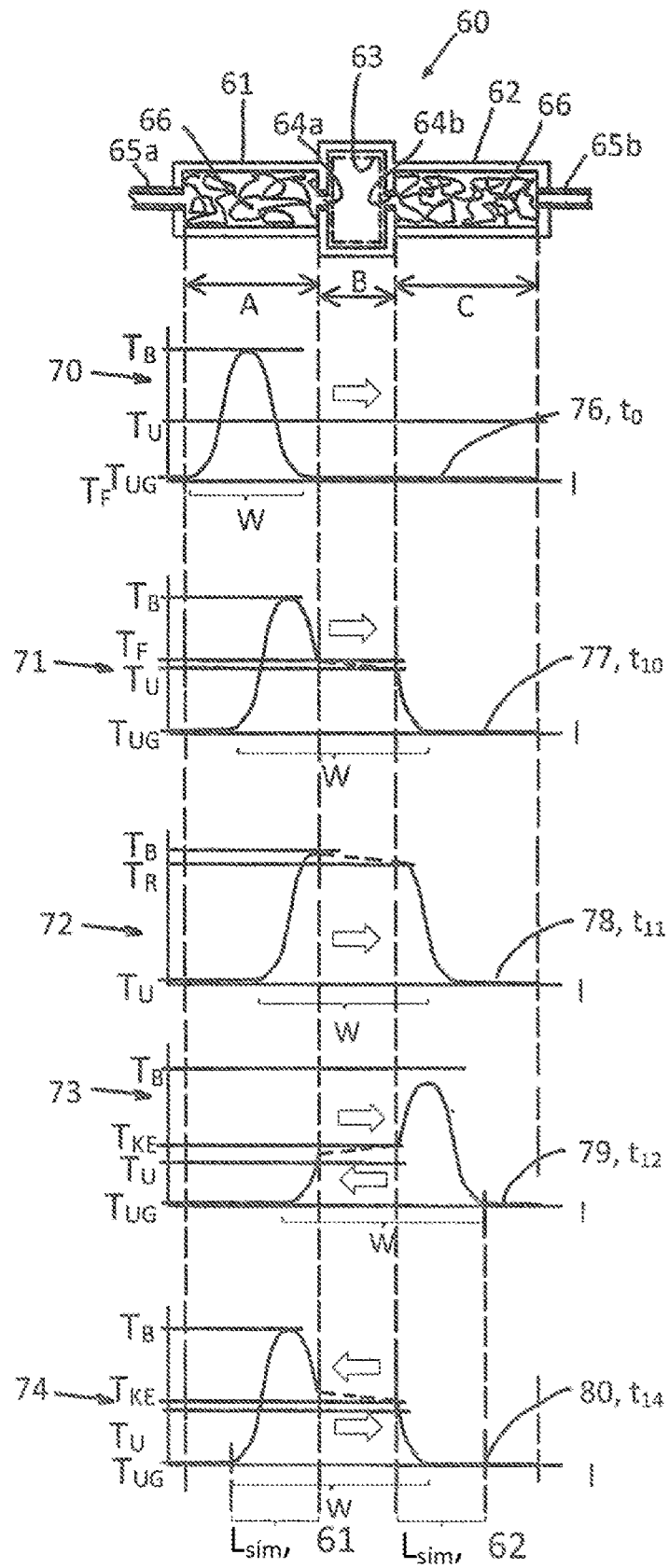


Fig. 4

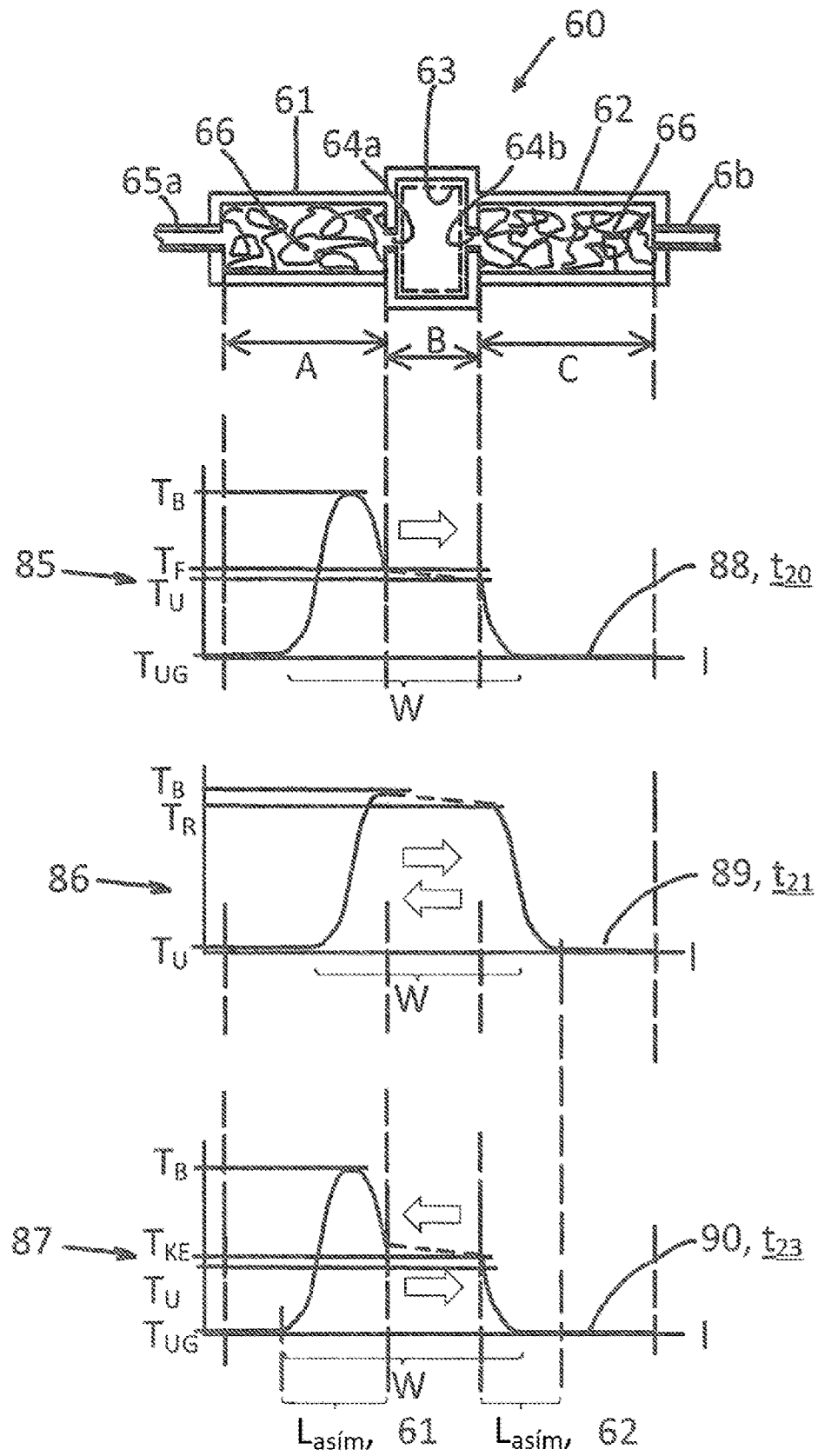


Fig. 5

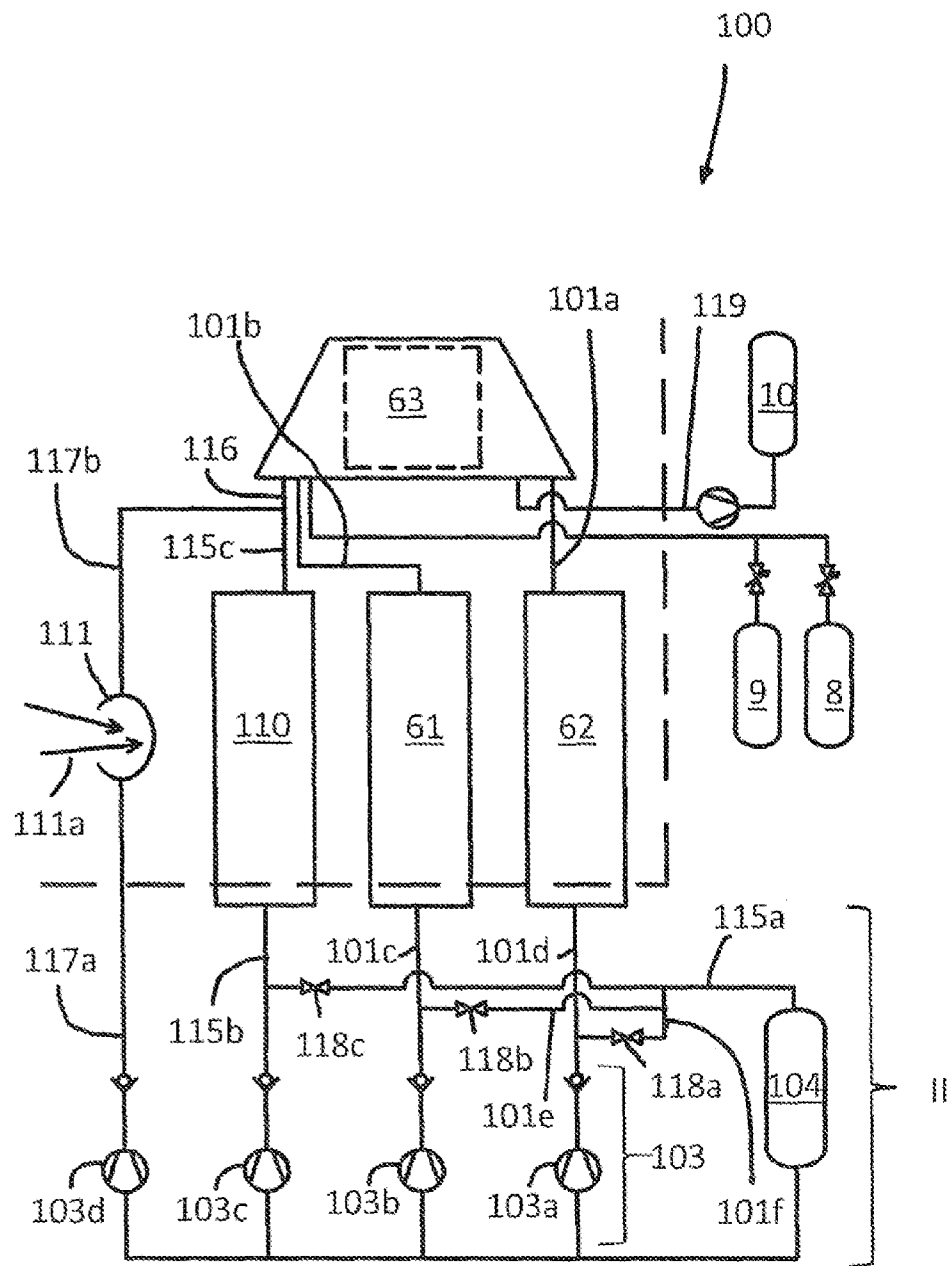


Fig. 6

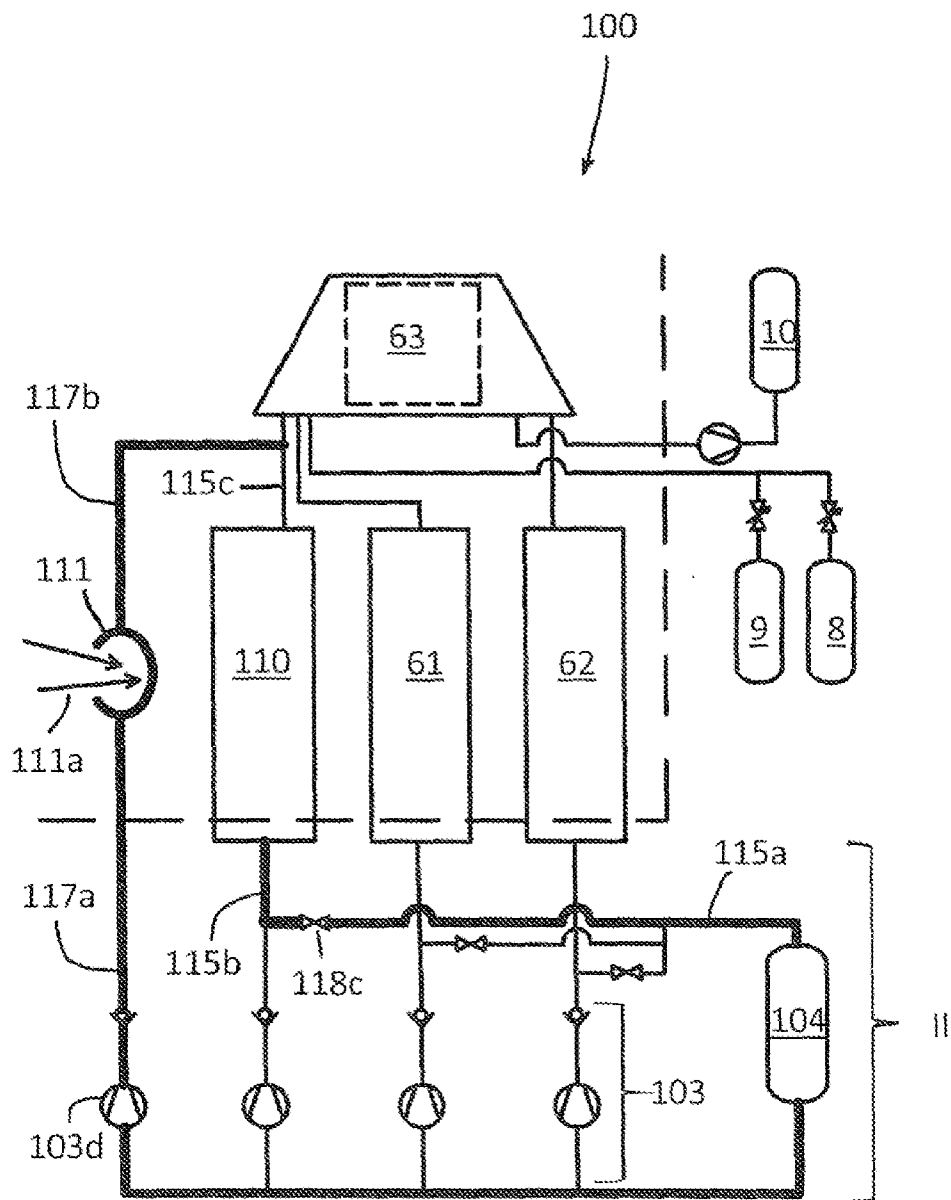


Fig. 7a

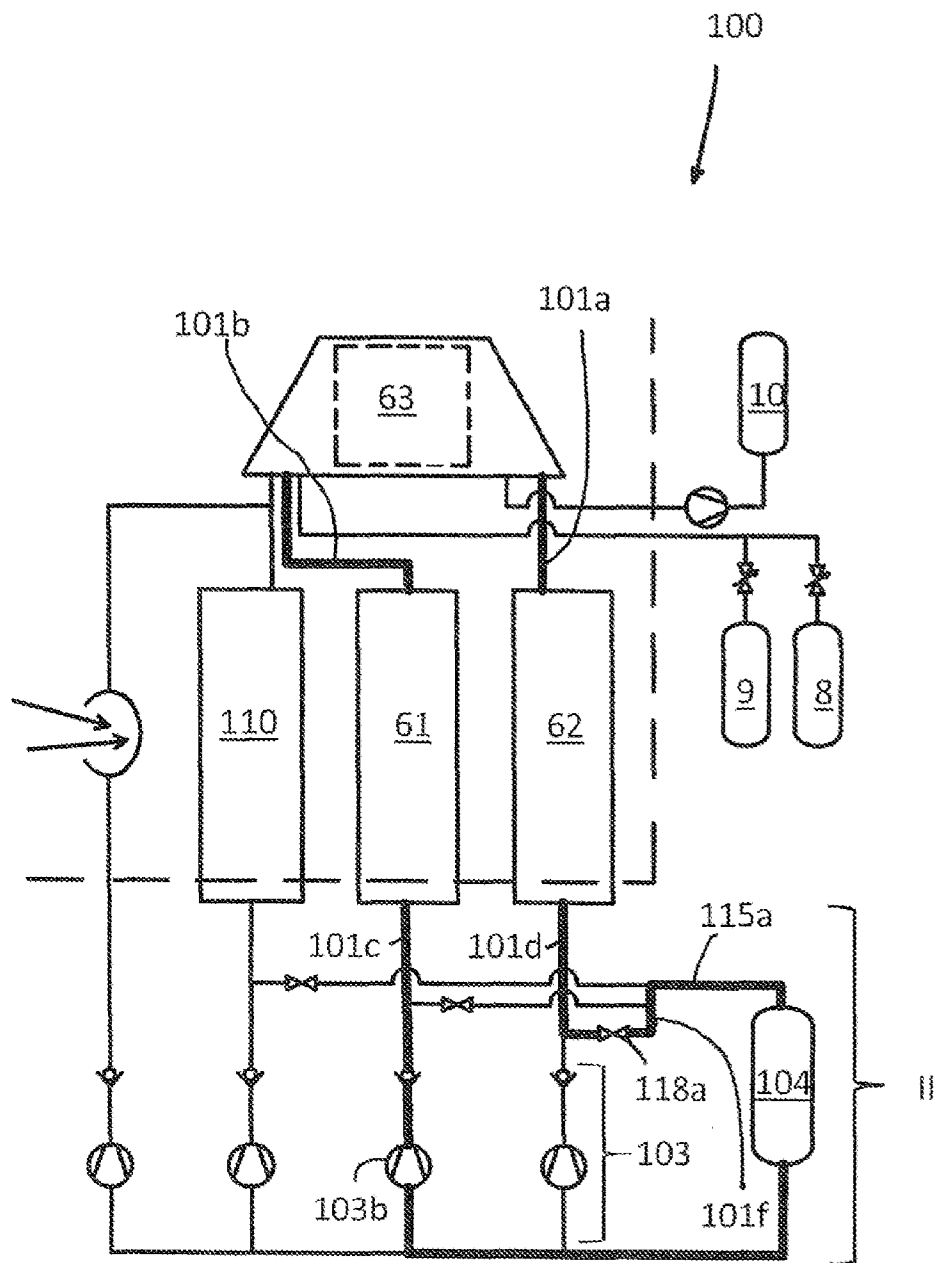


Fig. 7b

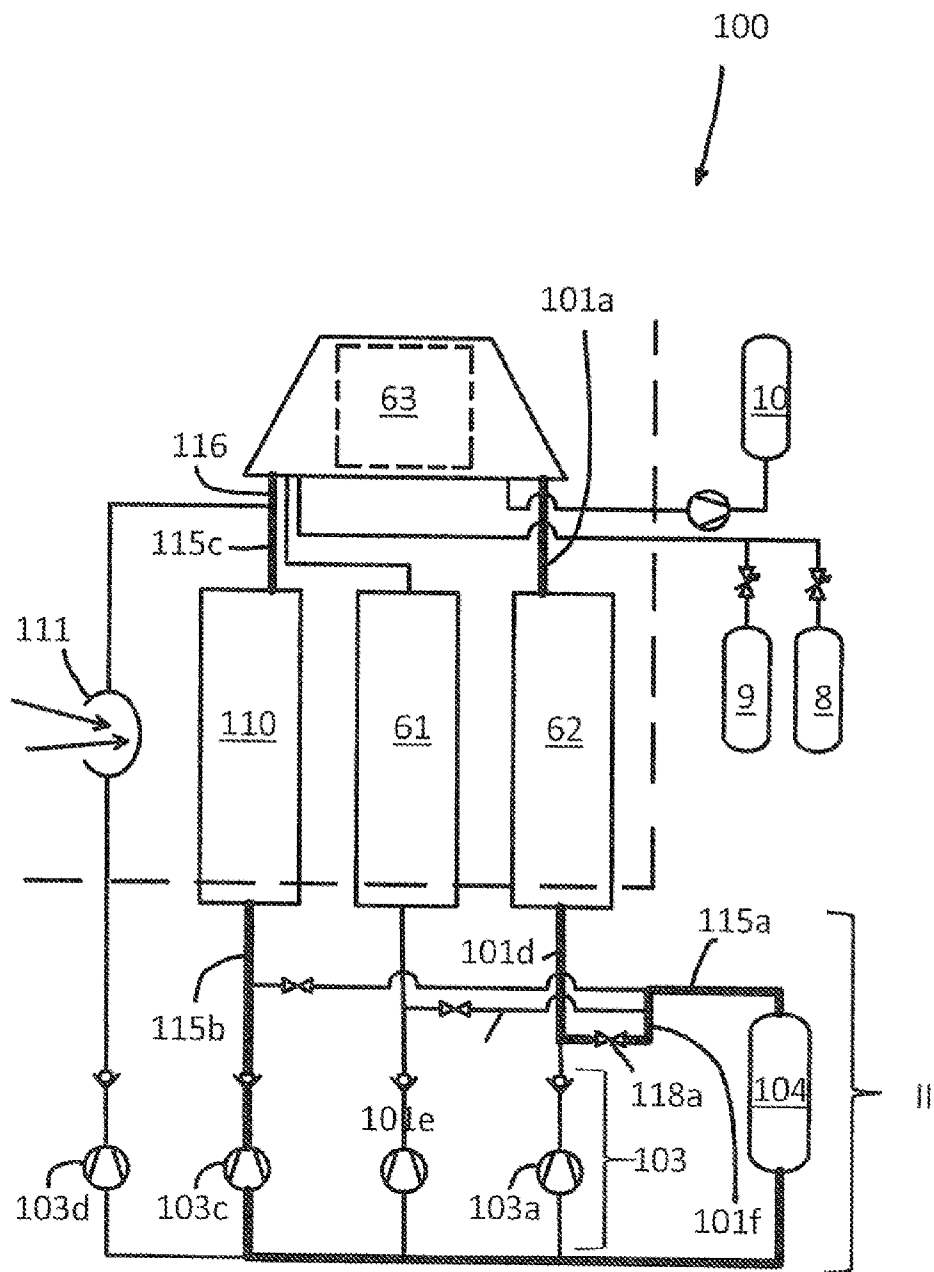


Fig. 7c

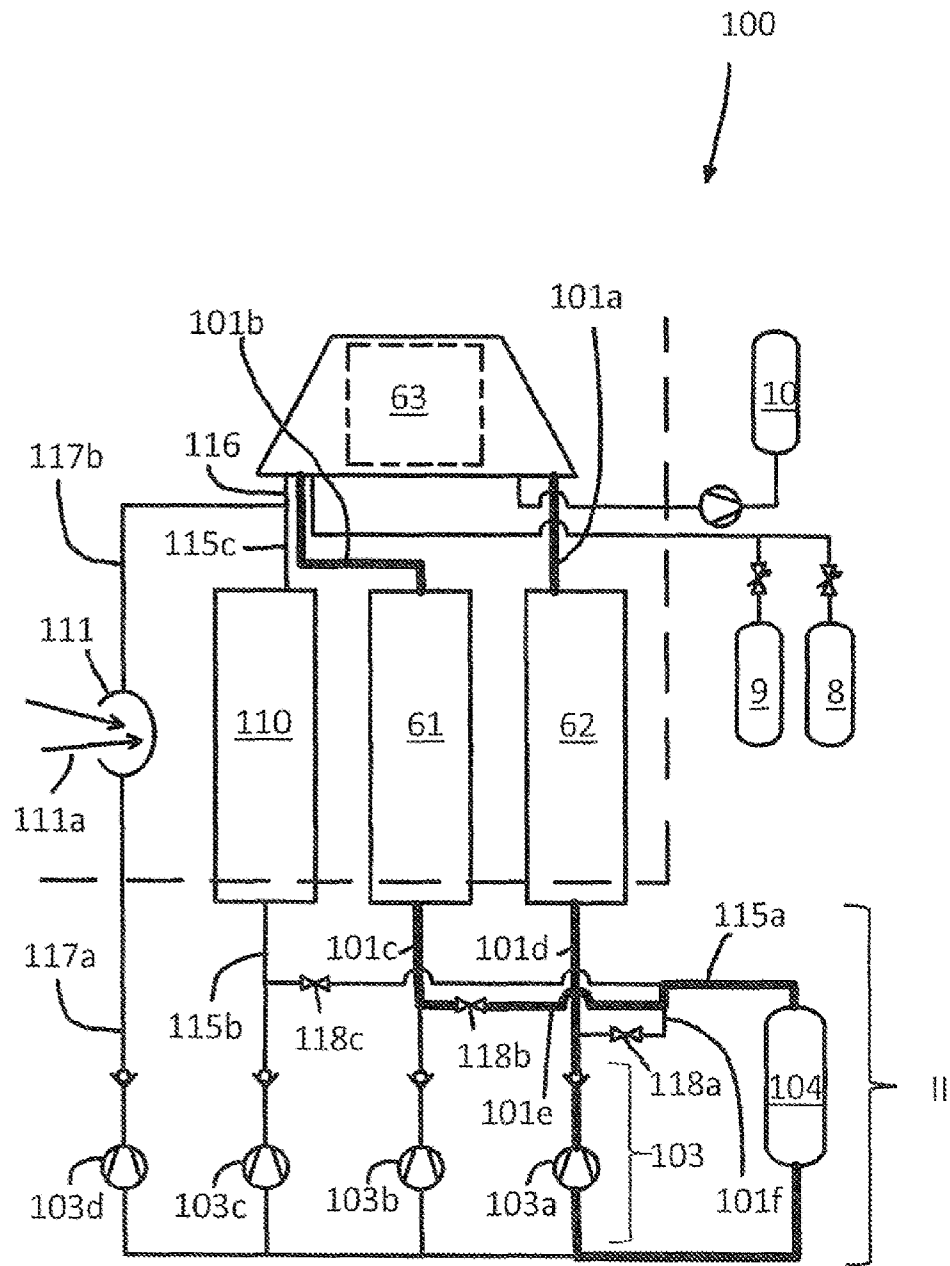


Fig. 7d

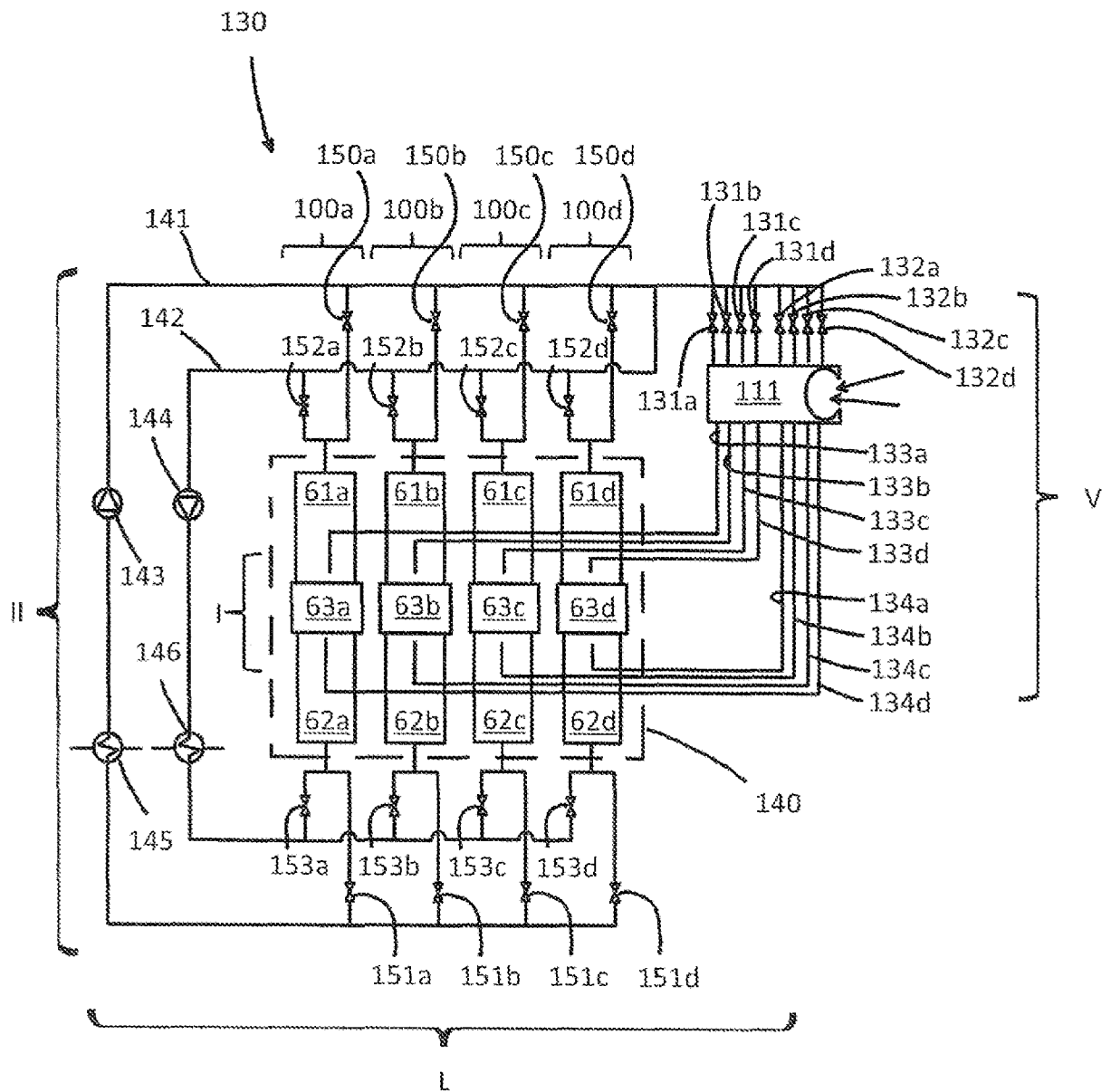


Fig. 8a

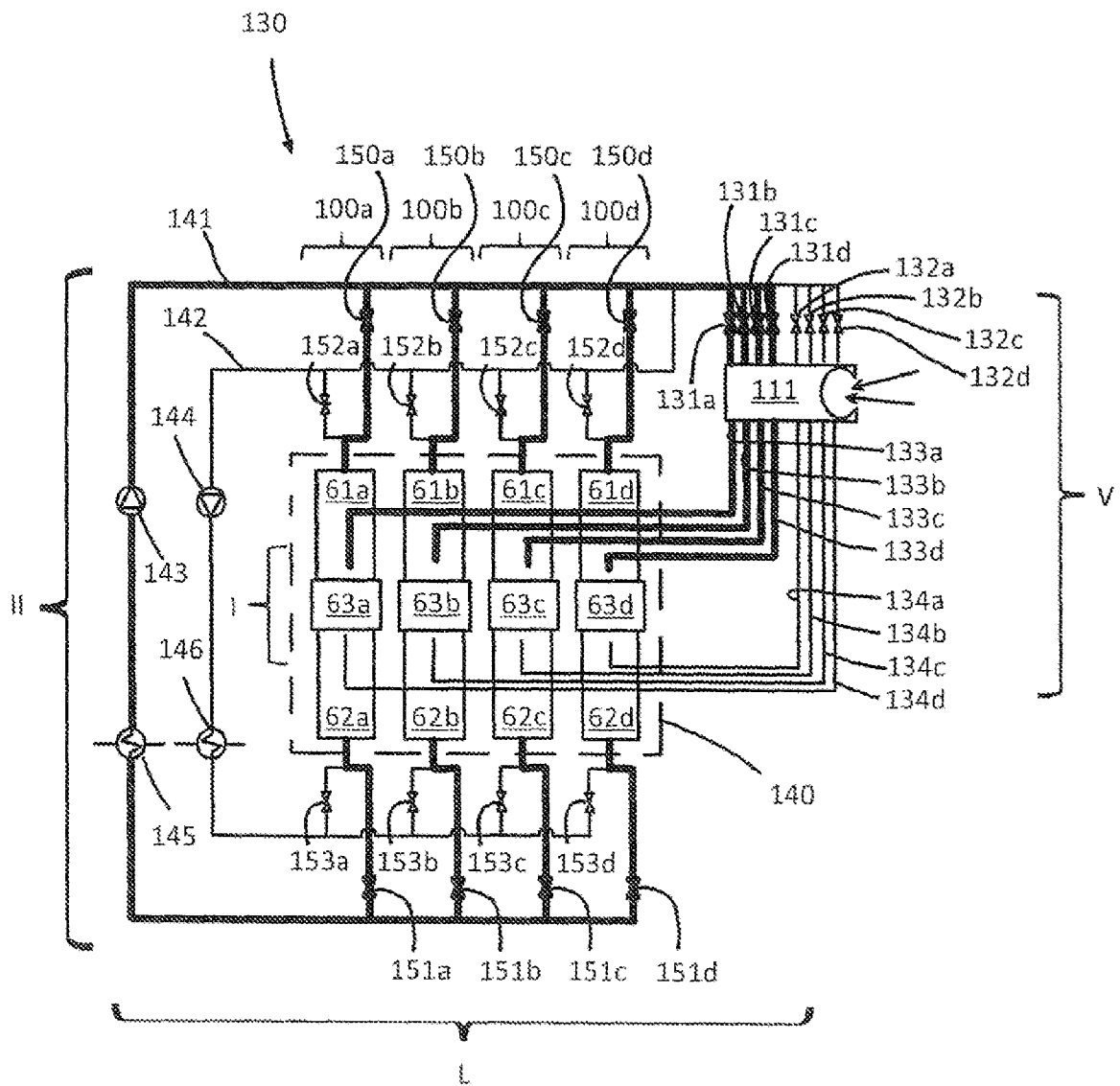


Fig. 8b

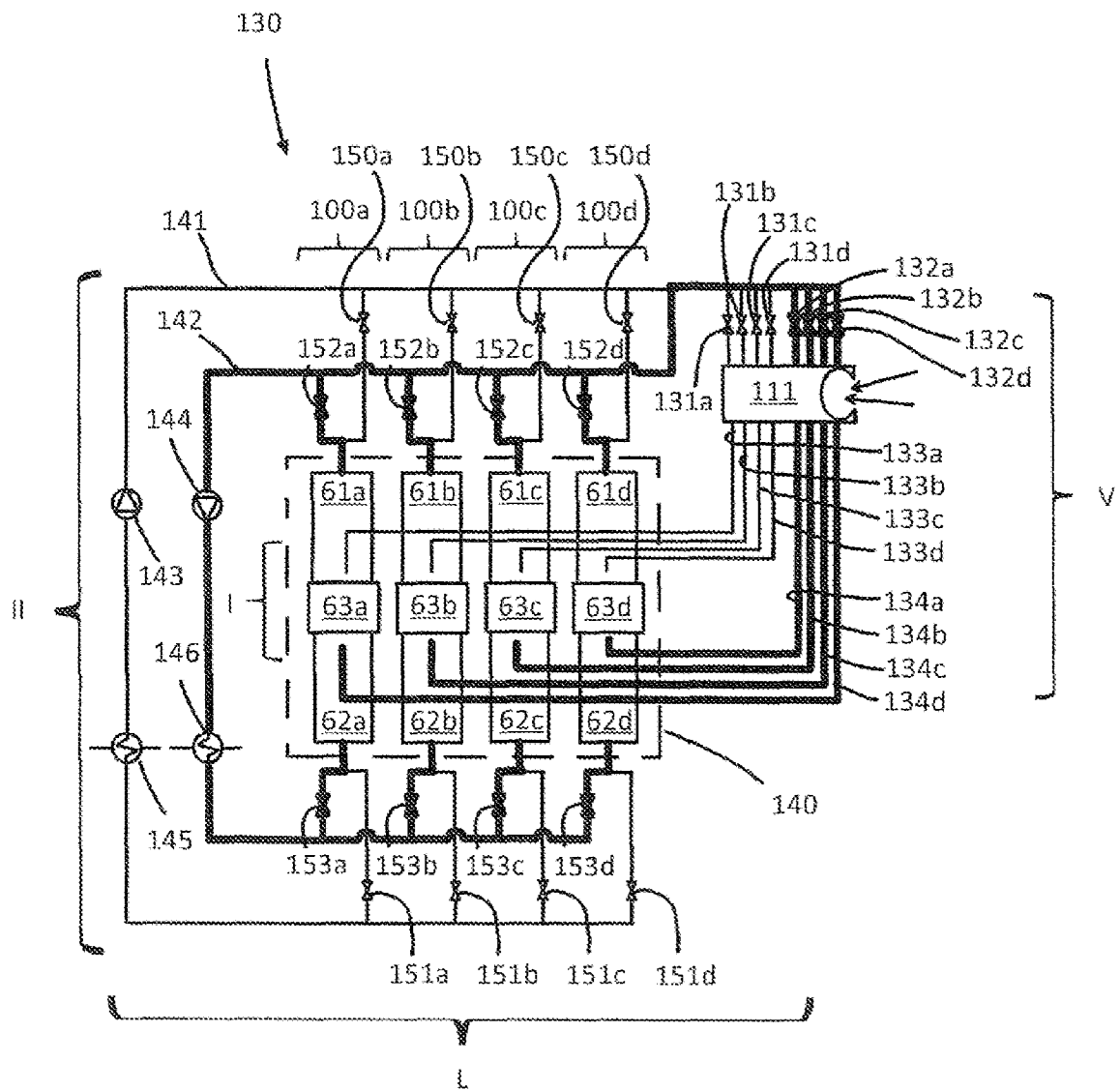


Fig. 8c

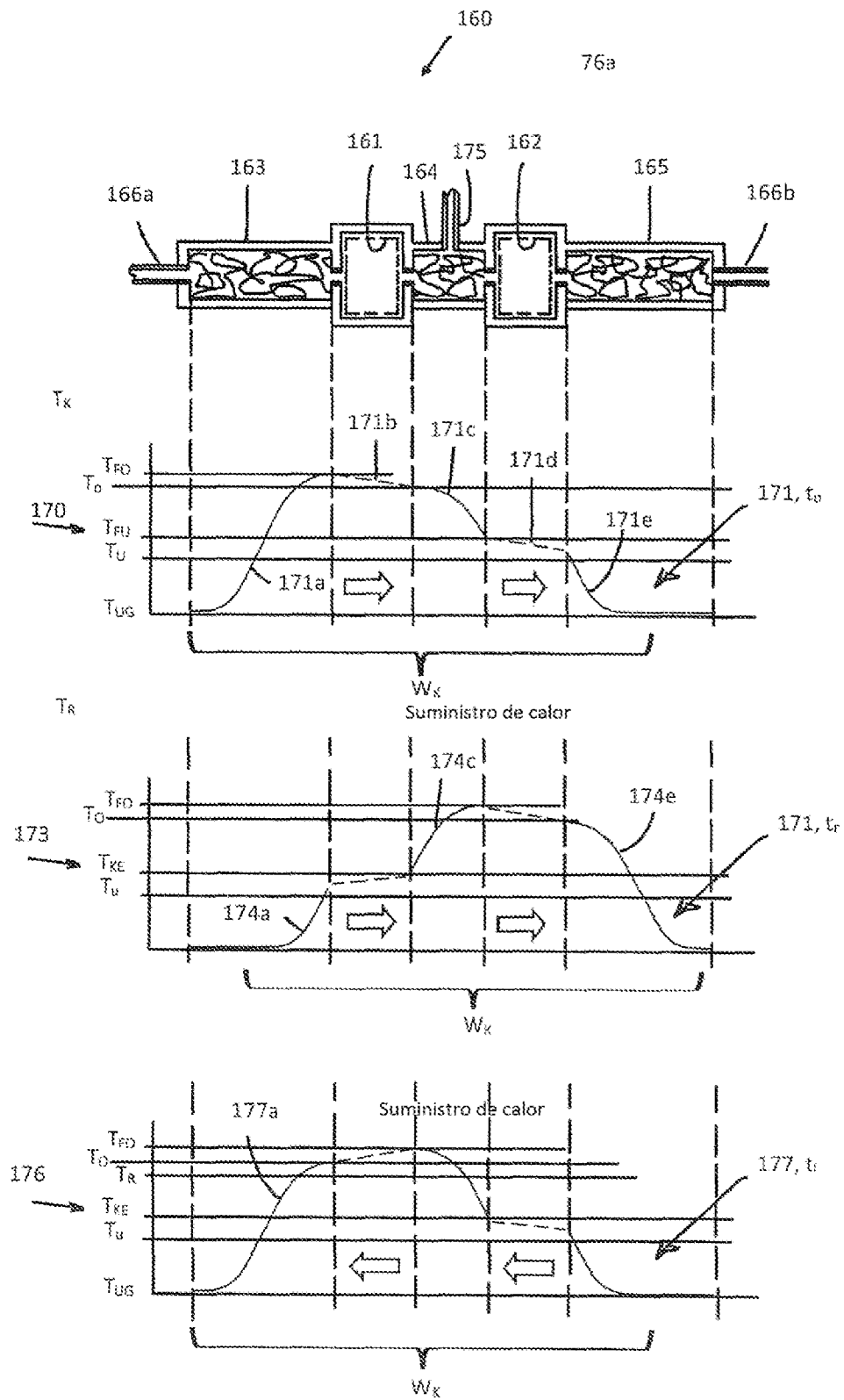


Fig. 9

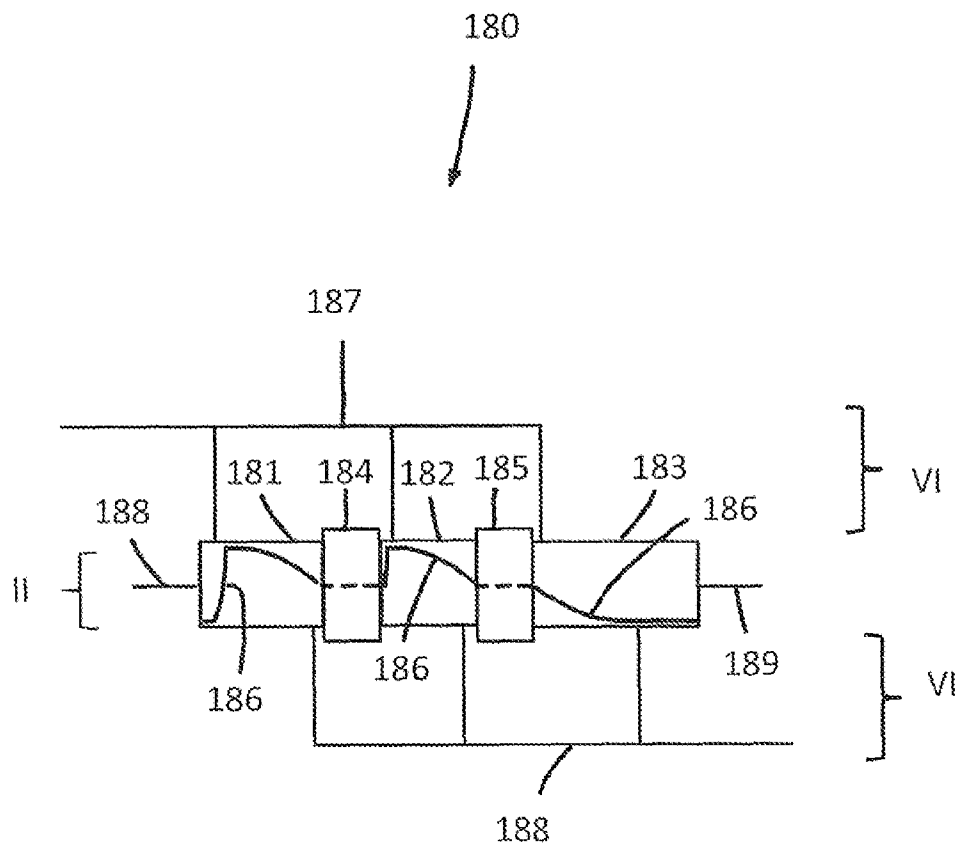


Fig. 10

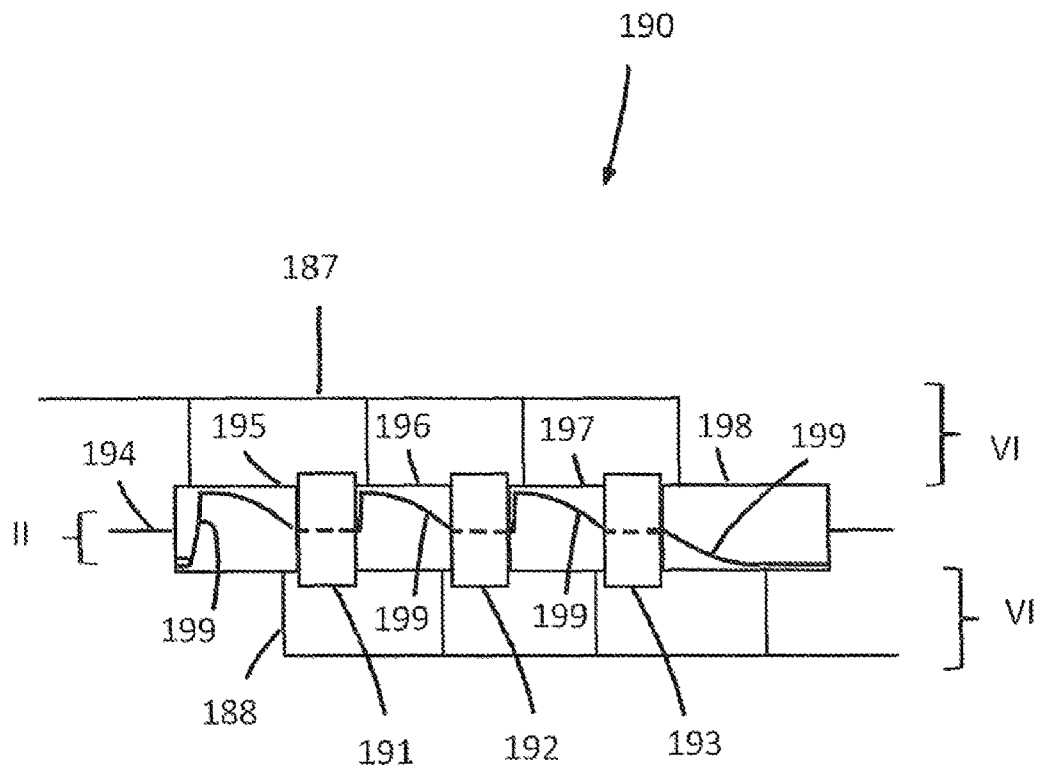


Fig. 11