

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 919 142**

51 Int. Cl.:

F28D 17/04 (2006.01)

F01K 3/00 (2006.01)

F01K 23/10 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.04.2019 PCT/EP2019/059804**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2019 WO19201918**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2019 E 19721508 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2022 EP 3781888**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa y disposición acumuladora de calor**

30 Prioridad:

18.04.2018 DE 102018003162

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.07.2022

73 Titular/es:

**CARBON-CLEAN TECHNOLOGIES GMBH
(100.0%)
Widdersdorfer Straße 217a
50825 Köln, DE**

72 Inventor/es:

KNOP, KLAUS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 919 142 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa y disposición acumuladora de calor

La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa, en donde la disposición acumuladora de calor presenta al menos un calentador de gas para calentar un gas portador, en particular para calentar aire, una serie de acumuladores de calor con una pluralidad de módulos acumuladores de calor y al menos un compresor, en donde durante un ciclo de carga de al menos un módulo acumulador de calor, preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor siguientes de la serie de acumuladores de calor, fluye a través gas portador calentado en el calentador de gas y se carga térmicamente mediante la transferencia de calor del gas portador calentado a un material del acumulador de calor del módulo acumulador de calor y el gas portador se enfría durante la carga, en donde el gas portador enfriado, cuando la temperatura del gas portador después de la carga de un módulo acumulador de calor alcanza o supera una temperatura de carga mínima de un módulo acumulador de calor que sigue en la serie de acumuladores de calor, es aportado al módulo acumulador de calor siguiente para la carga, y en donde se prevé una recirculación del gas portador si la temperatura del gas portador cae por debajo de la temperatura de carga mínima del módulo acumulador de calor siguiente, y el gas portador se aporta al compresor durante la recirculación y, después de la compresión, se devuelve al calentador de gas para calentar nuevamente el gas portador.

Además, la invención también se refiere a una disposición acumuladora de calor regenerativa, diseñada y/o configurada para funcionar según un procedimiento del tipo descrito anteriormente, con al menos un calentador de gas para calentar un gas portador, en particular aire, con al menos una serie de acumuladores de calor con una pluralidad de módulos acumuladores de calor y con al menos un compresor, en la que al menos un módulo acumulador de calor, preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor siguientes de la serie de acumuladores de calor pueden fluir durante un ciclo de carga de gas portador calentado en el calentador de gas y puede cargarse térmicamente mediante la transferencia de calor del gas portador calentado a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor, en donde durante el ciclo de carga se proporciona una recirculación del gas portador y el gas portador enfriado durante la carga se puede aportar al compresor y devolver al calentador de gas a través del compresor después de fluir a través del al menos un módulo acumulador de calor, preferiblemente después de fluir a través de una pluralidad de módulos acumuladores de calor siguientes de la serie de acumuladores de calor.

Finalmente, la presente invención se refiere a un procedimiento para equilibrar picos de carga en la generación de energía eléctrica y/o en particular para la generación descentralizada de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del calor de gas portador calentado para generar electricidad en una central termoeléctrica acumuladora y/o o para aprovechar el calor del gas portador calentado para generar vapor de proceso y/o calefacción urbana y/o para acoplar calor en un proceso de precalentamiento, presentando la central termoeléctrica acumuladora una disposición acumuladora de calor regenerativa y haciendo funcionar la disposición acumuladora de calor como se describe anteriormente. El procedimiento para equilibrar los picos de carga máxima y/o para la generación descentralizada de energía eléctrica y/o para el aprovechamiento del calor del gas portador calentado prevé las siguientes etapas en este contexto:

- calentamiento de gas portador, en particular aire caliente, en al menos un calentador de gas,
- carga térmica de al menos un módulo acumulador de calor de una pluralidad de módulos acumuladores de calor de la central termoeléctrica acumuladora mediante la liberación de calor del gas portador calentado en el calentador de gas a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor,
- descarga térmica retardada en el tiempo de al menos un módulo acumulador de calor, preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor, en donde al menos un módulo acumulador de calor es atravesado por gas portador más frío, en particular aire frío, y el calor se transfiere desde el material acumulador de calor al gas portador más frío para calentar el gas portador y
- aprovechamiento del gas portador calentado durante la descarga del al menos un módulo acumulador de calor para generar electricidad y/o generar vapor de proceso y/o generar calefacción urbana y/o para el acoplamiento de calor.

La expansión de las energías renovables está provocando un cambio en la estructura de generación del mercado eléctrico. La energía eléctrica dependiente de la oferta procedente de fuentes de energía renovables, tales como la energía eólica, la biomasa y la fotovoltaica, constituirá una gran parte del suministro eléctrico en el futuro. Sin embargo, las tecnologías disponibles para generar electricidad a partir de fuentes de energía renovable solo permiten una predicción limitada de las cantidades de electricidad generadas, por lo que las fluctuaciones ocurren en diferentes escalas de tiempo, a saber, desde fluctuaciones estacionales a lo largo del día hasta fluctuaciones a corto plazo. Estas fluctuaciones exacerban las fluctuaciones en la demanda de electricidad y aumentan la necesidad de posibilidades de equilibrio para los picos de carga. Actualmente, el balance de picos de carga se realiza, por norma general, a través de diversos mercados de energía, en los que participan operadores de distintas tecnologías de generación y acumulación. Además, el sistema energético está a punto de cambiar de una generación central a una descentralizada de energía eléctrica a partir de fuentes de energía fósil y renovable. De ello resultan nuevos requisitos para la infraestructura de la red, ya que la tarea de estabilización de la red se desplaza cada vez más del nivel de la red de transmisión al nivel de las redes de distribución. Sin embargo, hasta el momento, en estos existe poca o ninguna infraestructura para el control activo de las redes.

A partir del documento DE 10 2014 017 346 A1 se conoce un procedimiento genérico para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa. El procedimiento conocido prevé un aprovechamiento del calor del gas portador calentado, en particular de aire caliente, para generar electricidad en una central termoeléctrica acumuladora de energía, calentándose primero un gas portador, tal como aire, a una temperatura nominal de carga determinada en al menos un calentador de gas de la central termoeléctrica acumuladora de energía. El gas portador sirve para cargar térmicamente una pluralidad de módulos acumuladores de calor de la central termoeléctrica acumuladora de calor, produciéndose una entrega de calor del gas portador caliente a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor (ciclo de carga). Se pueden usar varios calentadores de gas para generar gas caliente en cantidad suficiente y/o con una temperatura de carga nominal suficientemente alta para cargar los módulos acumuladores de calor. Una temperatura de carga nominal máxima cuando se calienta el gas portador en el calentador de gas puede ser de 1.000 °C a 1.300 °C, preferiblemente de 1.100 °C a 1.200 °C.

En el caso de la descarga térmica desplazada en el tiempo de al menos un módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de calor, en el caso del procedimiento genérico el calor útil acumulado o bien el contenido de calor útil del módulo acumulador de calor se utiliza para calentar el gas portador frío, en particular, aire frío. Para este propósito, el gas portador frío fluye a través de al menos un módulo acumulador de calor y el calor se transfiere desde el material acumulador de calor al gas portador (ciclo de descarga). El gas portador se calienta a una temperatura de descarga determinada a medida que fluye a través del módulo acumulador de calor. La temperatura de descarga nominal requerida para una transferencia de calor puede ser de 500 °C a 900 °C, preferiblemente de 600 °C a 800 °C. El calor del gas portador caliente generado durante un ciclo de descarga puede luego transferirse, por ejemplo, a un fluido de trabajo que puede aprovecharse en un proceso de energía de vapor para generar electricidad.

Si el gas portador se calienta en el calentador de gas mediante la conversión de energía eléctrica en energía térmica, en cuyo caso el calentador de gas puede presentar para este fin al menos una resistencia eléctrica de calentamiento, el procedimiento de acuerdo con la invención y la central termoeléctrica acumuladora de calor de acuerdo con la invención pueden contribuir a la gestión de la carga en la red eléctrica, a veces con una generación de energía más alta y una demanda de energía baja durante un ciclo de carga, la energía eléctrica se almacena en forma de calor. En el caso de picos de carga, al menos un módulo acumulador de calor se descarga en un ciclo de descarga y el gas portador caliente generado de esta manera se emplea para generar electricidad, por ejemplo, para evaporar agua para un proceso de vaporización. La energía eléctrica generada se puede realimentar a la red eléctrica. Un operario de la central termoeléctrica acumuladora de calor de acuerdo con la invención puede ofrecer servicios del sistema y participar en el mercado de energía de control. Mediante los módulos acumuladores de calor empleados es posible almacenar energía eléctrica en forma de calor de una manera sencilla y rentable, pudiendo proporcionarse energía eléctrica de forma flexible, en un tiempo muy reducido y rentable en caso de picos de alto consumo a corto plazo.

Por lo demás, el contenido de la divulgación del documento DE 10 2014 017 346 A1 se incluye en todo su contenido en el contenido divulgativo de la presente descripción de la invención. Esto se refiere, en particular, al diseño constructivo y técnico de la instalación de la disposición acumuladora de calor descrita en el documento DE 10 2014 017 346 A1 y la central termoeléctrica acumuladora de calor descrita.

Si los módulos acumuladores de calor están diseñados en serie y forman una serie de acumuladores de calor, en donde el gas portador calentado a una temperatura de carga nominal en el calentador de gas fluye posteriormente a través de los módulos acumuladores de calor de la serie de acumuladores de calor durante un ciclo de carga y los módulos acumuladores de calor se calientan, el gas portador abandona el primer módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de calor al comienzo del ciclo de carga inicialmente frío. Al aumentar la absorción de calor de la masa acumuladora de este módulo acumulador de calor, aumenta la temperatura del gas portador que sale del módulo acumulador de calor.

Si la temperatura del gas portador a la salida de un módulo acumulador de calor alcanza o supera una temperatura de carga mínima predeterminada, el gas portador se alimenta a un módulo acumulador de calor posterior en la serie de acumuladores de calor y se aprovecha para cargar este módulo acumulador de calor. Este proceso se repite para todos los módulos acumuladores de calor de la serie de acumuladores de calor que se cargan posteriormente. El gas portador sale luego enfriado del módulo acumulador de calor cargado en última instancia de la serie de acumuladores de calor, por ejemplo, al nivel de temperatura de la temperatura de carga mínima.

Si el gas portador se enfría por debajo de la temperatura mínima de carga al cargar un módulo acumulador de calor, el procedimiento operativo conocido del documento DE 10 2014 017 346 A1 prevé una recirculación del gas portador durante el ciclo de carga. El gas portador enfriado se alimenta en este caso a un compresor o bien ventilador, se comprime allí y se devuelve al calentador de gas después de la compresión. Allí, el gas portador se recalienta y luego se aprovecha para la carga adicional de la serie de acumuladores de calor.

La temperatura máxima a la que el gas portador puede conducirse al compresor durante la recirculación está relacionada con la limitación relacionada con el material y el volumen de la temperatura de entrada en el compresor y generalmente es inferior a 250 °C, en particular en aprox. 200 °C. Además, en el caso de temperaturas altas del gas portador se produce un aumento en el consumo de energía del compresor.

La temperatura máxima a la que el gas portador se envía al compresor durante la recirculación está solo ligeramente por debajo de la temperatura de carga mínima a la que el gas portador todavía se aprovecha para cargar un módulo acumulador de calor. Como resultado, el nivel permisible de la temperatura mínima de carga también está relacionado con el nivel permisible de la temperatura de entrada del compresor.

5 Los cálculos de simulación realizados por la solicitante han confirmado que se puede lograr un funcionamiento máximo de los módulos acumuladores de calor (en función del número de módulos acumuladores de calor) de entre el 40% y el 60% con el procedimiento conocido para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa. Esto se refiere a un funcionamiento cíclico de la disposición acumuladora (carga/descarga). De acuerdo con la invención, por "aprovechamiento de la disposición acumuladora" se entiende el contenido de energía del acumulador que está disponible
10 activamente para generar aire caliente durante la descarga del acumulador, basado en un contenido de energía teóricamente máximo posible a, por ejemplo, 1.200 °C. El bajo aprovechamiento en el procedimiento conocido para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa aumenta los costes de acumulación de energía, ya que una gran parte del material del acumulador no se utiliza para almacenar energía térmica de forma activa.

15 Misión de la presente invención es proporcionar un procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa, una disposición acumuladora de calor y un procedimiento para equilibrar los picos de carga y/o para la generación particularmente descentralizada de energía eléctrica y/o para el aprovechamiento del calor de gas portador calentado, en cada caso del tipo mencionado al principio, que se distingan por un modo de funcionamiento mejorado del acumulador de calor, debiendo ser posible, en particular, un mayor aprovechamiento de la disposición acumuladora de calor en el funcionamiento cíclico con una baja carga mecánico-térmica de los componentes de la instalación de la
20 disposición acumuladora de calor.

El problema antes mencionado se resuelve mediante un procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa con las características de la reivindicación 1, mediante una disposición acumuladora de calor con las características de la reivindicación 8 y mediante un procedimiento para equilibrar los picos de carga en la generación de energía eléctrica y/o, en particular, para la generación descentralizada de energía eléctrica y/o para el aprovechamiento
25 de calor a partir de gas portador calentado con las características de la reivindicación 9. Ejecuciones ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

El procedimiento según la invención para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa prevé que se establezca o bien predefina una temperatura de carga mínima del gas portador para cargar los módulos acumuladores de calor, estando dicha temperatura de carga mínima por encima de una temperatura nominal permisible en la entrada del compresor. Si el gas portador después de cargar un módulo acumulador de calor y salir del módulo acumulador de calor presenta al menos la temperatura de carga mínima, el gas portador se aprovecha, como en el caso del procedimiento conocido a partir del documento DE 10 2014 017 346 A1 para cargar un módulo acumulador de calor siguiente de la serie de acumuladores de calor. Si la temperatura del gas portador cae por debajo de la temperatura de carga mínima, el gas portador circula por el contrario en circuito a través del compresor hasta el calentador de gas y se emplea allí después de un nuevo calentamiento para la carga (adicional) de al menos un módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de calor. Para la realización del procedimiento operativo según la invención está previsto un dispositivo de medición, control y/o regulación. En este caso, la temperatura del gas portador se mide después de salir de un módulo acumulador de calor durante un ciclo de carga y se compara con la temperatura de carga mínima predefinida (valor nominal). Dependiendo de la temperatura del gas portador, el caudal volumétrico del gas portador y la conducción del flujo se controlan y/o regulan
30 entonces por medio de válvulas de control y/o regulación adecuadas.

Dado que la temperatura de entrada en el compresor está limitada a una temperatura nominal permisible condicionada por el material y el volumen, la invención prevé un enfriamiento del gas portador que se ha de reciclar durante la recirculación durante un ciclo de carga, si la temperatura del gas portador reciclado se encuentra por encima de la temperatura nominal admisible en la entrada del compresor.

35 El procedimiento operativo según la invención está asociado con una serie de ventajas. Por un lado, la temperatura de carga mínima más alta conduce a un aprovechamiento máximo más alto de la disposición acumuladora descrita. Los cálculos de simulación realizados en relación con la invención han demostrado que el aprovechamiento máximo de la disposición acumuladora de calor puede alcanzar hasta el 85% con, por ejemplo, cinco módulos acumuladores de calor y una temperatura de descarga de 760 °C. Módulos acumuladores de calor adicionales pueden aumentar el aprovechamiento a más del 90%. El aumento del aprovechamiento de la disposición acumuladora conduce a una reducción de los costes de acumulación de calor, ya que, según la invención, una parte mayor del material acumulador se puede aprovechar para la acumulación activa de energía térmica. El enfriamiento del gas portador a reciclar antes de ingresar en el compresor permite el empleo de máquinas económicas y asegura un bajo consumo de energía del compresor.

40 La temperatura del gas portador a la salida del último módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de calor puede corresponder preferiblemente a la temperatura de carga mínima. Esto se puede ajustar mediante un control y/o una regulación correspondientes de los caudales de volumen de gas portador que se alimentan al último módulo acumulador de calor para la carga.

Durante el ciclo de descarga, el gas portador más frío, en particular aire frío, fluye a través de al menos un módulo acumulador de calor cargado térmicamente de la serie de acumuladores de calor, preferiblemente una pluralidad de

módulos acumuladores de calor posteriores de la serie de acumuladores de calor, y se descarga térmicamente por transferencia de calor al gas portador más frío, calentándose el gas portador más frío durante la descarga térmica del módulo acumulador de calor y luego está disponible para un aprovechamiento posterior, en particular para la generación de energía eléctrica y/o para el aprovechamiento de calor.

- 5 Según la invención, la temperatura de carga mínima puede ser superior a 250 °C, preferiblemente superior a 350 °C, más preferiblemente entre 350 °C y 600 °C, de forma especialmente preferida de aprox. 400 °C a 500 °C. La diferencia de temperaturas entre la temperatura de carga mínima y la temperatura nominal en la entrada del compresor puede ser preferiblemente superior a 100 °C, más preferiblemente superior a 150 °C. Con ello, también se alcanzan temperaturas más altas cuando la disposición acumuladora está descargada y, con ello, altos grados de aprovechamiento.
- 10 En el caso de la disposición acumuladora de calor según la invención, en el trayecto de flujo del gas portador para enfriar el gas portador durante la recirculación está previsto al menos un dispositivo de transferencia de calor dispuesto entre la serie de acumuladores de calor y el compresor. Preferiblemente, tiene lugar un enfriamiento del gas portador durante la recirculación por transferencia de calor al gas portador comprimido devuelto al calentador de gas, de modo que el gas portador comprimido se precalienta antes de que entre en el calentador de gas. Puede estar prevista una transferencia de calor indirecta por medio de un recuperador, pudiendo estar prevista también una transferencia de calor entre el gas portador a reciclar antes de la entrada al compresor y después de la salida del compresor a través de un circuito de refrigeración. Se puede utilizar un aceite térmico como refrigerante. Además, una transferencia de calor también puede tener lugar con un regenerador, preferiblemente un transferidor de calor rotatorio tal como un regenerador Ljungström, que permite tiempos de conmutación cortos. El intercambio de calor directo y el intercambio de calor a través de un regenerador permiten temperaturas de carga mínimas más altas, lo que a su vez conduce a grados de aprovechamiento más altos y a temperaturas más altas al descargar la instalación acumuladora.
- 15
- 20

Cuando se utilizan recuperadores y/o regeneradores, se pueden predefinir temperaturas de carga mínima de más de 400 °C. Por otro lado, el intercambio de calor a través de un circuito de refrigeración que utiliza aceite térmico como refrigerante puede permitir temperaturas de carga mínima inferiores a 400 °C.

- 25 También puede estar previsto un enfriamiento multietapa del gas portador que se ha de reciclar antes de que entre en el compresor. En este contexto, el gas portador solo puede enfriarse a una temperatura superior a la temperatura nominal en la entrada al compresor, por ejemplo, a una temperatura superior a 60 °C, preferiblemente de 80 °C a 100 °C, durante la recirculación por transferencia de calor al gas portador comprimido devuelto al calentador de gas. Después de un primer dispositivo de transferencia de calor del tipo descrito anteriormente antes del compresor puede estar previsto al menos otro dispositivo de transferencia de calor en el camino del flujo del gas portador enfriado, enfriándose el gas portador a la temperatura nominal en la entrada del compresor después de la transferencia de calor al gas portador comprimido devuelto al calentador de gas en el dispositivo de transferencia de calor adicional. Con ello se puede mantener de forma segura una temperatura nominal especificada en la entrada del compresor. En el caso del dispositivo de transferencia de calor adicional se puede tratar de un recuperador, por ejemplo, en donde el calor del gas portador se transfiere a un refrigerante, en particular agua, en el caso de transferencia de calor indirecta.
- 30
- 35

La temperatura nominal en la entrada del compresor puede ser inferior a 70 °C, preferiblemente inferior a 60 °C, más preferiblemente 50 °C o inferior.

- Además, una realización preferida adicional de la invención prevé que el gas portador a reciclar se combine con gas portador caliente procedente del calentador de gas durante el ciclo de carga en la recirculación antes de entrar en el compresor para regular la temperatura del gas portador. En particular, la temperatura del gas portador alimentado al compresor durante la recirculación puede mantenerse esencialmente constante, lo que simplifica la regulación del compresor. Además, el gas portador se suministra al calentador de gas a un nivel de temperatura sustancialmente constante, lo que también es ventajoso.
- 40

- Otras características, ventajas y posibilidades de aplicación de la presente invención resultan de la siguiente descripción de ejemplos de realización con ayuda del dibujo y del propio dibujo. En este caso, todas las características descritas o representadas en imagen forman por sí solas o en combinación arbitraria el objeto de la presente invención, independientemente de su resumen en las reivindicaciones o su referencia.
- 45

En el dibujo muestran:

- La Fig. 1, un diagrama de flujo de proceso esquemático de un procedimiento conocido para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa,
- 50 la Fig. 2, un diagrama de flujo de proceso esquemático de un procedimiento de acuerdo con la invención para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa,
- la Fig. 3, un diagrama de flujo de proceso esquemático de un dispositivo de transferencia de calor para enfriar un gas portador recirculado en el procedimiento de acuerdo con la invención de acuerdo con una primera forma de realización de la invención,
- 55

- la Fig. 4, un diagrama de flujo de proceso esquemático de un dispositivo de transferencia de calor para enfriar un gas portador recirculado en el procedimiento de acuerdo con la invención de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención,
- 5 la Fig. 5 un diagrama de flujo de proceso esquemático de un dispositivo de transferencia de calor para enfriar un gas portador recirculado en el procedimiento de acuerdo con la invención de acuerdo con una tercera forma de realización de la invención,
- la Fig. 6, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa cuando se carga un primer módulo acumulador de calor de una serie de acumuladores de la disposición acumuladora de calor,
- 10 la Fig. 7, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa cuando se carga el primer módulo acumulador de calor y un segundo módulo acumulador de calor siguiente de la serie de acumuladores de la disposición acumuladora de calor,
- 15 la Fig. 8, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa cuando se carga el segundo módulo acumulador de calor y un tercer módulo acumulador de calor siguiente de la serie de acumuladores de la disposición acumuladora de calor,
- 20 la Fig. 9, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa cuando se carga un tercer módulo acumulador de calor y un cuarto módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de la disposición acumuladora de calor,
- la Fig. 10, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 durante la descarga del último módulo acumulador de calor de la serie de acumuladores de calor,
- 25 la Fig. 11, un diagrama de flujo de proceso parcial esquemático del procedimiento de acuerdo con la invención mostrado en la Fig. 2 durante la descarga de los dos últimos módulos acumuladores de calor de la serie de acumuladores de calor y
- 30 las Fig. 12-14, perfiles de temperatura que muestran un aumento del aprovechamiento de la serie de acumuladores de calor al aumentar la temperatura de carga mínima de los módulos acumuladores de calor y enfriar el gas portador después de salir de la serie de acumuladores de calor y antes del compresor.

En la Fig. 1 se muestra una disposición acumuladora de calor 1 conocida con al menos un calentador de gas 2 para calentar un gas portador 3, en particular aire, y con una serie de acumuladores de calor 4, presentando la serie de acumuladores de calor 4, por ejemplo, cuatro módulos acumuladores de calor 5 a 8 conectados en serie. Se entiende que más o menos de cuatro módulos acumuladores de calor 5 a 8 también pueden formar una serie de acumuladores de calor 4.

35

Además, está previsto un ventilador o bien un compresor 6.

La disposición acumuladora de calor 1 puede corresponder a la disposición acumuladora de calor descrita en la memoria de publicación DE 10 2014 017 346 A1 y se puede hacer funcionar según el procedimiento descrito en la memoria de publicación antes mencionada. El contenido de divulgación de DE 10 2014 017 346 A1 se incorpora completamente en el contenido de divulgación de esta descripción tanto con respecto al tipo y la estructura de la disposición acumuladora de calor 1 como con respecto al procedimiento operativo conocido.

40

Durante un ciclo de carga o bien durante el proceso de carga de los módulos acumuladores de calor 5 a 8, aire altamente calentado de más de 1.000 °C, en particular de 1.200 °C, penetra primero en el primer módulo acumulador de calor 5 de la serie de acumuladores de calor 4 como gas portador 3 procedente de un calentador de gas 2, por ejemplo, que se calienta eléctricamente. A medida que fluye a través del módulo acumulador de calor 5, el calor del gas portador 3 se libera al material del acumulador. El gas portador 3 puede inicialmente abandonar frío el primer módulo acumulador de calor 5.

45

Al aumentar el llenado del primer módulo acumulador de calor 5, la temperatura del gas portador 3 en la salida del módulo acumulador de calor 5 aumenta, es decir, el aire que abandona el módulo acumulador de calor 5 cambia la temperatura al aumentar la carga del primer módulo acumulador de calor 5. Si, después de cargar el primer módulo acumulador de calor 5, la temperatura T del gas portador supera una temperatura de carga mínima TM predefinida del módulo acumulador de calor 6 que sigue en la serie de acumuladores de calor 4, o al menos alcanza la temperatura de carga mínima TM, entonces el portador de gas 3 se alimenta al siguiente módulo acumulador de calor 6 para su carga. Si, por el contrario, la temperatura T del gas portador está por debajo de la temperatura de carga mínima TM, está prevista una recirculación del gas portador 3, alimentándose el gas portador 3 al compresor 6 y, después de la compresión, al calentador de gas 2 para un

50

55

calentamiento renovado del gas portador 3 y el posterior aprovechamiento para la carga (adicional) de los módulos acumuladores de calor 5 a 8.

En el caso del procedimiento conocido, la temperatura de carga mínima está establecida por la limitación relacionada con el material y el volumen de la temperatura nominal en la entrada del compresor 6 y puede estar entre 200 °C y 250 °C, por ejemplo.

La carga descrita anteriormente de los siguientes módulos acumuladores de calor 6 a 8 corresponde al proceso de carga descrito del módulo acumulador de calor 5. La temperatura T del gas portador 3 a la salida del último módulo acumulador de calor 8 puede corresponder a la temperatura de carga mínima TM.

La Fig. 2 muestra un nuevo procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor regenerativa 9, en el que los mismos números de referencia indican unidades, aparatos o subconjuntos estructural y/o funcionalmente idénticos de las disposiciones acumuladoras de calor 1, 9 que se muestran en las Fig. 1 y 2.

A diferencia de la disposición acumuladora de calor 1 conocida mostrada en la Fig. 1, la disposición acumuladora de calor 9 de la Fig. 2 presenta en el camino del flujo del gas portador 3 entre la serie de acumuladores 4 y el compresor 6 un dispositivo de transferencia de calor 10 representado esquemáticamente. Con ello, es posible enfriar el gas portador 3 a reciclar antes de que entre en el compresor 6 y, con ello, prever una temperatura de carga mínima TM más alta en el caso de la carga de los módulos acumuladores de calor 6, 7, 8 adicionales siguientes en la serie de acumuladores de calor 4 al primer módulo acumulador de calor 5 de, por ejemplo, 400 °C o más, estando la temperatura de carga mínima por encima de una temperatura nominal permisible en la entrada del compresor. La temperatura de entrada del compresor puede ser, por ejemplo, solo de 50 °C a 60 °C.

También en el caso de la disposición acumuladora de calor 9 mostrada en la Fig. 2, está prevista durante un ciclo de carga una recirculación del gas portador 3 si la temperatura T del gas portador cae por debajo de la temperatura de carga mínima TM del módulo acumulador de calor 6, 7, 8 siguiente, siendo alimentado el gas portador 3 al compresor 6 durante la recirculación y después de la compresión se devuelve al calentador de gas 2 para un calentamiento renovado del gas portador 3. Para cumplir con la limitación relacionada con el material y/o el volumen de la temperatura de entrada en el compresor 6 y lograr bajas temperaturas de entrada del compresor, el gas portador 3 se enfría en la recirculación antes de la entrada en el compresor 6 en el dispositivo de transferencia de calor 10 si la temperatura T del gas portador está por encima de una determinada temperatura nominal en la entrada del compresor. Al aumentar la temperatura de carga mínima TM en comparación con el procedimiento operativo conocido descrito con referencia a la Fig. 1 se puede conseguir un mayor aprovechamiento de la disposición acumuladora de calor 9, es decir, una mayor relación del contenido de energía del acumulador del que se dispone realmente referido al posible contenido de energía teórico o bien a un contenido de energía máximo posible en el caso de una temperatura específica del gas portador 3 calentado cuando sale del calentador de gas 2. El aprovechamiento de la disposición acumuladora de calor 9 puede así ser más del 80%, preferiblemente más del 85%, en particular más del 90% en el nuevo procedimiento de funcionamiento.

Como también puede verse en la Fig. 2, el gas portador 3 se enfría durante la recirculación en el dispositivo de transferencia de calor 10 por transferencia de calor al gas portador 3 comprimido devuelto al calentador de gas 2. La transferencia de calor entre el gas portador 3 más caliente de la serie de acumuladores de calor 4 (antes de que se alimente al compresor 6) y el gas portador 3 más frío (después de salir del compresor 6) puede tener lugar indirectamente por medio de recuperador(es), estando separadas las corrientes de gas portador espacialmente por una pared permeable al calor (Fig. 3) o se prevé un circuito refrigerante 11 (Fig. 4), en cuyo caso se puede emplear un aceite térmico como refrigerante. Según la Fig. 5, la transferencia de calor puede tener lugar también de forma semi-indirecta, poniendo en contacto las dos corrientes de gas portador desplazadas en el tiempo con un acumulador de calor. Los intercambiadores de calor de esta clase son regeneradores. El flujo de calor transferido en el dispositivo de transferencia de calor 10 se muestra esquemáticamente mediante la flecha 12 en las Fig. 2 a 5.

Para enfriar aún más intensamente el gas portador 3 y garantizar que el gas portador 3 no supere la temperatura nominal en la entrada del compresor antes de entrar en el compresor 6, puede estar previsto al menos un enfriador 13 en el camino del flujo del gas portador 3 antes del compresor 6.

Como resulta adicionalmente de la Fig. 2, a través de una válvula reguladora 14 se conduce conjuntamente gas portador 3 caliente procedente del calentador de gas 2 y gas portador 3 a reciclar desde un módulo acumulador de calor 5 a 8, cuya temperatura del gas portador está por debajo de la temperatura de carga mínima para cargar un módulo acumulador de calor 6, 7, 8 posterior. Los caudales volumétricos del gas portador se adaptan entre sí de tal manera que se ajusta una temperatura constante en el punto de mezcladura, por ejemplo en el intervalo de la temperatura de carga mínima, además, por ejemplo, de aprox. 400 °C a 500 °C. Puede estar previsto un dispositivo de medición de la temperatura 15 antes de la entrada del gas portador 3 en el dispositivo de transferencia de calor 10 para medir la temperatura del gas portador 3 y regular la temperatura del gas portador en el punto de mezcladura por medio de la válvula reguladora 14. Como resultado, al dispositivo de transferencia de calor 10 se alimenta un gas portador 3 a un nivel de temperatura constante por encima de la temperatura nominal en la entrada del compresor y se puede enfriar, por ejemplo, en contracorriente con un gas portador 3 más frío del compresor 6. El gas portador 3 comprimido, precalentado de esta manera, se puede acoplar entonces de nuevo a través del calentador de gas 2 a la serie de acumuladores de calor y se puede aprovechar para la carga (ulterior).

Manteniendo constante la temperatura del gas portador, se reducen los requisitos técnicos de procedimiento del compresor 6 y el esfuerzo de regulación. Además, una temperatura constante del gas portador 3 delante del calentador de gas 2 tiene un efecto ventajoso sobre el modo de funcionamiento y los costes del calentador de gas 2.

Las Fig. 6 a 10 muestran esquemáticamente la carga de la serie de acumuladores de calor 4 de la disposición acumuladora de calor 9 que se muestra en la Fig. 2, representando la Fig. 6 la carga del primer módulo acumulador de calor 5 de la serie de acumuladores de calor 4, la Fig. 7 la carga de los dos primeros módulos acumuladores de calor 5, 6 y la Fig. 8 la carga del segundo módulo acumulador de calor 6 y el tercer módulo acumulador de calor 7. En el caso del estado de carga mostrado en la Fig. 8, el primer módulo acumulador de calor 5 ya está completamente cargado y puede presentar entonces una temperatura del acumulador de entre 600 y 1.000 °C, preferiblemente 800 °C. En la Fig. 8 se muestra una circulación de derivación del gas portador 3 más allá del primer módulo acumulador de calor 5 cuando el primer módulo acumulador de calor 5 ya está completamente cargado. Entonces se desactiva el módulo acumulador de calor 5. Sin embargo, en principio también es posible que no se prevea una circulación de derivación y que el gas portador 3 caliente fluya entonces todavía a través de un módulo acumulador de calor 5-7, incluso si ya está completamente cargado. Con ello, la temperatura del acumulador del módulo acumulador de calor 5-7 cargado se puede mantener a una temperatura nominal predeterminada.

La Fig. 9 muestra el proceso de carga para el tercer módulo acumulador de calor 7 y el cuarto módulo acumulador de calor 8, estando los primeros dos módulos acumuladores de calor 5, 6 ya completamente cargados. Aquí tampoco tiene que preverse necesariamente una conducción de derivación para conducir el gas portador 3 más allá de los dos módulos acumuladores de calor 5, 6 que ya están completamente cargados. La conducción de las corrientes de gas portador tiene lugar con la ayuda de válvulas adecuadas, que preferiblemente pueden regularse, en particular en función de una temperatura medida del gas portador antes de que entre en el dispositivo de transferencia de calor 10.

Las Fig. 10 y 11 muestran la descarga de la serie de acumuladores de calor 4 a modo de ejemplo y esquemáticamente, mostrando la Fig. 10 la descarga del último módulo acumulador de calor 8 de la serie de acumuladores de calor y la Fig. 11 la descarga de los dos últimos módulos acumuladores de calor 7, 8. Durante el proceso de descarga, un gas portador 3 más frío fluye a través de la serie de acumuladores de calor 4 comenzando con el último módulo acumulador de calor 8 y con ello el gas portador 3 calentado se alimenta a un consumidor 18 representado esquemáticamente. Para medir la temperatura del gas portador 3 caliente que se dirige al consumidor 18 está previsto otro dispositivo medidor de la temperatura 17. La temperatura del gas portador 3 caliente se puede controlar y/o regular a través de válvulas reguladoras 16 que predefinen los caudales volumétricos del gas portador 3 de los distintos módulos acumuladores de calor 7, 8. El proceso de descarga puede tener lugar básicamente como se describe en el documento DE 10 2014 017 346 A1.

El aprovechamiento del gas portador 3 calentado durante la descarga se puede prever en un proceso de generación de vapor, en particular en combinación con un proceso de expansión de gas, para generar electricidad y/o el gas portador 3 caliente obtenido durante un proceso de descarga se puede emplear para generar vapor de proceso y/o calefacción urbana y/o para acoplar calor en un proceso de precalentamiento.

Como se desprende por lo demás de las Fig. 6 a 9, está prevista una mezcladura del gas portador 3 con gas portador 3 caliente procedente del calentador de gas 2 si el gas portador 3 cae por debajo de una temperatura de carga mínima establecida para un módulo acumulador de calor 6, 7, 8 posterior y para la carga del siguiente módulo acumulador de calor 6 (Fig. 6), 7 (Fig. 7), 8 (Fig. 8) ya no se puede aprovechar y en su lugar se alimentan al compresor 6 en circuito a través de los dispositivos de transferencia de calor 10, 13, allí se comprime y luego se devuelve al calentador de gas 2. Según la Fig. 9, el gas portador 3 sale del último módulo acumulador de calor 8 de la serie de acumuladores de calor 4 con una temperatura del gas portador que corresponde preferiblemente a la temperatura de carga mínima o también puede ser superior o inferior a ésta. Mediante los dispositivos de transferencia de calor 10, 13 se asegura en cualquier caso que el gas portador 3 esté presente en la entrada del compresor después del enfriamiento a la temperatura nominal. Si, por el contrario, la temperatura del gas portador está a un nivel de temperatura por debajo de la temperatura de carga mínima cuando sale del último módulo acumulador de calor 8 de la serie de acumuladores de calor 4, se puede establecer una temperatura del gas portador más alta y constante antes de entrar en el dispositivo de transferencia de calor 10, en particular la temperatura de carga mínima, suministrando gas portador caliente 3 desde el calentador de gas 2. Esto se aplica de manera correspondiente para los otros módulos acumuladores de calor 5, 6, 7.

Lo mismo se aplica a la mezcladura del gas portador 3 de uno de los módulos intercambiadores de calor 5, 6, 7 aguas arriba, si la temperatura del gas portador está por debajo de la temperatura de carga mínima del respectivo módulo intercambiador de calor 6, 7, 8 siguiente de la serie de intercambiadores de calor 4 y es necesaria una recirculación del gas portador 3 para un calentamiento renovado. Mediante la mezcladura con gas portador 3 caliente procedente del calentador de gas 2 se puede calentar en cada caso el gas portador 3 que sale de un módulo intercambiador de calor 5 a 8 y se puede ajustar una temperatura del gas portador predefinida, en particular constante, antes de que entre en el dispositivo de transferencia de calor 10.

Las Fig. 12 a 14 muestran, sobre la base de los resultados de la simulación, que mediante el enfriamiento del gas portador 3 descrito anteriormente durante la recirculación después de que sale de la serie de acumuladores de calor 4 y antes de que entre en el compresor 6 en el dispositivo de transferencia de calor 10, en particular por transferencia de calor al gas portador comprimido 3 devuelto al calentador de gas 2, el aprovechamiento energético de la serie de acumuladores de

calor puede aumentar significativamente, lo que está asociado con una reducción correspondiente de las masas de acumuladores requeridas.

5 La Fig. 12 muestra el perfil de temperatura de una disposición acumuladora de calor con cinco acumuladores de calor, en donde el gas portador no se enfría antes de entrar en el compresor. La diferencia de temperatura máxima del gas portador, referida al final de la carga o bien a la salida de la serie de acumuladores de calor y la entrada en el compresor es de 150 °C. Se puede determinar un aprovechamiento del 35%. El gas portador alcanza una temperatura de 760 °C cuando se descarga la serie de acumuladores de calor para fines de consumo.

10 La Fig. 13 muestra el perfil de temperatura de una disposición acumuladora de calor con cinco acumuladores, en la que el gas portador se enfría en un dispositivo de transferencia de calor antes de entrar en el compresor mediante transferencia de calor al gas portador comprimido durante la recirculación como se describe anteriormente. Cuando se carga la serie de acumuladores de calor, el gas portador sale a una temperatura de 500 °C y se alimenta al dispositivo de transferencia de calor a este nivel de temperatura. La temperatura de entrada del compresor es constante, por ejemplo 50 °C. Se puede determinar un aprovechamiento del 84%. La temperatura del gas portador durante la descarga es de 760 °C.

15 La Fig. 14 muestra el perfil de temperatura de una disposición acumuladora de calor con cinco acumuladores, en donde el gas portador es enfriado nuevamente en la recirculación en un dispositivo de transferencia de calor antes de entrar en el compresor por transferencia de calor al gas portador comprimido devuelto al calentador de gas. La temperatura de salida del gas portador de la serie de acumuladores de calor es de 500 °C. El gas portador se suministra al dispositivo de transferencia de calor a este nivel de temperatura. Por ejemplo, la temperatura del compresor es constante a 50 °C. Se puede determinar un aprovechamiento del 76%. La temperatura del gas portador durante la descarga puede estar en torno a 950 °C, pudiendo mantenerse un alto nivel de temperatura hacia el consumidor durante un largo periodo de tiempo.

Lista de símbolos de referencia:

1	disposición acumuladora de calor	11	circuito refrigerante
2	calentador de gas	12	corriente de calor
3	gas portador	13	enfriador
4	serie de acumuladores de calor	14	válvula
5	módulo acumulador de calor	15	dispositivo de medición de la temperatura
6	módulo de almacenamiento térmico	16	válvula
7	módulo de almacenamiento térmico	17	dispositivo de medición de la temperatura
8	módulo de almacenamiento térmico	18	consumidor
9	disposición acumuladora de calor		
10	dispositivo de transferencia de calor		

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar una disposición acumuladora de calor (9) regenerativa, en donde la disposición acumuladora de calor (9) presenta al menos un calentador de gas (2) para calentar un gas portador (3), en particular para calentar aire, una serie de acumuladores de calor (4) con una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5) y al menos un compresor (6), en donde durante un ciclo de carga de al menos un módulo acumulador de calor (5 – 8), preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 - 8) siguientes de la serie de acumuladores de calor (4), fluye a través gas portador (3) calentado en el calentador de gas (2) y se carga térmicamente mediante la transferencia de calor del gas portador (3) calentado a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor (5 – 8) y el gas portador (3) se enfría durante la carga, en donde el gas portador (3) enfriado, cuando la temperatura del gas portador después de la carga de un módulo acumulador de calor (5 – 7) alcanza o supera una temperatura de carga mínima de un módulo acumulador de calor (6 – 8) que sigue en la serie de acumuladores de calor (4), es aportado al módulo acumulador de calor (6 – 8) siguiente para la carga, y en donde se prevé una recirculación del gas portador (3) si la temperatura del gas portador cae por debajo de la temperatura de carga mínima del módulo acumulador de calor (6 – 8) siguiente, y el gas portador (3) se aporta al compresor (6) durante la recirculación y, después de la compresión, se devuelve al calentador de gas (2) para calentar nuevamente el gas portador (3), caracterizado por que se selecciona una temperatura de carga mínima por encima de una temperatura nominal permisible en la entrada del compresor, y por que el gas portador (3) se enfría durante la recirculación antes de entrar en el compresor (6) si la temperatura del gas portador está por encima de la temperatura nominal permitida en la entrada del compresor.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la temperatura de carga mínima es superior a 250 °C, preferiblemente superior a 350 °C, más preferiblemente entre 350 °C y 700 °C, de manera particularmente preferida entre 400 °C y 600 °C.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde se prevé al menos un dispositivo de transferencia de calor (10) en el camino del flujo del gas portador (3) detrás de la salida de la serie de acumuladores de calor (4) y delante del compresor (6) para enfriar el gas portador (3) durante la recirculación, en particular por transferencia de calor al gas portador (3) comprimido devuelto al calentador de gas (2).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas portador (3) se enfría a una temperatura superior o igual a 60 °C, preferiblemente de 80 °C a 100 °C, en particular mediante transferencia de calor al gas portador (3) comprimido devuelto al calentador de gas (2).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 o 4, en donde en el camino del flujo del gas portador (3) se prevé al menos un refrigerador (13) detrás del dispositivo de transferencia de calor (10) y delante del compresor (6) para enfriar el gas portador (3) a la temperatura nominal en la entrada del compresor.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura nominal en la entrada del compresor es inferior a 70 °C, preferiblemente inferior a 60 °C, más preferiblemente 50 °C o inferior.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas portador (3) se mezcla con gas portador (3) caliente del calentador de gas (2) durante la recirculación después de salir de un módulo acumulador de calor (5 - 8) y antes de entrar en el compresor (6) para controlar la temperatura del gas portador, en particular para mantenerla constante.
8. Disposición acumuladora de calor (9), diseñada y/o configurada para ser hecha funcionar según un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, con al menos un calentador de gas (2) para calentar un gas portador (3), en particular aire, con al menos una serie de acumuladores de calor (4) con una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 – 8) y con al menos un compresor (6), en la que al menos un módulo acumulador de calor (5 – 8), preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 – 8) siguientes de la serie de acumuladores de calor (4), puede fluir durante un ciclo de carga de gas portador (3) calentado en el calentador de gas (2) y puede cargarse térmicamente mediante la transferencia de calor del gas portador (3) calentado a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor (5 – 8), en donde durante el ciclo de carga se proporciona una recirculación del gas portador (3) y gas portador (3) enfriado durante la carga se puede aportar al compresor (6) y devolver al calentador de gas (2) a través del compresor (6) después fluir a través del al menos un módulo acumulador de calor (5 – 8), preferiblemente después de fluir a través de una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 – 8) siguientes de la serie de acumuladores de calor (4), caracterizada por que en el camino del flujo del gas portador (3) al menos un dispositivo de transferencia de calor (10, 13) dispuesto entre la serie de acumuladores de calor (4) y el compresor (6) está previsto en la recirculación y delante de la entrada en el compresor (6) para enfriar el gas portador (3).
9. Procedimiento para equilibrar picos de carga en la generación de energía eléctrica y/o en particular para la generación descentralizada de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del calor de gas portador (3) calentado para generar electricidad en una central termoeléctrica acumuladora y/o o para aprovechar el calor de gas portador (3) calentado para generar vapor de proceso y/o calefacción urbana y/o para acoplar calor en un proceso de precalentamiento, presentando la central termoeléctrica acumuladora una disposición acumuladora de calor (9)

regenerativa con al menos un calentador de gas (2), una serie de acumuladores de calor (4) con una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 - 8) y al menos un compresor (6), y la disposición acumuladora de calor (9) se puede hacer funcionar según un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en particular con una disposición acumuladora de calor (9) según la reivindicación 9, con las etapas de

- 5 - calentamiento de gas portador (3), en particular de aire caliente, en al menos un calentador de gas (2),

 - carga térmica de al menos un módulo acumulador de calor (5 - 8) de una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 - 8) de la central termoeléctrica acumuladora mediante la liberación de calor del gas portador (3) calentado en el calentador de gas (2) a un material acumulador de calor del módulo acumulador de calor (5 - 8),

10 - descarga térmica retardada en el tiempo de al menos un módulo acumulador de calor (5 - 8), preferiblemente una pluralidad de módulos acumuladores de calor (5 - 8), en donde al menos un módulo acumulador de calor (5 - 8) es atravesado por gas portador (3) más frío, en particular por aire frío, y el calor se transfiere desde el material acumulador de calor al gas portador (3) más frío para calentar el gas portador (3) y

 - aprovechamiento del gas portador (3) calentado durante la descarga del al menos un módulo acumulador de calor (5 - 8) para generar electricidad en un proceso de energía de vapor, en particular en combinación con un proceso de expansión de gas, y/o generar vapor de proceso y/o generar calefacción urbana y/o para el acoplamiento de calor en
15 un proceso de precalentamiento.

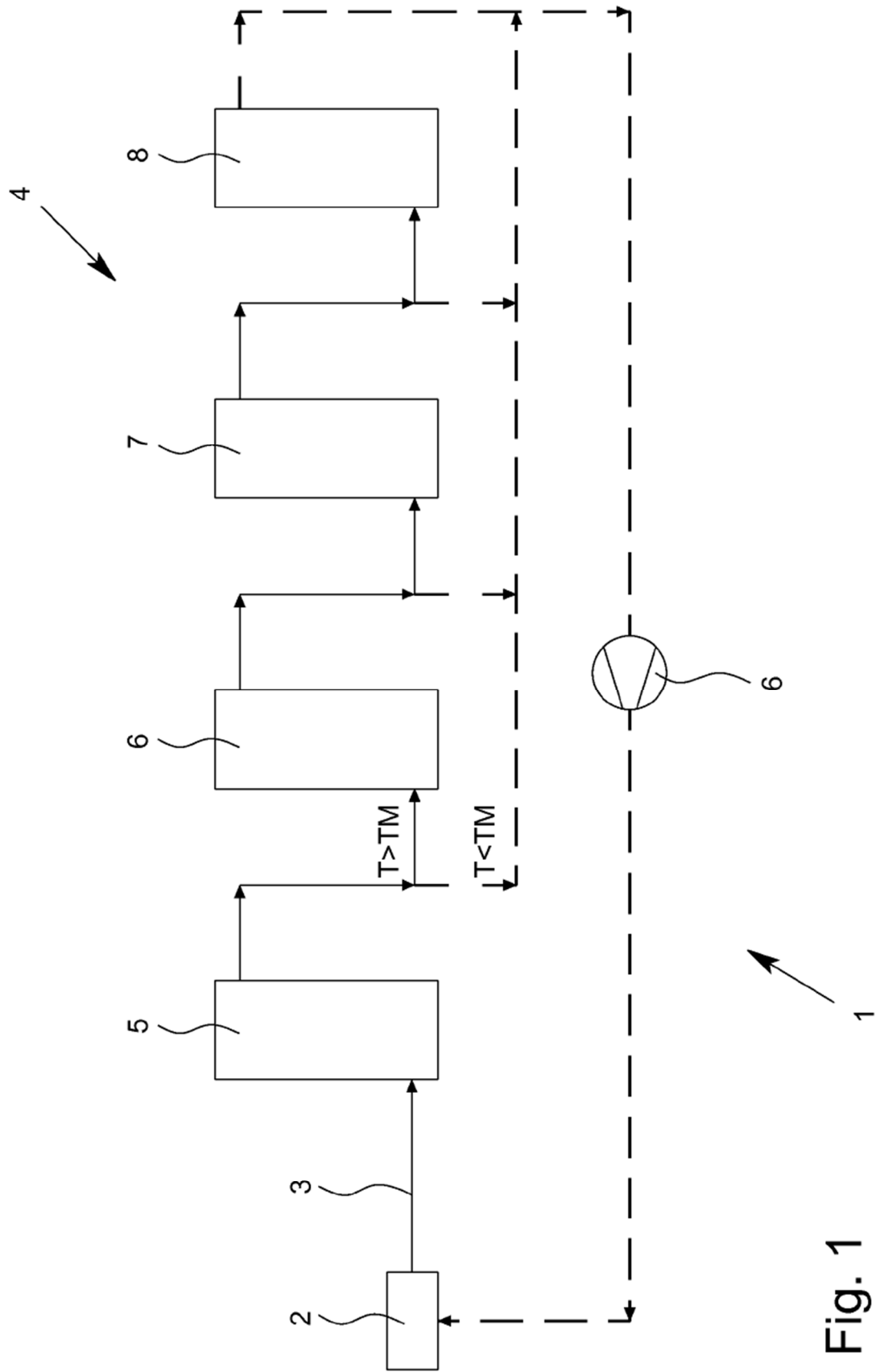


Fig. 1

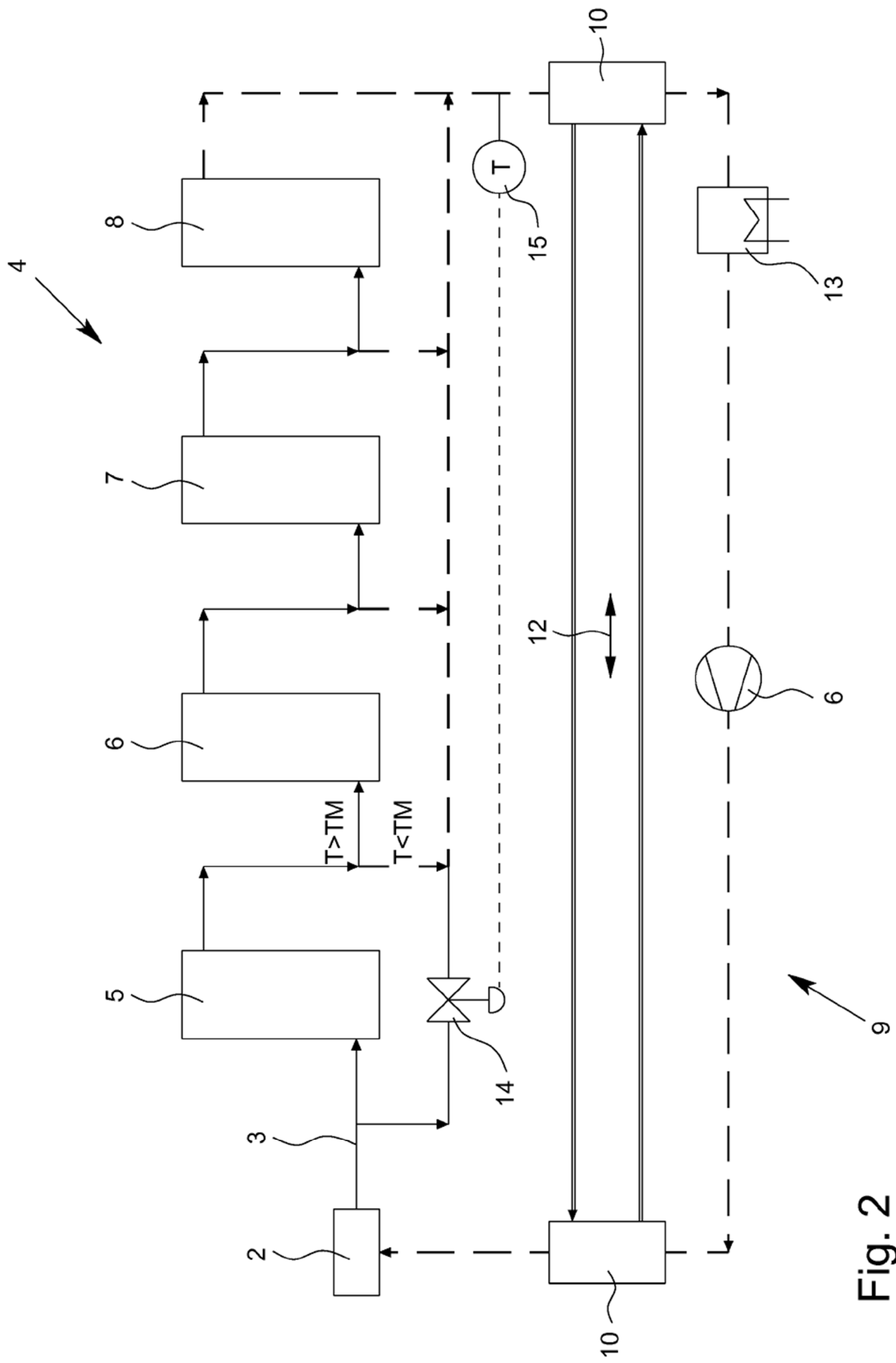


Fig. 2

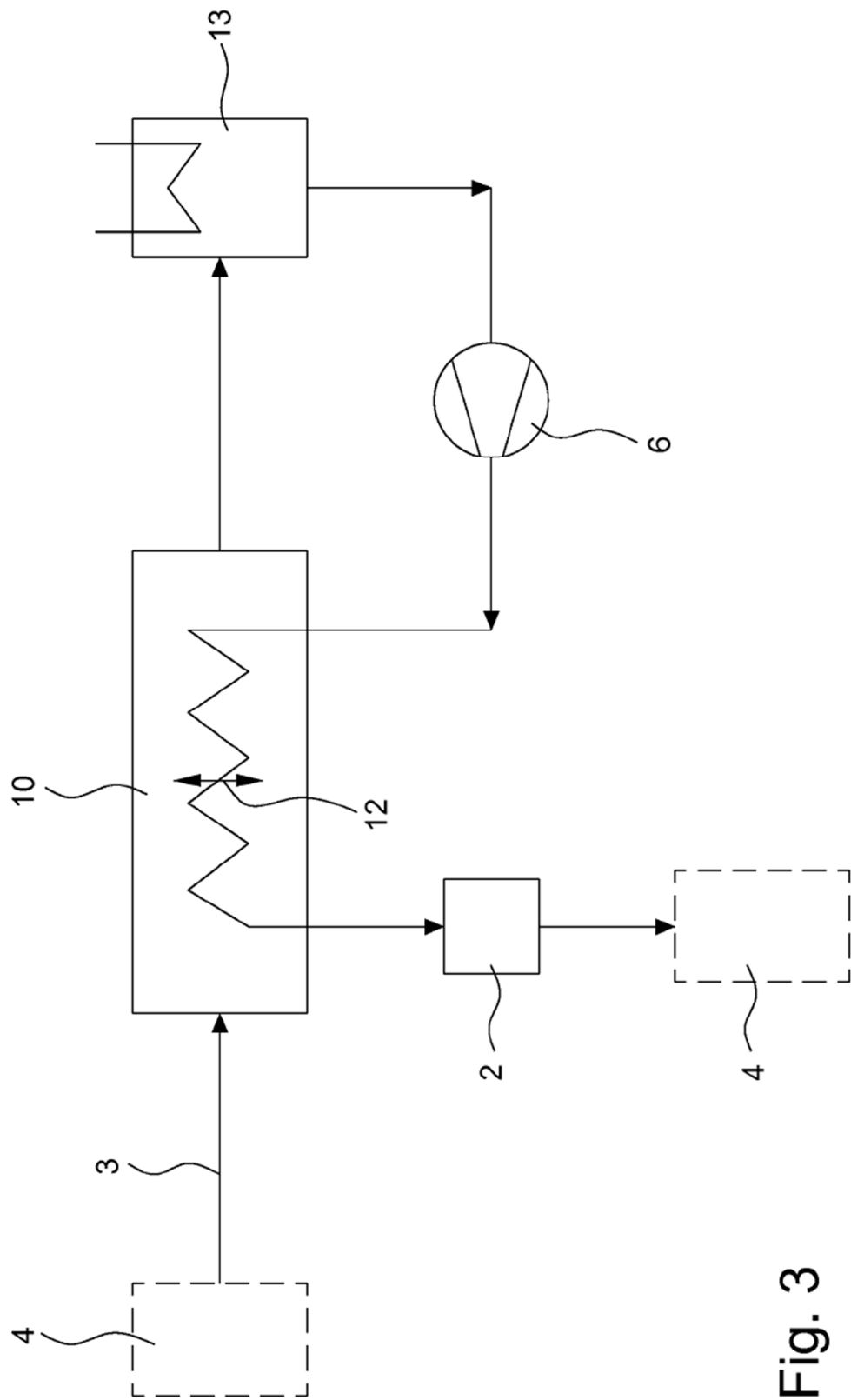


Fig. 3

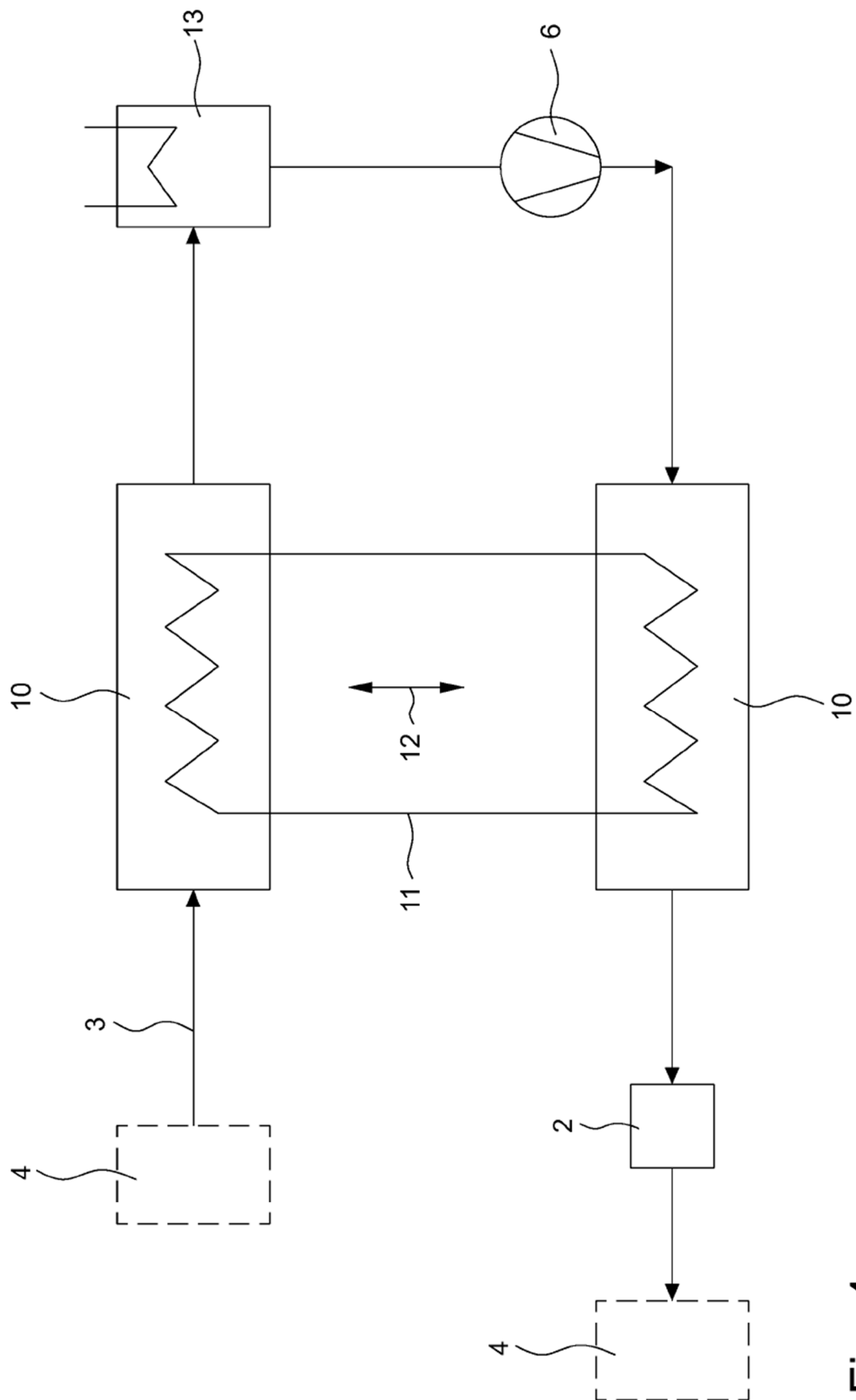


Fig. 4

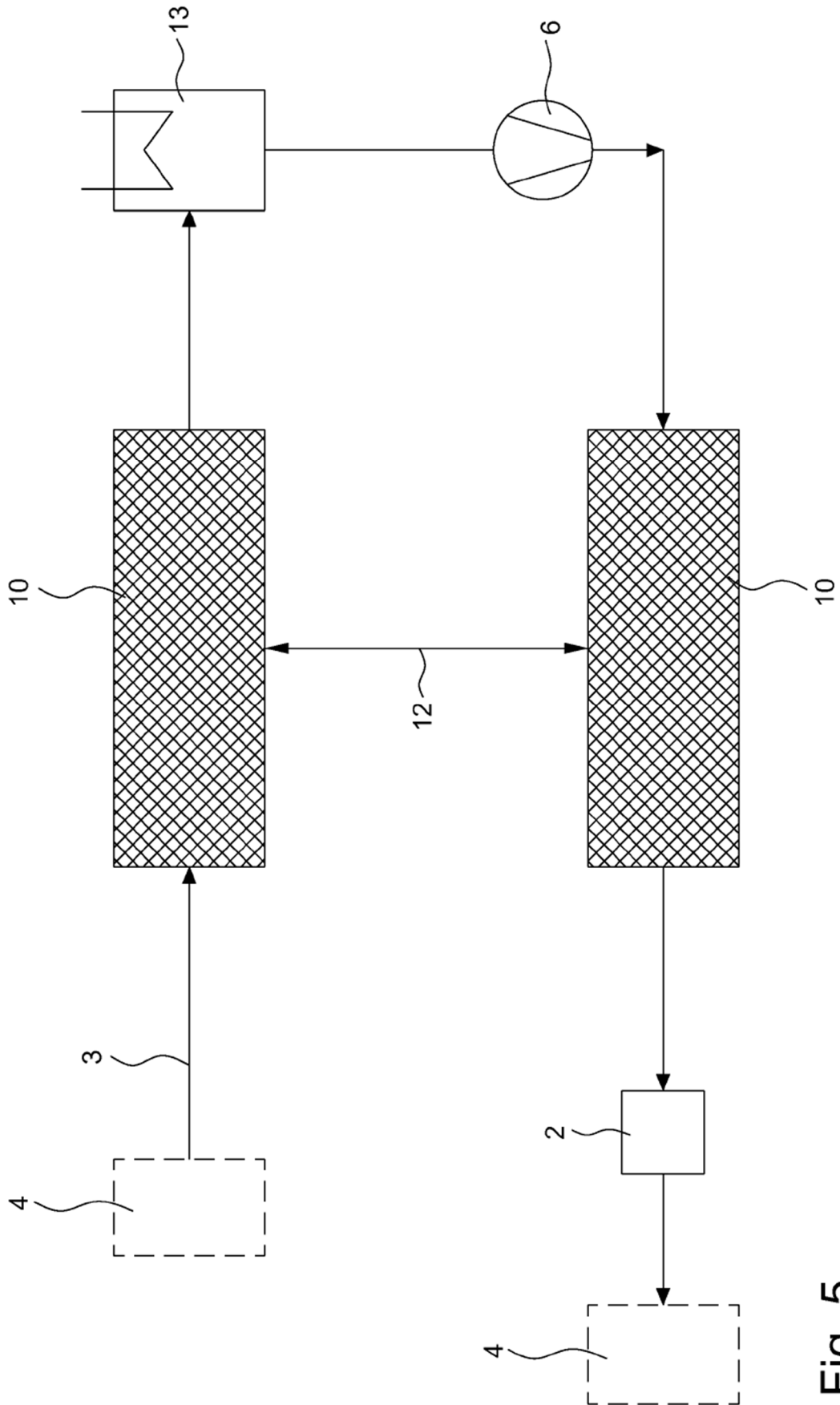
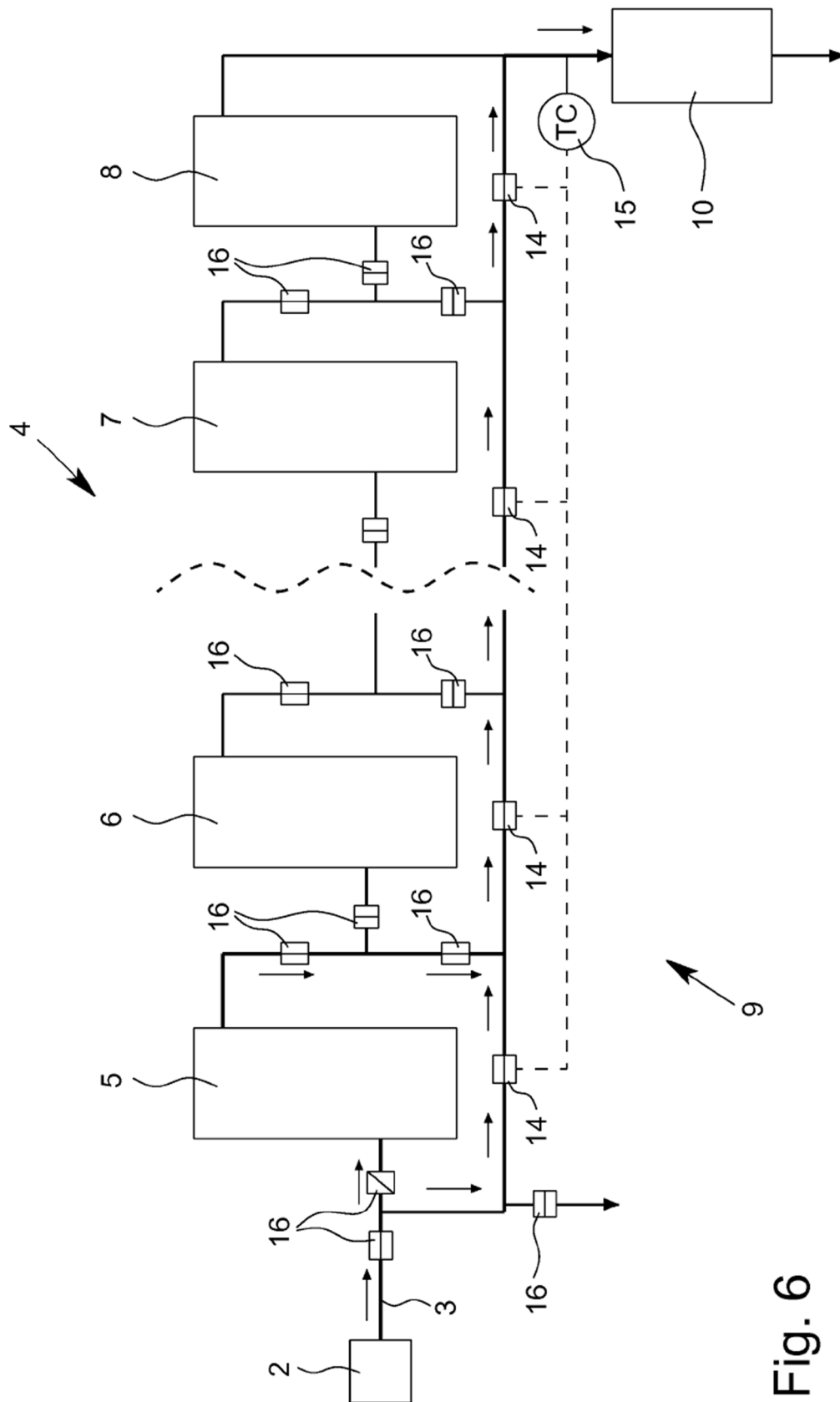


Fig. 5



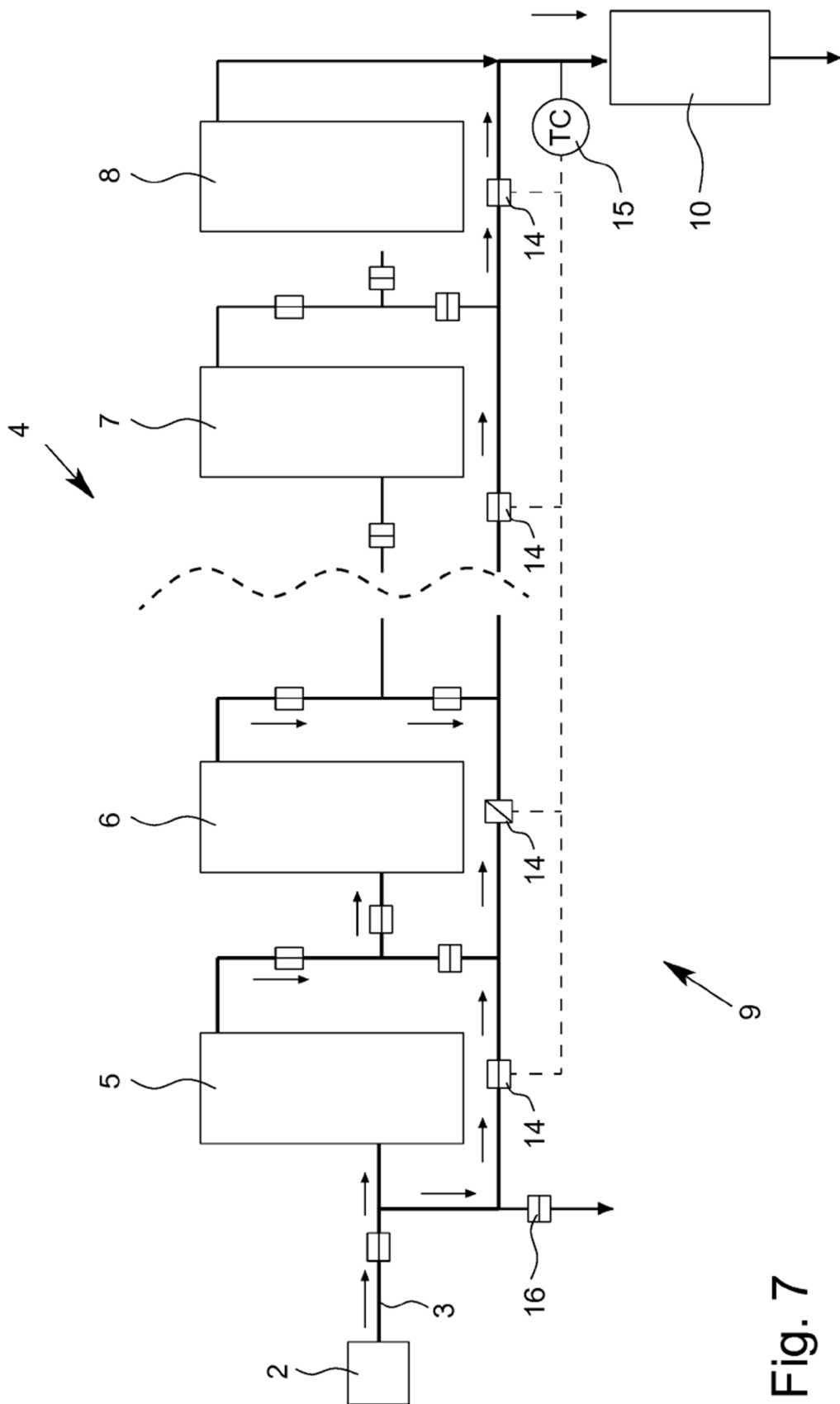


Fig. 7

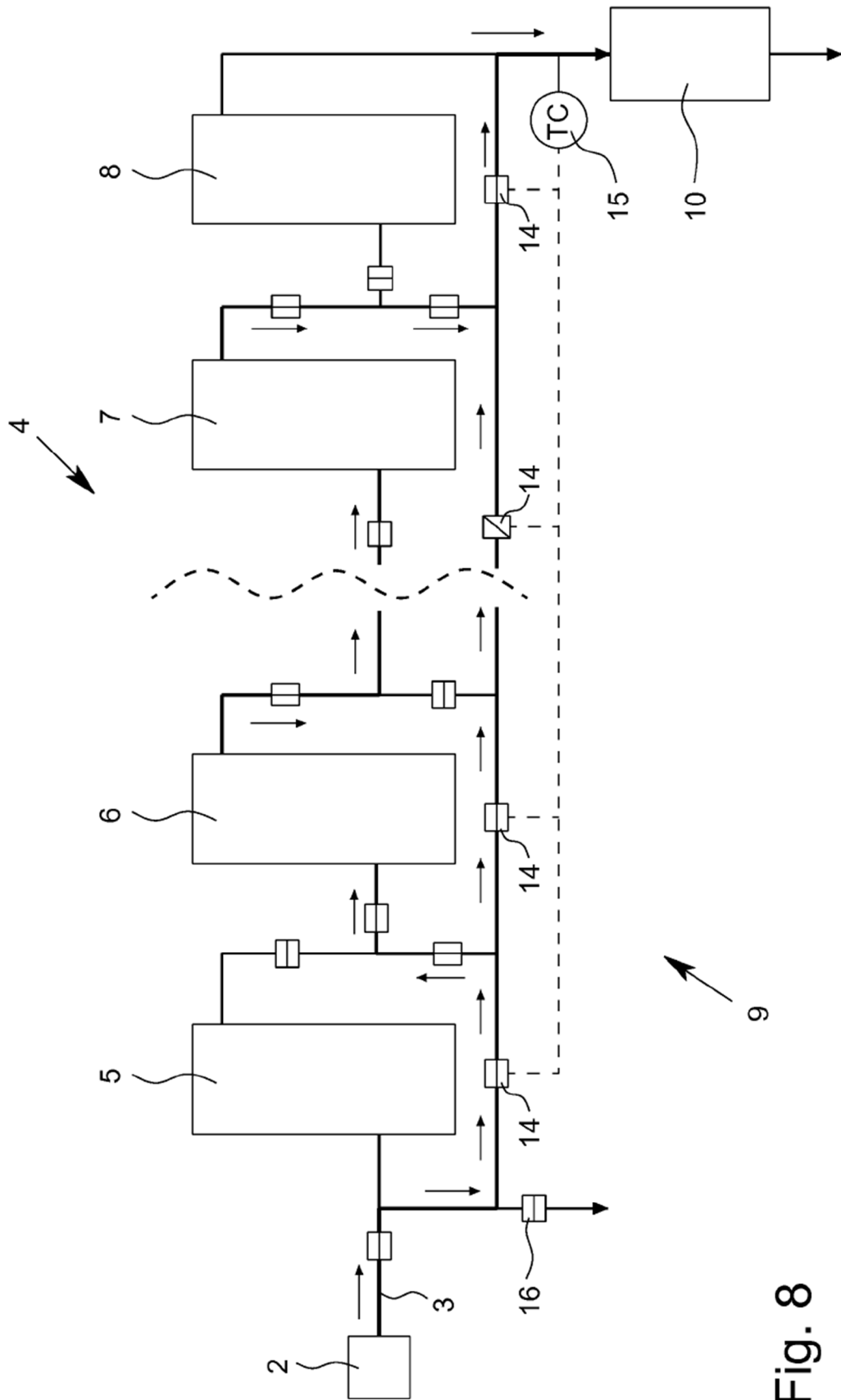


Fig. 8

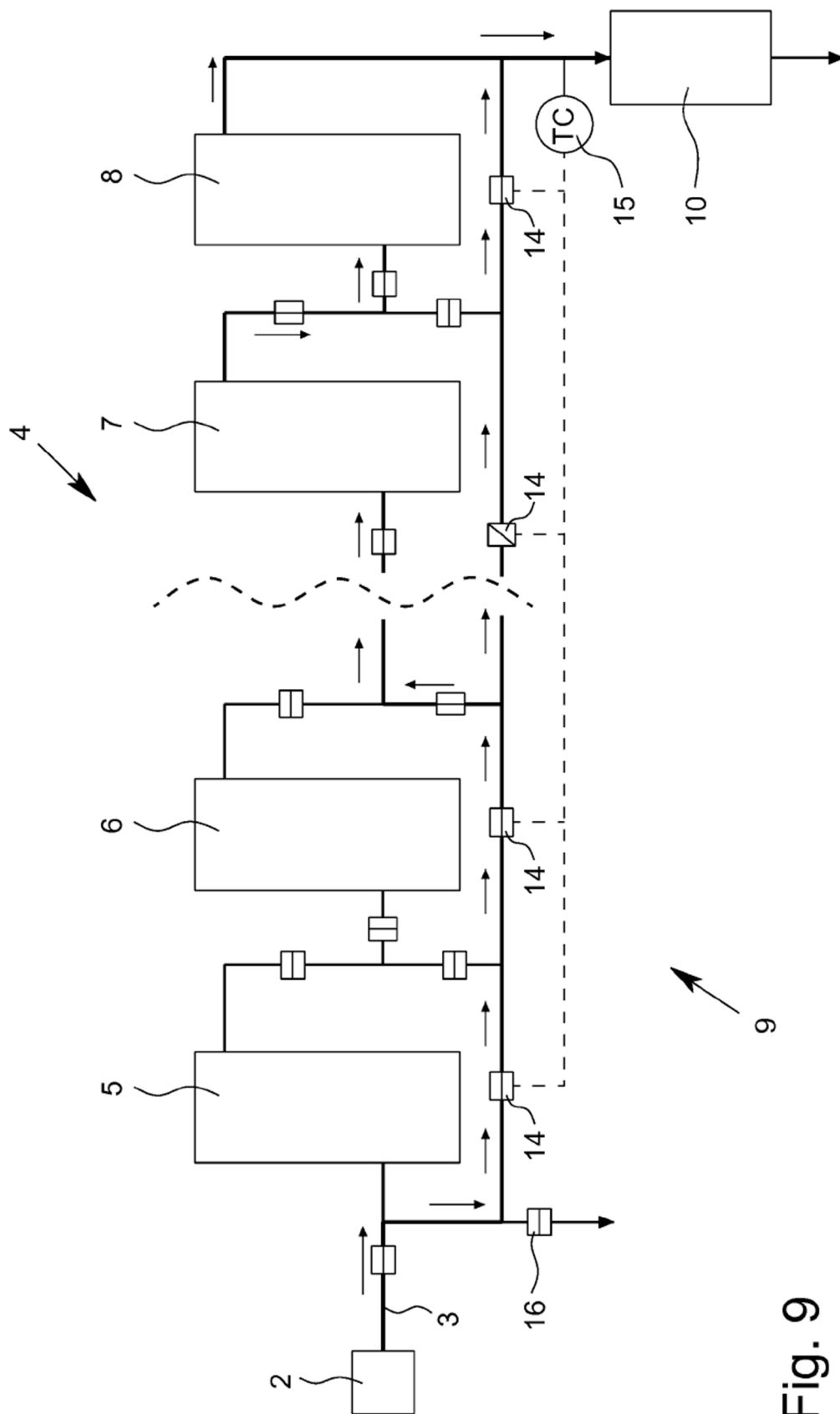


Fig. 9

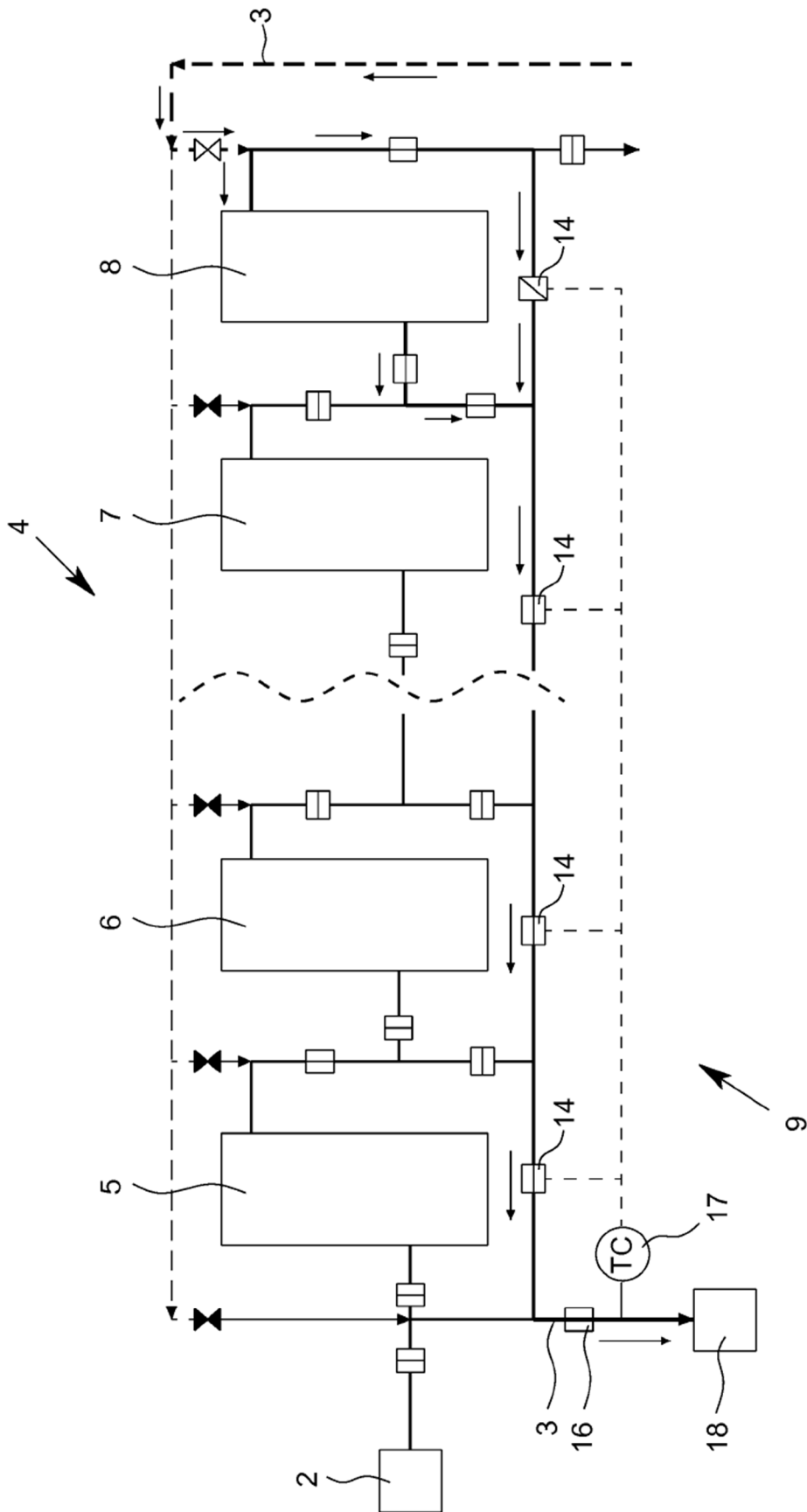


Fig. 10

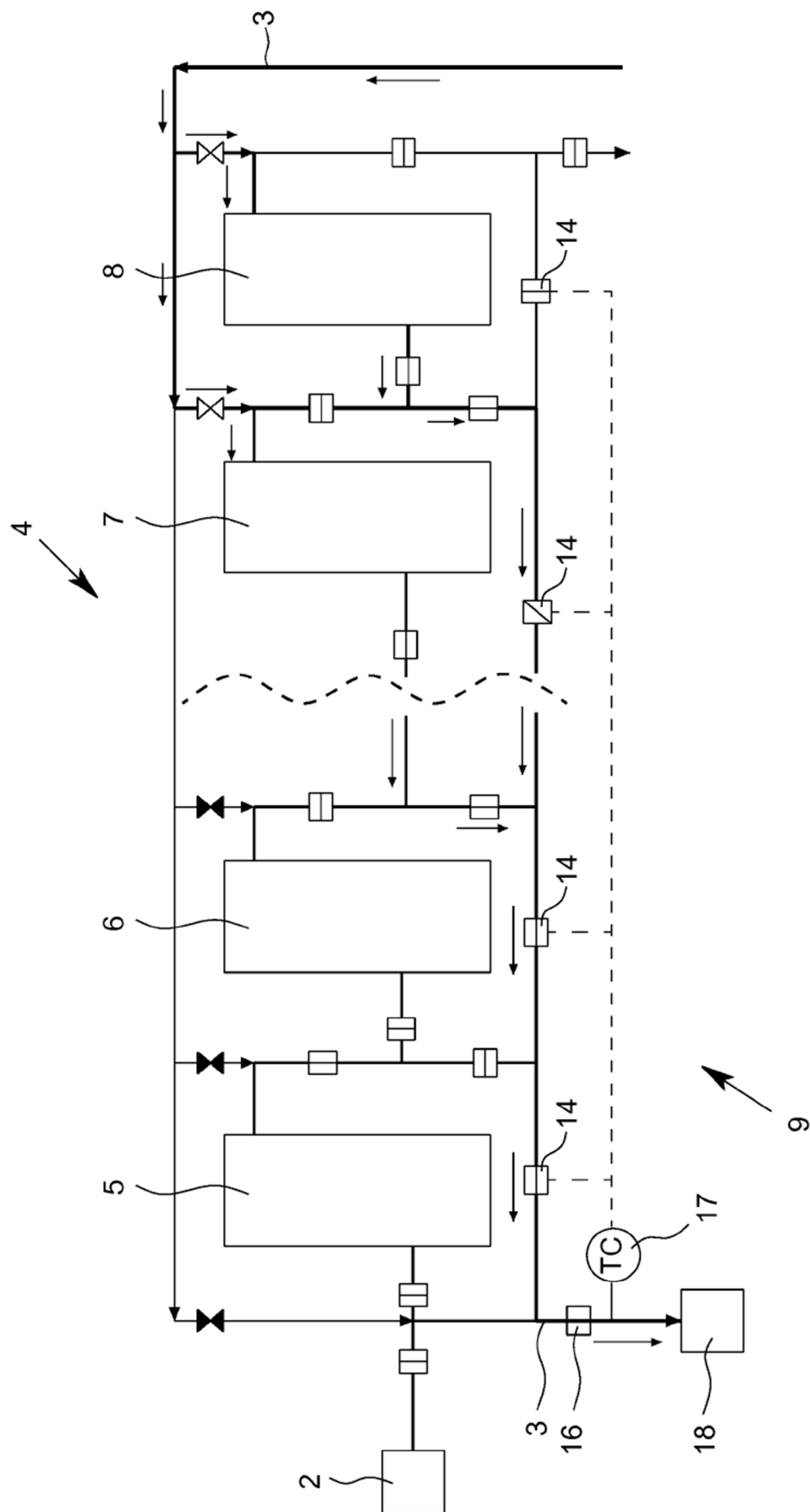
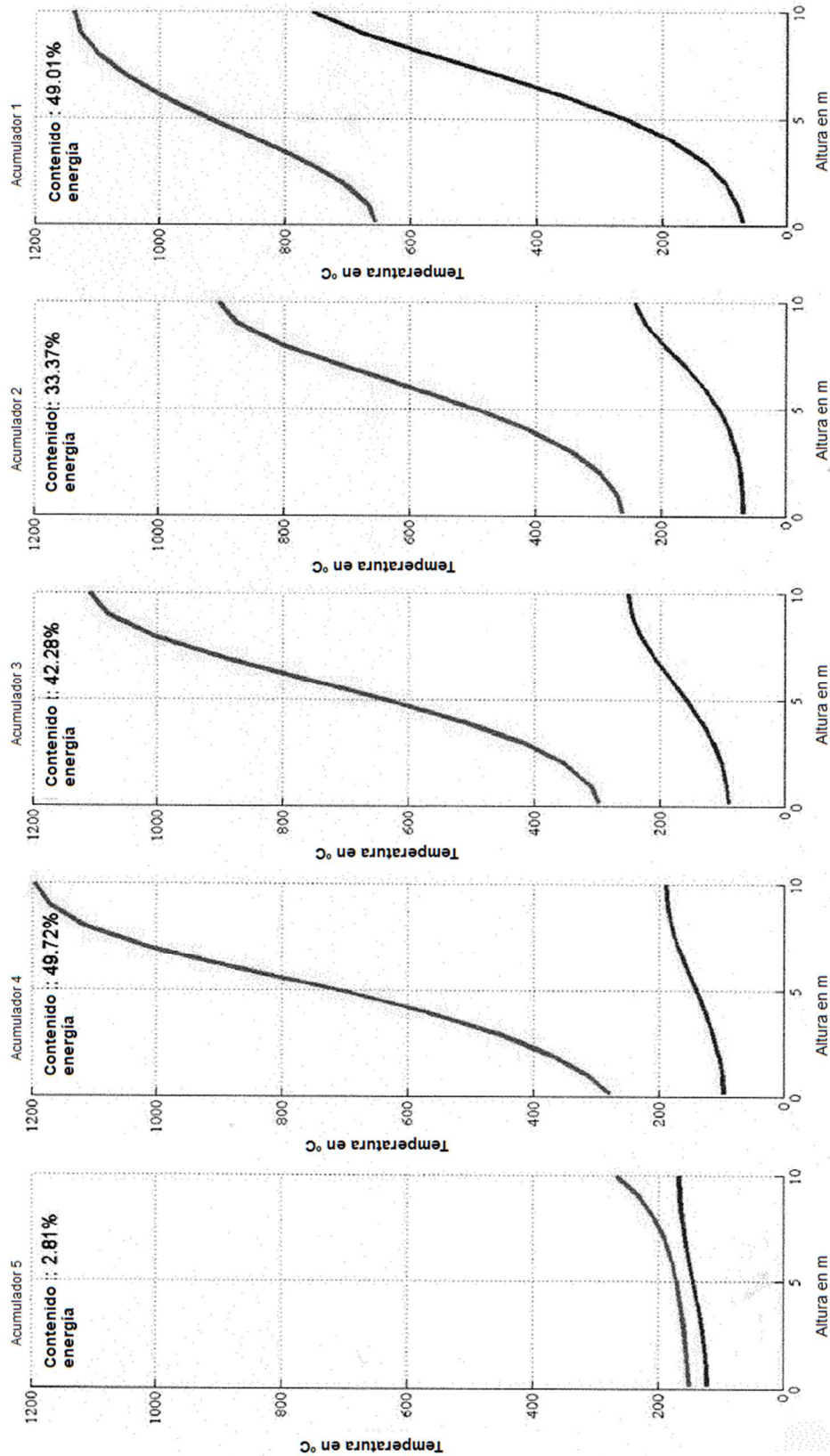


Fig. 11

5 acumuladores, 3 bares, Al₂O₃, diámetro de la partícula: 20 mm, Cp/Lambda son variables, caudal másico específico: 1,5 kg/m²s, temperatura de entrada al compresor: 50°C, temperatura de salida del gas portador durante la descarga: 760°C



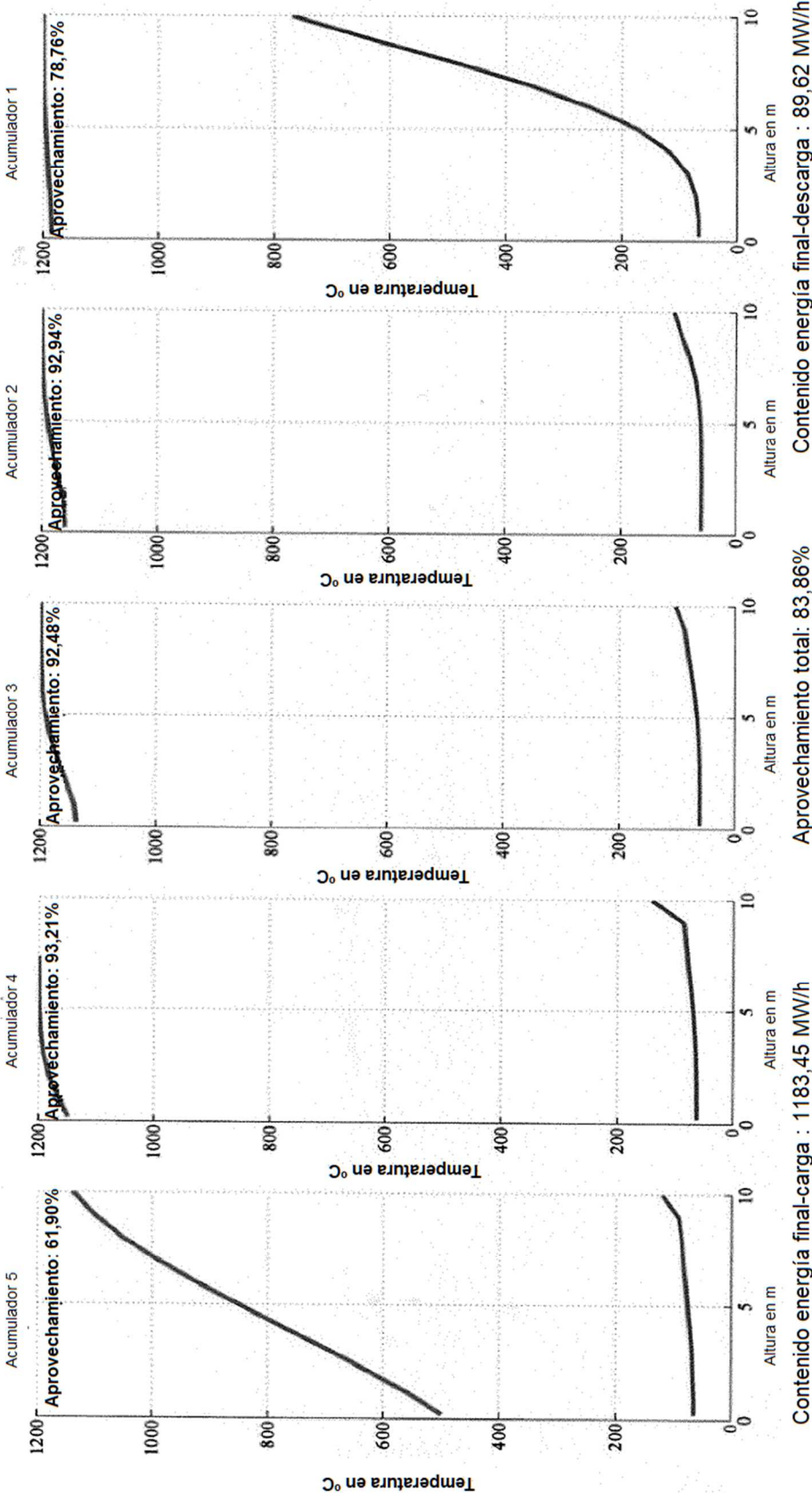
Ciclo: 3
Tiempo de carga: 467 min
Tiempo de descarga: 628 min

Contenido total de energía: 35,44%

Conexión:
Carga: 2 en serie
Descarga: 2 paralela

Fig. 12

5 acumuladores, 7 bares, Al2O3, diámetro de la partícula: 15 mm, Cp/Lambda son variables, caudal másico específico: 4 kg/m2s, temperatura de entrada al compresor: 50°C, temperatura final del gas portador en la carga: 500°C, temperatura de salida del gas portador durante la descarga: 760°C

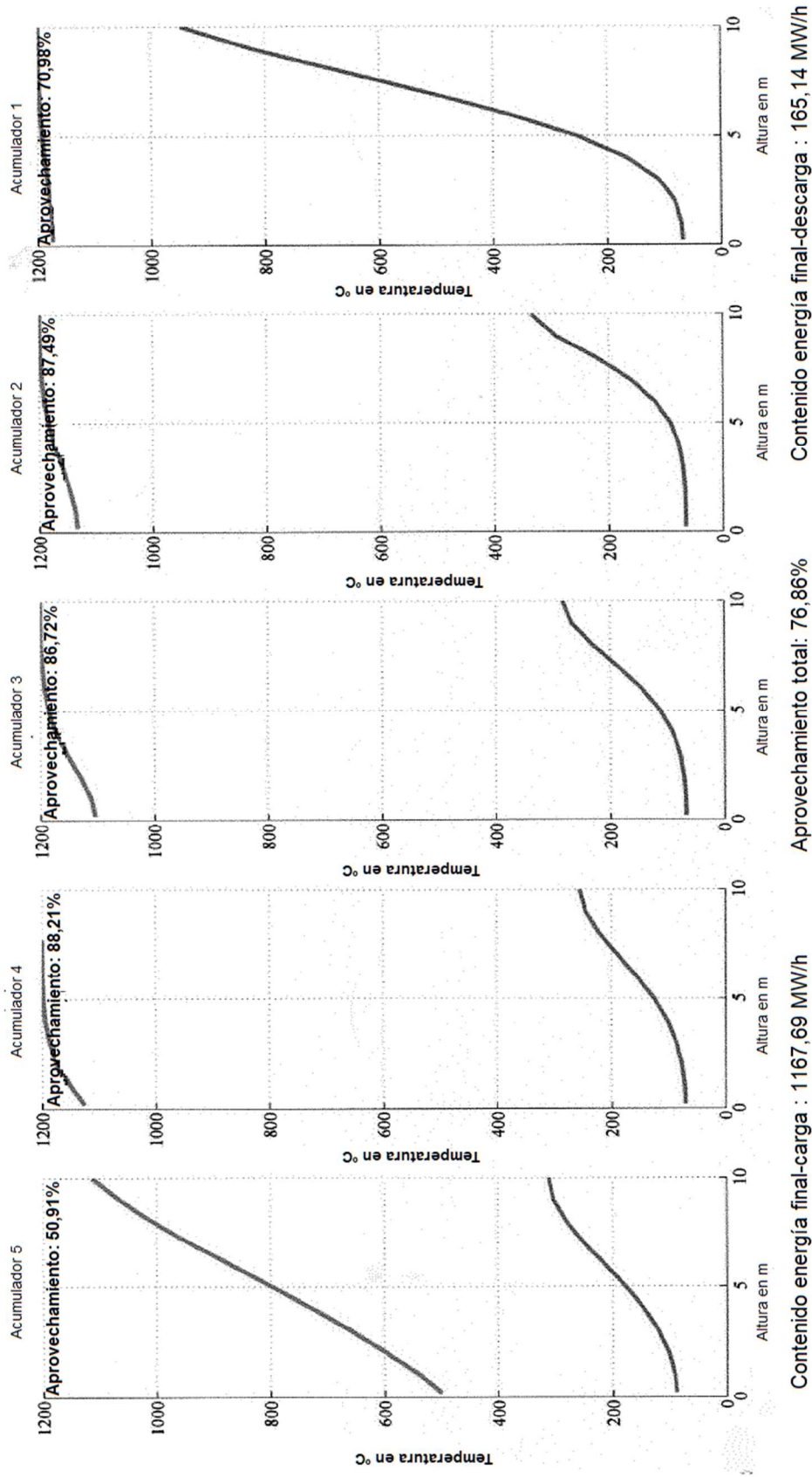


Ciclo: 6
Tiempo de carga: 452 min
Tiempo de descarga: 684 min

Fig. 13

Conexión:
Carga: 2 en serie
Descarga: 2 paralela

5 acumuladores, 7 bares, Al₂O₃, diámetro de la partícula: 15 mm, Cp/Lambda son variables, caudal másico específico: 4 kg/m²s, temperatura de entrada al compresor: 50°C, temperatura final del gas portador en la carga: 500°C, temperatura de salida del gas portador durante la descarga: 950°C



Ciclo: 6
Tiempo de carga: 427 min
Tiempo de descarga: 483 min

Fig. 14

Conexión:
Carga: 2 en serie
Descarga: 2 paralela