

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 975 156**

51 Int. Cl.:

**F28D 20/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.08.2018 PCT/IB2018/055949**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2019 WO19030674**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2018 E 18759415 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2024 EP 3665427**

54 Título: **Dispositivo de almacenamiento para energía térmica**

30 Prioridad:

**08.08.2017 IT 201700091905**

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

**03.07.2024**

73 Titular/es:

**DAVID S.R.L. (100.0%)  
Corso Umberto I 211  
93100 Caltanissetta, IT**

72 Inventor/es:

**GATTUSO, CALOGERO;  
SANTORO, FABIO;  
TUMMINELLI, GIANLUCA y  
TUZZOLINO, GAETANO**

74 Agente/Representante:

**VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-VILLA, Concepción**

**ES 2 975 156 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**

Dispositivo de almacenamiento para energía térmica

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a dispositivos de almacenamiento para energía térmica, en particular a dispositivos de almacenamiento estático para energía térmica.

**10 Técnica anterior**

El estado de la técnica ofrece numerosos ejemplos de dispositivos de almacenamiento para energía térmica que usan, como material de almacenamiento, fluidos tales como agua, aceite diatérmico o sales fundidas, y que normalmente incluyen componentes mecánicos móviles para desplazar y generalmente gestionar los fluidos de almacenamiento, que pueden servir como fluidos termovectores de energía. Los documentos de antecedentes en este campo incluyen, entre otros, los documentos US 2016/097603 A1 y WO 2011/055307 A2.

Uno de los principales problemas de tales dispositivos reside en la necesidad de un mantenimiento relativamente intenso para mantener eficiente el dispositivo, la posibilidad de aparición de incrustaciones de cal y la posible necesidad de adoptar calentadores auxiliares para iniciar operaciones con el objetivo de reducir la viscosidad de los fluidos. Además, los dispositivos de almacenamiento de calor basados en fluidos de almacenamiento de calor son susceptibles de tener un rendimiento deficiente debido a límites inherentes no eliminables. Un dispositivo de almacenamiento para energía térmica comprende generalmente un conducto de flujo para un fluido de trabajo que está en relación de intercambio térmico con una unidad de termoacumulador.

Si la unidad de termoacumulador usa materiales de almacenamiento de fluido, cuando el material de almacenamiento libera la energía térmica almacenada, está sujeto a los fenómenos de degradación de la calidad de la energía térmica junto con el aumento de entropía debido al retromezclado, lo que provoca que disminuya la temperatura de almacenamiento promedio. Por tanto, el resultado es la degradación de la parte restante de la energía térmica almacenada y generalmente de la calidad del calor transmitido al fluido de trabajo, que normalmente es un fluido requerido por un aparato.

Por otro lado, los dispositivos de almacenamiento (estático) para energía térmica en los que el material de almacenamiento es de tipo sólido incluyen, por ejemplo, sistemas de almacenamiento basados en hormigón para plantas termodinámicas.

El material de almacenamiento consiste en un bloque de hormigón proporcionado mediante fundición, en el cual están incorporados los tubos de servicio/procedimiento, que pasan a través de todo el bloque y con respecto a uno o más colectores instalados en los extremos.

Aunque no requiere un mantenimiento y un desmontaje frecuentes, un sistema de este tipo está limitado por el rendimiento termodinámico deficiente del material de almacenamiento, en particular por una baja conductividad térmica que conduce a bajas velocidades de transferencia de energía térmica (largos tiempos de carga y descarga) y a una degradación, aunque lenta, de la calidad de la energía almacenada debido a la continuidad térmica entre las diversas regiones de la única y gran masa de hormigón.

Además, debe observarse que la conductividad térmica extremadamente baja del hormigón se traduce en la imposibilidad de gestionar altas potencias térmicas, es decir, grandes cantidades de energía transferidas en la unidad de tiempo, sin tener que usar superficies de intercambio extensas ni grandes volúmenes de almacenamiento.

Esto significa que no es posible, por ejemplo, forzar los tiempos de carga sometiendo un bloque de hormigón a altas temperaturas y/o altas velocidades de flujo de fluido de carga, sin dañar irreversiblemente el sistema de almacenamiento ni alargar los tiempos de descarga dado que, debido a la baja conductividad del material, la caída térmica se localiza casi exclusivamente en el grueso del material de almacenamiento y la fuerza motriz real para la transferencia de calor hacia el fluido de descarga es extremadamente baja (alcanzando rápidamente una condición de "saturación" pseudoestacionaria en una región más o menos extensa de material de almacenamiento que rodea a la unidad de termovector).

Entonces, existe el problema relacionado con la limitación de la temperatura manejable máxima, dado que el hormigón ya está sujeto a degradación a temperaturas de aproximadamente 500 °C, mientras que pueden usarse materiales refractarios tales como el grafito hasta su temperatura de fusión (por encima de 3000 °C), siempre que no haya contacto con agentes oxidantes.

Por último, tanto la presencia de piezas mecánicas móviles como el uso de fluidos de almacenamiento en los sistemas de almacenamiento para energía térmica del tipo conocido afectan en gran medida a la flexibilidad del sistema dado que el rendimiento deficiente durante la etapa de descarga hace que las conexiones en serie o en

paralelo sean sustancialmente poco prácticas al tiempo que mantiene un nivel aceptable de eficiencia energética, al igual que se convierte en un reto garantizar un caudal de fluido dado a temperatura constante para un aparato durante un intervalo de tiempo dado sin que esto implique (en otras partes) un despilfarro de energía mayor que la recuperación de energía que conduciría a aprovechar el caudal de fluido.

5

### **Objeto de la invención**

El objeto de la presente invención es superar los inconvenientes técnicos mencionados anteriormente. En particular, el objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo de almacenamiento para energía térmica que prevea un bajo mantenimiento, una alta eficiencia energética tanto durante la etapa de carga como durante la etapa de descarga, tiempos de carga y descarga controlables, una alta razón de potencia de intercambio/masa del sistema, un caudal constante para la dispensación al usuario a una temperatura constante (o, de manera equivalente, a una potencia térmica constante) y que sea adecuado para conexiones en serie o en paralelo de una manera extremadamente flexible y constituya generalmente un conjunto de almacenamiento térmico modular al tiempo que minimice los fenómenos de retromezclado y aumento de entropía.

15

### **Sumario de la invención**

La presente invención es un dispositivo de almacenamiento térmico tal como se define en la reivindicación 1. Las reivindicaciones forman una parte integrante de la divulgación técnica proporcionada en el presente documento con respecto a la invención.

20

Se definen realizaciones adicionales preferidas de la invención en las reivindicaciones dependientes 2-6.

### **Breve descripción de las figuras**

25

Ahora, se describirá la invención con referencia a las figuras adjuntas, proporcionadas meramente a modo de ejemplo no limitativo, en las que:

- 30 – la figura 1 es una vista en perspectiva parcialmente en despiece ordenado de un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según una primera realización de la invención,
- las figuras 2 y 3 incluyen, cada una, una porción A y una porción B que ilustran, respectivamente, una vista en perspectiva montada y una vista en perspectiva en despiece ordenado de una unidad de termovector para un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según la invención, donde la figura 2 y la figura 3 ilustran dos variantes de la unidad de termovector,
- 35 – las figuras 4 y 5 son dos vistas en perspectiva, en la condición montada, de dispositivos de almacenamiento para energía térmica que usan unidades de termovector, respectivamente, según las figuras 2 y 3,
- 40 – la figura 6 incluye una porción A y una porción B que representan, respectivamente, una vista en planta desde arriba y desde abajo de un conjunto de dispositivos de almacenamiento para energía térmica según la primera realización de la invención,
- 45 – la figura 7 es una vista esquemática que ilustra las trayectorias de flujo del fluido de trabajo en las configuraciones de las figuras 6A y 6B,
- las figuras 8 y 9 incluyen, cada una, una porción A y una porción B e ilustran dos variantes de una segunda realización de la invención, en las que las porciones A ilustran una vista en perspectiva montada y las porciones B ilustran la misma vista destacando las líneas ocultas para una mejor inteligibilidad de la estructura interior del dispositivo,
- 50 – la figura 10 incluye una porción A y una porción B que representan una vista en planta desde arriba y desde abajo de una posible solución de una conexión de conjunto de dispositivos de las figuras 8 y 9, mientras que
- 55 – la figura 11 representa todavía una solución adicional de una posible conexión de conjunto de dispositivos de las figuras 8 y 9,
- la figura 12 incluye una porción 12.1, una porción 12.2 y una porción 12.3 que ilustran operaciones para la carga, el mantenimiento y la descarga, respectivamente, de los dispositivos de almacenamiento según la invención,
- 60 – la figura 13 incluye una porción 13.1 y una porción 13.2 que muestran una comparación entre el rendimiento de descarga de un conjunto de dispositivos de almacenamiento según la invención y un dispositivo de

almacenamiento de fluido del tipo conocido,

- la figura 14 ilustra la vista en perspectiva de una realización adicional de un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según la invención,
- la figura 15A es una sección longitudinal del dispositivo de la figura 14, mientras que la figura 15B es una sección transversal del mismo dispositivo,
- la figura 16 es una vista lateral de un conjunto de dispositivos según la figura 14,
- la figura 17 es una vista en perspectiva de un conjunto de dispositivos de almacenamiento para energía térmica según todavía una realización adicional de la invención,
- las figuras 17A y 17B son vistas en sección, respectivamente, según las líneas XVII/A-XVII/A y XVII/B-XVII/B de la figura 17,
- la figura 17C ilustra perfiles térmicos del conjunto de la figura 17 durante una carga transitoria del sistema,
- las figuras 18 y 19 ilustran, respectivamente, una unidad modular y un conjunto de dispositivos según las figuras 17, donde puede usarse la unidad modular de la figura 19 para proporcionar el conjunto de la figura 18, y
- la figura 20 es un circuito de soporte para un modelo de analogía eléctrica de un conjunto de dispositivos de almacenamiento según la invención.

#### Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

A modo de introducción de la descripción detallada que sigue, debe considerarse la siguiente lista de parámetros a los que comúnmente se hace referencia en la industria mediante la expresión factor de mérito (FOM), es decir, indicadores de rendimiento útiles para caracterizar la capacidad de almacenamiento de los sistemas de almacenamiento térmico.

i) Energía almacenable específica ( $E_{wt}$ ), como la energía máxima que puede absorberse durante la carga o, de manera equivalente, que puede transferirse durante la descarga, considerando el mismo intervalo de temperatura de funcionamiento, por la unidad de masa del material de almacenamiento desde/hacia el fluido termovector y, por tanto, disponible para el usuario, que incluye la energía absorbida/transferida en caso de que el material de almacenamiento térmico esté sujeto a cambios de estado (fusión/solidificación o ebullición/licuefacción), o

ii) energía almacenable volumétrica ( $E_{vol}$ ), como la energía máxima que puede absorberse durante la carga o, de manera equivalente, que puede transferirse durante la descarga, considerando el mismo intervalo de temperatura de funcionamiento, por la unidad de volumen del material de almacenamiento desde/hacia el fluido termovector y, por tanto, disponible para el usuario, que incluye la energía absorbida/transferida en caso de que el material de almacenamiento térmico esté sujeto a cambios de estado (fusión/solidificación o ebullición/condensación).

Un material con altos valores de  $E_{wt}$ , y de manera similar con altos valores de  $E_{vol}$ , puede almacenar una mayor cantidad de energía, respectivamente, para la unidad de masa o en la unidad de volumen, con respecto a un material con bajos valores de  $E_{wt}$  o bajos valores de  $E_{vol}$ .

iii) Temperatura máxima de funcionamiento ( $T_{m\acute{a}x}$ ), como la temperatura máxima admisible para el material de almacenamiento, de manera que se evite el deterioro térmico del mismo, es decir, de manera que se conserve la identidad química/física y la integridad del material.

En cuanto a la elección del material de almacenamiento, se prefiere un material con un alto valor de  $T_{m\acute{a}x}$ , de modo que pueda almacenar una energía de mejor calidad, dado que está disponible a una mayor temperatura, en comparación con un material con un bajo valor de  $T_{m\acute{a}x}$ , con la condición de que estén disponibles una fuente de energía, un fluido termovector y un sistema de tuberías hidráulicas compatible con dicho alto valor de  $T_{m\acute{a}x}$ .

iv) Difusividad térmica ( $\alpha$ ), como la razón entre la conductividad térmica ( $\kappa$ ) del material de almacenamiento (si es sólido, o susceptible de intercambiar calor exclusivamente a través de movimientos de conducción) o la conductividad térmica equivalente (tal como se define en el presente documento, si es líquido, o susceptible de intercambiar calor incluso a través de movimientos de convección) y el producto entre el calor específico ( $c_p$ ) y la densidad ( $\rho$ ) del mismo: esta cantidad física es una propiedad inherente del material de almacenamiento (función de la temperatura del mismo) porque depende exclusivamente de la propiedad del mismo, y es útil para describir la propagación de un campo térmico en condiciones no estacionarias.

Un material con alta difusividad térmica  $\alpha$  permite que pase un flujo térmico a su través más fácilmente si está sujeto a un gradiente de temperatura y, por tanto, garantiza una mejor transmisión de la onda térmica en comparación con un material con baja difusividad térmica  $\alpha$ .

5 Además, se definen los siguientes índices útiles para comparar el rendimiento del sistema objeto de la invención en comparación con otras soluciones existentes previamente:

10 iv) Constante de tiempo característica ( $\tau$ ) del módulo de almacenamiento individual, que representa el tiempo requerido para alcanzar el 63,2 % de la capacidad de almacenamiento. Por analogía con la constante de tiempo de un circuito eléctrico RC, en este caso la constante de tiempo depende únicamente de las características inherentes del material usado y de la geometría del sistema. En particular, en el caso de materiales de almacenamiento sólidos, la constante de tiempo puede expresarse como:

$$15 \quad \tau = (\lambda/\kappa_{acc}) / (n_{tubo} \cdot S_{tubo}) \cdot \rho_{acc} \cdot V_{acc} \cdot C_{p,acc}$$

20 donde  $\lambda$  es una medición característica de la distancia promedio equivalente de intercambio térmico entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador (distancia de penetración de la onda térmica que puede evaluarse experimentalmente);  $\kappa_{acc}$ ,  $\rho_{acc}$ ,  $C_{p,acc}$  son respectivamente la capacidad térmica, la densidad y el calor específico del material de almacenamiento (valores promedio en el intervalo de temperatura de funcionamiento);  $n_{tubo}$  es el número de tubos de la unidad de termovector;  $S_{tubo}$  es la superficie de intercambio entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador;  $V_{acc}$  es el volumen de la unidad de termoacumulador.

25 En el caso de un material de almacenamiento líquido, la constante de tiempo puede expresarse en su lugar como:

$$30 \quad \tau = (\lambda/\kappa_{acc,eq}) / (n_{tubo} \cdot S_{tubo}) \cdot \rho_{acc} \cdot V_{acc} \cdot C_{p,acc,eq}$$

35 donde los símbolos mantienen el mismo significado físico que en el caso del material sólido descrito anteriormente, excepto para  $\kappa_{acc,eq}$  que es la conductividad equivalente del líquido de almacenamiento y  $C_{p,acc,eq}$  que es el calor específico equivalente del líquido de almacenamiento.

La conductividad equivalente del líquido de almacenamiento es una conductividad aumentada en un factor igual a  $Nu$ , número de Nusselt,

$$40 \quad \kappa_{acc,eq} = \kappa_{acc} \cdot Nu$$

para considerar la presencia de movimientos de convección naturales, definiéndose comúnmente este último como:

$$45 \quad Nu = h \cdot L / \kappa$$

40 donde  $h$  es el coeficiente de intercambio térmico mediante convección natural,  $L$  es una distancia característica del sistema y  $\kappa$  es la conductividad térmica. El número de Nusselt para un sistema dado puede proporcionarse a partir de las correlaciones empíricas ampliamente conocidas y disponibles en la bibliografía, aplicables a sistemas de diversas y variadas geometrías y provisiones con respecto a conductos afectados por los flujos másicos y térmicos, y en función de los regímenes de flujo (naturales o forzados), con respecto a los cuales se hará referencia a otras fuentes.

50 Suponiendo, por ejemplo, que el fluido de almacenamiento térmico esté sujeto a un único tipo de cambio de fase durante el ciclo de funcionamiento (fusión/solidificación o, alternativamente, ebullición/condensación), el calor específico equivalente del líquido de almacenamiento puede definirse como:

$$55 \quad C_{p,acc,eq} = C_{p,acc} + r / (T_{cf} - T_{rif})$$

55 donde  $r$  es el calor latente de cambio de fase (fusión/ebullición en la etapa de carga, solidificación/condensación en la etapa de descarga);  $T_{cf}$  es la temperatura a la que se produce el cambio de fase;  $T_{rif}$  es una temperatura de referencia (comparable a la temperatura mínima del ciclo de funcionamiento durante la etapa de carga, o la temperatura máxima del ciclo de funcionamiento durante la etapa de descarga);  $C_{p,acc}$  es el calor específico del material de almacenamiento (promedio entre la temperatura de cambio de fase y la temperatura de referencia).

60 Debe observarse que, en cuanto a la aplicabilidad de la presente invención, descartándose *a priori* cualquier desplazamiento mecánico de los fluidos usados como fluidos de almacenamiento térmico, puede hacerse referencia al mecanismo de transferencia de calor mediante conducción o, como máximo, al mecanismo de convección natural, aunque este último puede provocar la degradación de la calidad de la energía almacenada a lo largo del tiempo debido a los motivos expuestos anteriormente en la descripción.

De manera similar a lo que se conoce en el campo electrotécnico con referencia a un circuito RC sencillo, la constante de tiempo es útil para establecer la duración de los transitorios de carga y descarga del sistema: el transitorio de carga/descarga puede considerarse completado después de un periodo de tiempo igual a  $5\tau$ .

v) Tiempo de carga promedio por unidad de energía almacenada ( $\tau_{\text{spec}}$ ), que representa el tiempo requerido para alcanzar una carga del 99,3 % normalizada con respecto a la energía almacenada:

$$\tau_{\text{spec}} = 5\tau / (E_{\text{wt}} \cdot m_{\text{acc}}) = 5\tau / (E_{\text{vol}} \cdot V_{\text{acc}})$$

Un sistema con altos valores de  $\tau_{\text{spec}}$  requiere mucho tiempo para almacenar/transferir la unidad de energía térmica durante la etapa de carga/descarga y, por tanto, ofrece un menor rendimiento con respecto a uno con bajos valores de  $\tau_{\text{spec}}$ , considerando las mismas condiciones de funcionamiento del ciclo de funcionamiento.

vi) La superficie de intercambio requerida por unidad de potencia térmica transferida ( $\sigma_{\tau}$ ), que proporciona una indicación de la superficie de intercambio entre el fluido termovector y el material de almacenamiento requerida para transferir la unidad de energía térmica por unidad de tiempo hasta alcanzar una carga del 63,2 %: este índice es comparable conceptualmente a la inversa del flujo térmico intercambiado entre el fluido termovector y el material de almacenamiento, evaluado después de un periodo de tiempo igual a la constante característica  $\tau$  del sistema (carga del 63,2 %):

$$\sigma_{\tau} = S_{\text{scambio}} \cdot \tau / E_{\tau}$$

donde  $E_{\tau}$  es la energía almacenada después de un tiempo  $\tau$ , igual al 63,2 % de la energía máxima almacenable.

Este parámetro es útil para comparar sistemas de almacenamiento caracterizados, además de por los materiales, por las diferentes geometrías de la unidad de termoacumulador y de la unidad de termovector igualmente, desde el momento en que la superficie de intercambio entre los dos se convierte en un factor.

Un sistema con altos valores de  $\sigma_{\tau}$  requiere mayores superficies de intercambio para transferir la unidad de potencia térmica en la etapa de carga/descarga, considerando la misma carga lograda o es, por consiguiente, más engorroso y complejo debido al elevado número de tubos requeridos, considerando la misma cantidad de energía almacenada total, en comparación con uno con bajo valores de  $\sigma_{\tau}$ .

El número de referencia 1 en la figura 1 indica generalmente un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según una primera realización preferida de la invención. El dispositivo 1 de almacenamiento incluye al menos una unidad 2 de termovector y una unidad 4 de termoacumulador. Tal como resultará más claro a continuación en el presente documento a partir de toda la descripción de la solicitud, la distinción entre "unidad de termovector" y "unidad de termoacumulador" es principalmente con propósitos funcionales. En algunas realizaciones, como los dispositivos 1, la distinción, el dispositivo 1 de almacenamiento incluye dos unidades 2 de termovector y una unidad 4 de termoacumulador comprendida entre las mismas.

La unidad 2 de termovector incluye un conducto 6 de flujo para el flujo continuo de un fluido de trabajo que, en esta realización, se proporciona como conducto de serpentín con circuitos cerrados paralelos, que se extiende en el interior de una matriz 8 térmicamente conductora. La matriz 8 está realizada de un material de alta conductividad térmica, por ejemplo, cobre, aluminio y generalmente cualquier material que tenga una conductividad térmica superior a  $100\text{-}200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , y que incluye una primera y una segunda placas 10, 12 de forma circular dotadas, cada una, de placas 14 en forma de cordón paralelas (es decir, que se extienden a lo largo de cordones paralelos de la circunferencia geométrica de la placa) y con orificios 16 pasantes.

La forma y la disposición de las ranuras 14 copian la extensión del serpentín que define el conducto 6 de flujo, de modo que cuando las placas 10 y 12 se cierran de forma empaquetada en lados opuestos del serpentín 6, las ranuras 14 definen, cuando se acoplan, canales circulares en los que se alojan secciones de los circuitos cerrados del conducto 6.

Los orificios 16 están dispuestos de manera idéntica en ambas placas 10, 12 para alinearse durante el acoplamiento y para dirigir, por consiguiente, los pernos o tornillos (en este último caso, en una de las dos placas de los orificios 16, sin perjuicio por el hecho de que la alineación con los orificios en la otra placa podría ser del tipo no pasante) para mantener el montaje cerrado de forma empaquetada.

La unidad 4 de termoacumulador incluye una cubierta que prevé una o más camisas 18 concéntricas. En esta realización, se prevén tres camisas 18 concéntricas, una de las cuales es exterior y contiene a las otras dos.

Las tres camisas 18 identifican un mismo número de volúmenes 20 internos dentro de los cuales está dispuesto un material de almacenamiento térmico que, según la invención, es un material sólido, o un material líquido, o una

combinación bifásica de los dos (suspensión de sólidos en un líquido) con alta conductividad térmica  $\kappa$ , preferiblemente mayor de  $30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , con alto calor específico, preferiblemente mayor de  $400 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ , y con alta difusividad térmica  $\alpha$ , preferiblemente mayor de  $10 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

5 Una solución preferida según la invención (generalmente aplicable a todas las realizaciones ilustradas en la presente descripción) es usar un material pulverulento sólido tal cual, y más generalmente con un tamaño de grano comprendido entre  $0,1 \mu\text{m}$  y  $150 \mu\text{m}$ , de modo que pueda compactarse suficientemente, o un material sólido granular, y más generalmente con un tamaño de grano comprendido entre  $1 \text{ mm}$  y  $20 \text{ mm}$ , sumergido en un segundo material del tipo fluido, para formar un material de almacenamiento térmico bifásico, para adaptar los parámetros de rendimiento del mismo a los valores de funcionamiento óptimos identificados para los fines de aplicabilidad de la presente invención. Los valores de conductividad térmica, la capacidad térmica y la difusividad térmica proporcionados en el presente documento con respecto a la matriz 8 y el material de almacenamiento térmico son válidos para todas las realizaciones descritas en el presente documento, aplicándose el mismo caso a los valores de tamaño de grano del material de almacenamiento térmico.

15 Obviamente puede usarse un material sólido coherente, es decir, una estructura compacta y no granular o fraccionada de otro modo.

20 Los materiales que pueden usarse con fines de almacenamiento térmico incluyen, por ejemplo, grafito, en forma monolítica, forma pulverulenta fina o micronizada, aluminio o sus aleaciones, hierro fundido o incluso materiales compuestos o, por último, mezclas de diversos materiales, incluso los que contienen materiales que se sabe que son escasamente conductores tales como arena o basalto que sirven como producto de relleno, cuyo rendimiento generalmente se encuentra dentro de intervalos que los inventores indicaron que son fundamentales para lograr el efecto técnico de la presente invención. Los intervalos en cuestión se definen en la tabla 1 adjunta a esta descripción.

25 Los inventores observaron que para lograr los objetivos de rendimiento en los que se basa la invención, el material de almacenamiento debe seleccionarse de modo que tenga tanto alta capacidad térmica volumétrica (producto entre calor específico  $c_p$  y densidad  $\rho$ ), para almacenar tanto calor como sea posible sin aumentar bruscamente su temperatura, dado que esto detendría el proceso de carga debido a saturación, así como alta conductividad térmica.

30 Con referencia a los indicadores de rendimiento (FOM) enumerados al comienzo de la descripción detallada de la invención, los inventores observaron, por tanto, que la difusividad térmica  $\alpha$ , que vincula los parámetros en cuestión, es el parámetro distintivo para lograr los objetivos de rendimiento en los que se basa la invención.

35 Tal como se observó previamente, la difusividad térmica  $\alpha$  debe ser mayor que un primer valor umbral, pero mientras tanto debe evitarse que se supere un segundo valor umbral, mayor que el primero.

40 Esto debido al hecho de que, considerando la definición de difusividad térmica, bajos valores de difusividad conllevan material con baja conductividad térmica y alta capacidad térmica. Por debajo del primer valor umbral, que los inventores establecieron que era de  $10 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un rendimiento aceptable en lo que se refiere a la presente invención,  $35 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un mejor rendimiento y  $50 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un rendimiento incluso mejor (óptimo), los valores de conductividad térmica de los materiales disponibles serían demasiado bajos como para garantizar un rendimiento en línea con las necesidades desde un punto de vista termocinémico. Al contrario, si los valores de difusividad térmica  $\alpha$  superasen el segundo valor umbral, los inventores establecieron que este valor era de  $150 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un rendimiento aceptable en lo que se refiere a la presente invención,  $120 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un mejor rendimiento y  $100 \text{ mm}^2/\text{s}$  para un rendimiento incluso mejor (óptimo), los valores de conductividad térmica de los materiales disponibles serían demasiado bajos con respecto a los requisitos de almacenamiento previstos para los propósitos que la presente invención se propone lograr.

50 Por tanto, en lo que se refiere al material de almacenamiento, se definen los siguientes intervalos de difusividad térmica:

- 55 i)  $10 - 150 \text{ mm}^2/\text{s}$
- ii) más preferiblemente  $35 - 120 \text{ mm}^2/\text{s}$
- iii) incluso más preferiblemente  $50 - 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

60 Los materiales de almacenamiento con valores de difusividad térmica comprendidos entre los valores extremos indicados anteriormente permiten, independientemente de la geometría final de la unidad de termoacumulador, satisfacer los objetivos de rendimiento en cuanto a dinámica de carga, dinámica de descarga y mantenimiento del caudal de fluido al usuario a una temperatura deseada durante un largo intervalo de tiempo y, por tanto, garantizar una rápida transferencia de calor y, en conclusión, una alta razón entre potencia intercambiada y masa de almacenamiento, una alta razón entre energía almacenada y masa de almacenamiento y una alta razón entre masa

de almacenamiento y volumen.

5 Con referencia a las figuras 2A, 2B y 3A, 3B, la unidad 2 de termovector puede estar dotada de manera conveniente de una geometría cuadrangular/cuadrada (figura 2) o geometría circular (figura 3). Para ello, las unidades 2 con geometría cuadrangular se indican, respectivamente, mediante las referencias 2S en las figuras 2, mientras que aquellas con geometría circular se indican mediante las referencias 2C en las figuras 3.

10 Con referencia a la figura 4 y la figura 5, la unidad 4 de termoacumulador copia preferiblemente la geometría (en sección) de las unidades 2 de termovector, y en particular cuando las unidades 2 de termovector están dotadas de forma cuadrangular incluso la unidad 4 de termoacumulador también está dotada de forma cuadrangular, mientras que cuando las unidades 2 de termovector están dotadas de forma circular incluso la unidad 4 de termoacumulador también está dotada de forma circular.

15 Por tanto, las unidades de termovector de las figuras 4 y 5 toman la misma designación adoptada para las unidades 2 de termovector, es decir se indican mediante las referencias 4S cuando se proporcionan como un prisma con base cuadrangular acoplado a una unidad 2S de termovector de forma cuadrangular, y 4C cuando se proporcionan como un cilindro acoplado a una unidad 2S de termovector de forma circular.

20 En el caso de una unidad 4S de termovector, las camisas 18 toman la forma de elementos tubulares de forma cuadrangular dispuestos de manera coaxial en la camisa más exterior.

25 Tal como puede observarse en las figuras 4 y 5, igual que en la figura 1, dos unidades 2S/2C de termovector se disponen en extremos opuestos de una unidad 4S/4C de termoacumulador, para proporcionar sustancialmente dos cabezas de la unidad 4S/4C de termoacumulador. Supóngase, meramente a modo de ejemplo no exhaustivo, una implementación vertical como la ilustrada en las figuras 4 y 5, se pretende probablemente que la unidad 2S, 2C de termovector inferior transporte un fluido termovector a baja temperatura (o, tal como puede observarse a continuación en el presente documento, un fluido frío/de descarga), mientras que se pretende que la unidad 2 de termovector superior transporte un fluido termovector a alta temperatura (fluido caliente/de carga).

30 Por motivos de simplicidad, las referencias numéricas asociadas a áreas o componentes del sistema que gestionan el fluido frío/de descarga se complementan con un símbolo "\*", mientras que las referencias numéricas asociadas a áreas o componentes del sistema que gestionan un fluido caliente/de carga se complementan con un símbolo "!". Por tanto, los conductos de flujo de serpentín toman las referencias 6! y 6\*.

35 Dado que los dos extremos de cada serpentín 6!/6\* pueden formar independientemente una entrada y una salida para un fluido de trabajo, los dispositivos 1 de almacenamiento son natural y simplemente adecuados para formar un conjunto de dispositivos en conexión hidráulica entre sí.

40 En la realización de la figura 6 se prevén, meramente a modo de ejemplo, doce dispositivos 1 de almacenamiento conectados entre sí en serie hidráulica con una disposición en forma de U, de modo que son dos conjuntos de seis dispositivos 1 paralelos desde un punto de vista geométrico. Debido a la disposición de las unidades 2 de termovector en lados opuestos de las unidades 4 de termoacumulador, dentro del conjunto de dispositivos 1, puede identificarse un conjunto A1\_T superior de unidades 2 de termovector y un conjunto A1\_B inferior de unidades 2 de termovector. Cada conjunto comparte la disposición general de las unidades 1.

45 Con referencia al conjunto A1\_T, destinado para la circulación del fluido de trabajo caliente/de carga, un conducto BPC! de derivación se extiende a modo de colector entre los dos conjuntos de seis unidades 2 de termovector (y al igual que los seis dispositivos de almacenamiento), y para ello, tiene tres nodos J1!, J2!, J3! de circuito que conducen al interior que son conductos de ramificación que parten de los nodos hidráulicos adicionales ubicados en lados opuestos con respecto al canal BPC! y dispuestos en conexión hidráulica entre pares de dispositivos 1 dispuestos adyacentes y en serie a lo largo del mismo conjunto. En los nodos J1!, J2!, J3! de circuito, al igual que los nodos hidráulicos adicionales desde los que parten los conductos de ramificación, se disponen válvulas de regulación de flujo (preferiblemente automatizadas, por ejemplo por medio de la provisión de los equipos móviles con medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático) conmutables entre una posición abierta y una posición cerrada y, en algunas realizaciones, que puede dividirse al abrirse.

50 Con referencia a el conjunto A1\_B, destinado para la circulación del fluido frío/de descarga de trabajo, un conducto BPC\* de derivación se extiende a modo de colector entre los dos conjuntos de seis unidades 2 de termovector (y al igual que los seis dispositivos de almacenamiento), y para ello, tiene tres nodos J1\*, J2\*, J3\* de circuito que conducen al interior que son conductos de ramificación que parten de los nodos hidráulicos adicionales ubicados en lados opuestos con respecto al canal BPC! y dispuestos en conexión hidráulica entre pares de dispositivos 1 dispuestos adyacentes y en serie a lo largo del mismo conjunto. En los nodos J1\*, J2\*, J3\* de circuito, al igual que los nodos hidráulicos adicionales desde los que parten los conductos de ramificación, se disponen válvulas de regulación de flujo (preferiblemente automatizadas, por ejemplo por medio de la provisión de los equipos móviles con medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático) conmutables entre una posición abierta y una posición cerrada y, en algunas realizaciones, que puede dividirse al abrirse.

De manera global, en lo que se refiere al fluido de carga, el conjunto A1\_T incluye tres puertos de funcionamiento, en particular:

- 5     — un puerto de entrada para un fluido de trabajo de alta temperatura !IN, un puerto de salida para un fluido de trabajo de alta temperatura (enfriado) !OUT y un puerto de salida del conducto BPC! de derivación indicado con la referencia !BP.

10    En lo que respecta al fluido de descarga, el conjunto A1\_B incluye de manera similar tres puertos de funcionamiento, en particular:

- un puerto de entrada para un fluido de trabajo de baja temperatura \*IN, un puerto de salida para un fluido de trabajo de baja temperatura (calentado) \*OUT y un puerto de salida del conducto BPC\* de derivación indicado con la referencia \*BP.

15    La trayectoria de flujo para el fluido de trabajo cuando todas las unidades 1 están activas corresponde a la suma de las secciones 6! para el fluido caliente y 6\* para el fluido frío.

20    La disposición global de los puertos de entrada y salida del fluido de trabajo se ilustra esquemáticamente en la figura 7.

El dispositivo 1 de almacenamiento funciona de la siguiente manera. La descripción se aplicará tanto a considerar el dispositivo 1 independientemente como a considerar el dispositivo 1 que funciona en un conjunto.

25    El dispositivo 1 de almacenamiento funciona como una célula térmica que se carga y descarga por medio de unidades 2 de termovector. El elemento que es objeto materialmente de carga y descarga de energía es la unidad 4 de termoacumulador.

30    En particular, las unidades 2 de termovector en las que fluye un fluido de trabajo de alta temperatura (si se dispone como en la figura 6 es una unidad de termovector del conjunto A1\_T) proporcionan la carga de la unidad 4 de termoacumulador y el almacenamiento de energía térmica en el sistema debido al intercambio térmico entre el fluido de trabajo que fluye en la unidad de termovector y el material de almacenamiento que ocupa la unidad 4 de termoacumulador.

35    Cuando el fluido de trabajo fluye en el conducto 6 de flujo de la unidad 2 de termovector, sólo el conducto de flujo está configurado para soportar la presión del fluido de trabajo, mientras que no se requiere que la matriz 8 realice ninguna función estructural, dado que tiene la única función de transportar el flujo térmico hacia el material de almacenamiento térmico en la unidad 4 de termoacumulador, cuyo material está en contacto con la matriz 8.

40    Para ello, las camisas 18 de la unidad 4 de termovector sirven como aletas conductoras de calor para maximizar la transferencia de energía de la matriz 8 al material de almacenamiento térmico.

45    Cuando la unidad de termoacumulador está totalmente "cargada", es decir tras alcanzar la temperatura de carga máxima posible en función de la temperatura del fluido de trabajo (es decir, sustancialmente el balance térmico entre el fluido de trabajo y la temperatura del material de almacenamiento térmico en la unidad 4 de termoacumulador), el dispositivo 1 de almacenamiento se mantiene en las condiciones cargadas debido al aislamiento que lo cubre externamente (no ilustrado en las figuras por motivos de simplicidad), impidiendo por tanto la pérdida de energía térmica hacia el exterior al completarse el proceso de carga.

50    Posiblemente, la carga también puede mantenerse haciendo circular un caudal mínimo del fluido de trabajo de alta temperatura para restablecer cualquier pérdida de energía.

55    Cuando se usa la energía térmica almacenada en la unidad 4 de termoacumulador, basta con introducir el fluido de trabajo de baja temperatura en la unidad 2 de termovector en el extremo opuesto con respecto a la unidad 2 asociado al fluido de trabajo caliente (es una unidad de termovector del conjunto A1\_B si se dispone según la figura 6).

60    En este caso, el fluido de trabajo que fluye en el conducto 6\* de flujo intercambia calor a través de la matriz 8 con el material de almacenamiento térmico en la unidad 4 de termoacumulador, de modo que el fluido que fluye fuera de la unidad 2 de termovector (puerto \*OUT) tiene una mayor temperatura con respecto al de la entrada (en el puerto \*IN).

65    Debe observarse que, dado que se proporciona el almacenamiento estático de energía térmica mediante material sólido, el dispositivo 1 está libre de fenómenos de retromezclado que afectan a dispositivos de almacenamiento de fluido térmico y, por tanto, puede mantener, durante un intervalo de tiempo más prolongado y sin una pérdida interna sustancial, un caudal deseado del fluido de trabajo (descarga) a través de la unidad 2 de termovector a una

temperatura deseada, permitiendo por tanto satisfacer las demandas de varios aparatos y/o diversas aplicaciones que reciben el fluido calentado por la energía almacenada en el dispositivo 1.

5 La unidad 1 está totalmente aislada externamente y, por tanto, aislada térmicamente del entorno circundante y puede cargarse y/o descargarse incluso en varias sesiones temporales diferentes e independientes: si el dispositivo 1 se instala en serie, por ejemplo, en un concentrador solar en el que el fluido de trabajo es aceite diatérmico o vapor calentado, entonces se suspende la etapa de carga en ausencia de radiación solar, con la detención simultánea de la circulación del fluido de trabajo. La energía almacenada se mantiene en la unidad 4 de termoacumulador hasta que está disponible de nuevo radiación solar, permitiendo por tanto reanudar la carga. Un aislamiento eficiente 10 puede permitir limitar las dispersiones térmicas y mantener las temperaturas de almacenamiento incluso durante varios días. Cuando el sistema está totalmente cargado o, todavía, suficientemente para las necesidades del usuario, es posible hacer circular el fluido de funcionamiento (descarga) que va a calentarse, considerando que, con un dimensionamiento apropiado de todo el sistema, es posible garantizar la dispensación de un caudal constante a una temperatura constante sin perjuicio para la posibilidad de hacer circular el fluido de trabajo (fluido de descarga) 15 incluso durante la etapa de carga, con el consiguiente aumento del tiempo requerido para cargar el sistema de almacenamiento.

En caso de que los grupos de dispositivos 1 se conecten en un conjunto tal como se ilustra en las figuras 6A, 6B, actuar sobre las válvulas que terminan en los extremos hidráulicos del sistema permite variar la cantidad de energía 20 almacenada en el conjunto y el patrón de carga y descarga del conjunto de dispositivos 1, simplemente proporcionando las diversas conexiones permitidas por las válvulas en los nodos hidráulicos cuando se requiera.

En términos generales, el fluido de trabajo de alta temperatura (fluido de carga) durante el proceso de carga fluye a través de la entrada !IN del conjunto A1\_T y fluye a través de una serie de conductos 6! de flujo cuya extensión está definida por el patrón de apertura y cierre de las válvulas de regulación de flujo. Descargar parte del caudal de fluido 25 caliente en el conducto BPC! siempre que se requiera también permite reducir los procesos de carga. En cualquier caso, excepto para el fluido de trabajo que se descarga a través del conducto BPC! de derivación, la cantidad restante de fluido de trabajo de alta temperatura enfriado fluye fuera del puerto !OUT de salida.

30 Todavía en términos generales, el fluido de trabajo de baja temperatura (fluido de descarga) durante el proceso de descarga fluye a través de la entrada \*IN del conjunto A1\_B y fluye a través de una serie de conductos 6\* de flujo cuya extensión está definida por el patrón de apertura y cierre de las válvulas de regulación de flujo (generalmente separadas e independientes de las válvulas del conjunto A1\_B). La descarga de parte del caudal del fluido caliente en el conducto BPC\* siempre que se requiera también permite reducir los procesos de descarga del sistema, por 35 ejemplo en caso de que hubiera un caudal excedente con respecto a las necesidades temporales del usuario o para impedir los fenómenos de degradación termoquímica (irreversible) respecto a la descarga de fluido termovector tras superar la temperatura máxima admisible por el fluido termovector (temperaturas límite de pared y global). En cualquier caso, excepto para el fluido de trabajo que se descarga a través del conducto BPC\* de derivación, la cantidad restante de fluido de trabajo de alta temperatura enfriado fluye fuera del puerto \*OUT de salida.

40 Según un aspecto ventajoso de la invención, las válvulas en los nodos hidráulicos del sistema permiten excluir uno o más dispositivos 1 de almacenamiento para usar, por ejemplo en la etapa de descarga, sólo algunos de los dispositivos 1 consecutivos (dispuestos inmediatamente adyacentes y en conexión hidráulica en serie) y sólo se requiere estrictamente que se lleve el fluido de descarga de trabajo a la temperatura deseada sin riesgo de 45 sobrecalentamiento, o superar la temperatura de pared de los mismos.

Esta solución también abre la posibilidad de usar dos fluidos de trabajo diferentes para las etapas de carga y descarga, respectivamente. A modo de ejemplo, puede usarse vapor de agua a alta presión (producido, por ejemplo, en un concentrador solar) en la etapa de carga, para alcanzar mayores temperaturas de almacenamiento y/o cargar 50 la unidad 4 de termoacumulador en plazos de tiempo más cortos, y un aceite diatérmico en la etapa de descarga, que, al verse afectado por los límites en cuanto a temperaturas de pared y global máximas admisibles, debe sortear los dispositivos 1 posteriores posiblemente todavía cargados tras alcanzar una temperatura límite.

Tan pronto como los dispositivos 1 afectados por el flujo continuo del aceite diatérmico en la etapa de descarga están insuficientemente cargados como para garantizar la temperatura deseada para el fluido de descarga, se emprende una acción sobre las válvulas activando, sucesivamente, uno o más dispositivos 1 modulares adicionales 55 (que se habían cargado y sorteado hasta ese punto) para garantizar una temperatura y un caudal de fluido de descarga de servicio constantes, es decir potencia constante al usuario.

60 Los sistemas de derivación (unidades de válvula en nodos de circuito) de los dos conjuntos A1\_T y A1\_B para los fluidos caliente y frío (líneas de carga y descarga, respectivamente) son totalmente independiente para tener una flexibilidad de uso excepcional, con la posibilidad de flujo simultáneo de los dos fluidos, incluso en diferentes partes del circuito y, por tanto, realizar simultáneamente las dos etapas de carga y descarga.

65 Cuando tanto el fluido caliente/de carga como el fluido frío/de descarga fluyen simultáneamente en el sistema, o cuando sólo circula uno de los dos, cada una de las unidades 4 de termoacumulador (esto también se aplica a las

unidades 2 de termovector) se comporta, para fines de intercambio térmico, como una sección aislada de un intercambiador de calor separado, por medio de interrupciones térmicas, de las secciones adyacentes, de manera similar a lo que se describe en la solicitud de patente número 102016000009566 con fecha del 29 de enero de 2016. Las interrupciones térmicas se disponen transversales a la dirección de flujo del fluido de trabajo, ya sea caliente o frío.

En realidad, las interrupciones térmicas, que se proporcionan obviamente entre unidades de termoacumulador posteriores conectadas en serie, permiten segregar físicamente, en el espacio, porciones de material de almacenamiento térmico susceptibles de tener generalmente una temperatura incluso muy diferente entre sí.

Si este no es el caso, el gradiente térmico entre dos unidades 4 de termoacumulador posteriores crearía un flujo de calor en el material de almacenamiento que se extendería por conducción a lo largo de la dirección longitudinal del sistema, es decir a lo largo de la dirección de flujo del fluido termovector. Esto nivelaría, en tiempos suficientemente largos, y homogeneizaría la temperatura, provocando por tanto una degradación del calor almacenado, o una pérdida de "calidad" del calor, que haría que fuese menos "valioso" y utilizable de forma más escasa (debido al aumento de entropía por mezclado).

La figura 8 y la figura 9 ilustran dos realizaciones adicionales de un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según la invención,

Con referencia a la figura 8A y la figura 8B, el número de referencia 100 designa una segunda realización del dispositivo de almacenamiento para energía térmica según la invención.

El dispositivo 100 incluye una unidad 102 de termovector y una unidad 104 de termoacumulador. La unidad 102 de termovector incluye un primer y un segundo conductos 106! y 106\* de flujo para un fluido de trabajo, respectivamente, a alta y baja temperatura que se alojan ambos en una matriz 108 proporcionada para el cierre, de forma empaquetada, en los conductos 106\*, 106! de una primera y una segunda placas 110, 112.

Las placas 110, 112 portan surcos 114 axiales que, cuando se hacen coincidir durante el cierre de forma empaquetada, proporcionan secciones circulares para la inserción de los conductos 106! y 106\*. Al contrario que el dispositivo 1, en el que sólo se produce contacto con la unidad de termoacumulador en una cara de la unidad 4 de termovector, el dispositivo 100 prevé que la unidad 102 de termovector se incorpore en la unidad 104 de termoacumulador, en particular toda la unidad 102 de termovector está rodeada por el material de almacenamiento térmico sólido de la unidad 104 de termovector.

El conjunto de lo anterior también está encerrado en una carcasa IL de aislamiento térmico que permite impedir una dispersión térmica sustancial hacia el exterior, actuando como conservador de carga térmica pasiva.

Con referencia a las figuras 9A y 9B, el número de referencia 200 designa una unidad de almacenamiento para energía térmica según una tercera realización de la invención.

La característica distintiva del dispositivo 200 se encuentra en la segregación meramente funcional entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador, dado que, en este caso, la unidad de termoacumulador forma la matriz de la unidad de termovector.

Con respecto a esto, el dispositivo 200 de almacenamiento para energía térmica incluye una unidad 202 de termovector que comprende una pluralidad de conductos 206 de flujo que se incorporan en una matriz 204 que forma la unidad de termoacumulador. La matriz 204 incluye una primera y una segunda semimatrices 204A, 204B compuestas preferiblemente por material de almacenamiento térmico sólido con estructura coherente (es decir no granular), que se procesa proporcionando surcos que pueden albergar los conductos 206 de flujo. Todo lo anterior está encerrado por una carcasa IL de aislamiento térmico similar a la carcasa IL del dispositivo 100. Los conductos 206 de flujo pueden estar destinados, según una asociación que puede variar en función de las necesidades, para fluido caliente y fluido frío.

Independientemente de la implementación geométrica de la unidad de termoacumulador, para poder garantizar al usuario final una temperatura de fluido termovector de descarga constante (siempre que sea menor o como máximo igual que la máxima temperatura de funcionamiento del ciclo de almacenamiento), de manera similar a lo que se describe en la solicitud de patente n.º 102016000009566 con fecha del 29 de enero de 2016, proporciona interrupciones térmicas incluso en la unidad de termoacumulador, para cancelar o al menos limitar el flujo de calor a lo largo de la dirección principal de flujo del fluido termovector. La necesidad de esta provisión aumenta de manera proporcional al aumento de la conductividad del material de almacenamiento usado, dependiendo de la extensión de la unidad de termoacumulador a lo largo de la dirección de flujo del fluido termovector. Además, se requiere esta provisión en casos en los que el material de almacenamiento térmico es del tipo líquido, e incluso más si el líquido está experimentando un cambio de fase (líquido en ebullición). En realidad, al ser un líquido susceptible de tener movimientos de convección naturales que amplifican la eficiencia de intercambio térmico, e incluso más así si el líquido está en ebullición (altos coeficientes de intercambio térmico), el nivel térmico incluso de regiones

extensamente amplias del conjunto de almacenamiento se volverá uniforme, reduciéndose a lo largo del tiempo, con respecto a lo que se presenciaría si las regiones que pueden estar a una temperatura diferente fuesen a mantener tales condiciones debido a la segregación espacial proporcionada usando las interrupciones térmicas mencionadas anteriormente.

5 Por tanto, en lo que se refiere a todas las realizaciones del dispositivo de almacenamiento según la invención en las que sólo existe segregación funcional entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador, la disposición en la unidad de termoacumulador (es decir, en el material de almacenamiento) de interrupciones térmicas transversales a la dirección de flujo del fluido de trabajo se clasifica, en cuanto a importancia con relación a proporcionar los objetivos técnicos de la presente invención, inmediatamente después del intervalo de difusividad térmica indicado anteriormente. La provisión de interrupciones térmicas no es ni estrictamente necesaria en una única unidad 104, 204 de termoacumulador ni práctica en el caso de la unidad 4 de termoacumulador que está incluso segregada físicamente con respecto a la unidad 2 de termovector, pero se proporciona, en cualquier caso, de manera práctica cuando se conectan las diversas unidades 1, 100, 200 como un conjunto y, si se proporcionan 10 15 20

Incluso más preferiblemente, aplicándose a todas las realizaciones descritas previamente y las sujetas a la descripción que sigue, las ventajas de la presente invención se amplifican adicionalmente si la unidad de termoacumulador también cumple con los requisitos referentes a los FOM correspondientes a  $\tau_{spec}$ , e incluso más preferiblemente a  $\sigma$ .

25 Con referencia a la figura 10 y la figura 11, los dispositivos 100 y 200 de almacenamiento para energía térmica son adecuados para la conexión como un conjunto de manera similar a los dispositivos 1 de almacenamiento para energía térmica. Las vistas en planta desde arriba (figura 10A) y desde abajo (figura 10B) se ilustran en la figura 10. Al contrario que los conjuntos de dispositivos 1, en los conjuntos de dispositivos 100, 200 pueden no proporcionarse 30 dos cabezales dentro de los que fluyen fluidos de trabajo de alta temperatura y baja temperatura, respectivamente (como los conjuntos A1\_T y A1\_B son a su vez), dado que los dispositivos 100, 200 incluyen una única unidad de termovector. Por tanto, en este caso, los conductos de flujo de los mismos están destinados en parte para la circulación de fluido de trabajo de alta temperatura (carga), destinados en parte para la circulación de fluido de trabajo de baja temperatura (descarga).

35 En la realización a modo de ejemplo del conjunto de dispositivos 100, 200 ilustrado en el presente documento, los conductos de flujo son, en aras de la simplicidad de ilustración, dos, uno (106!, 206!) destinados para la circulación de fluido de trabajo de alta temperatura (figura 10A), el otro (106\*, 206\*) destinado para la circulación de fluido de trabajo de baja temperatura.

40 Los métodos de conexión hidráulica son idénticos a los descritos para el conjunto de dispositivos 1, sin perjuicio para el hecho de que los circuitos para el fluido caliente y fluido frío se concentran en la misma matriz.

45 En realidad, se proporcionan, a modo de ejemplo, doce dispositivos 100, 200 de almacenamiento en los que se proporcionan dos circuitos independientes (caliente/frío) que proporcionan, cada uno, una conexión en serie hidráulica con una disposición en forma de U de modo que, desde un punto de vista geométrico, son dos conjuntos paralelos de dispositivos 100, 200.

50 En lo que se refiere al fluido caliente/de carga, un conducto BPC! de derivación se extiende a modo de colector entre los dos conjuntos de seis dispositivos de almacenamiento y, para ello, tiene tres nodos J1!, J2!, J3! de circuito que conducen al interior que son conductos de ramificación que parten de los nodos hidráulicos adicionales ubicados en lados opuestos con respecto al canal BPC! y dispuestos en conexión hidráulica entre pares de dispositivos 100, 200 dispuestos adyacentes y en serie a lo largo del mismo conjunto.

55 En lo que se refiere al fluido de trabajo frío/de descarga, un conducto BPC\* de derivación se extiende a modo de colector entre los dos conjuntos de seis dispositivos de almacenamiento y, para ello, tiene tres nodos J1\*, J2\*, J3\* de circuito que conducen al interior que son conductos de ramificación que parten de los nodos hidráulicos adicionales ubicados en lados opuestos con respecto al canal BPC\* y dispuestos en conexión hidráulica entre pares de dispositivos 100, 200 dispuestos adyacentes y en serie a lo largo del mismo conjunto.

60 De manera global, en lo que se refiere al fluido de carga, el conjunto de dispositivos 100, 200 incluye tres puertos de funcionamiento, en particular:

- 65 – un puerto de entrada para un fluido de trabajo de alta temperatura !IN, un puerto de salida para un fluido de trabajo de alta temperatura (enfriado) !OUT y un puerto de salida del conducto BPC! de derivación indicado con

la referencia !BP.

En lo que respecta al fluido de descarga, el conjunto de dispositivos 100, 200 incluye tres puertos de funcionamiento, en particular:

- un puerto de entrada para un fluido de trabajo de baja temperatura \*!N, un puerto de salida para un fluido de trabajo de baja temperatura (calentado) \*!OUT y un puerto de salida del conducto BPC\* de derivación indicado con la referencia \*BP.

Tal como puede apreciarse a partir de la vista de la figura 11, la disposición de los conductos de flujo destinados para la circulación de los fluidos de trabajo de alta y baja temperatura es sustancialmente horizontal (coplanaria). Sin embargo, en realizaciones alternativas como la visible en la figura 11, los conductos de flujo y los conductos BPC! y BPC\* de derivación pueden disponerse, por ejemplo, en lados opuestos del conjunto, con extremos de descarga opuestos a los mismos.

Los dispositivos 100, 200 de almacenamiento funcionan de manera sustancialmente idéntica a los dispositivos 1, excepto por el hecho de que los fluidos de carga y descarga fluyen (por separado o simultáneamente), en función de las necesidades. La acción sobre las válvulas que se disponen en los nodos J1!, J2!, J3! hidráulicos y los nodos de ramificación relativos permiten proporcionar diferentes trayectorias de flujo y patrones de carga/descarga del conjunto de dispositivos 100, 200 de almacenamiento para energía térmica. La extensión y el desarrollo de la trayectoria de flujo pueden establecerse basándose en criterios idénticos a los descritos anteriormente en lo que se refiere al conjunto de dispositivos 1.

La figura 12 ilustra, en las porciones 12.1, 12.2, 12.3, tres ejemplos cualitativos de perfiles térmicos de un conjunto de dispositivos 100, 200 durante las operaciones de carga (figura 12.1), mantenimiento (figura 12.2) y descarga (figura 12.3). Cada una de las representaciones esquemáticas de la figura 12 ilustra tres curva isócronas A, B, C, asociadas a tres instantes de tiempo generales posteriores (la representación se considerará meramente para fines cualitativos). Las curvas isócronas coexisten en los diagramas debido esencialmente al hecho de que subyacen a un parámetro de desarrollo temporal  $t$ , cuya dirección de aumento se indica en las figuras ( $A < B < C$ ). Cada una de las curvas ilustradas en las formas de los módulos 100, 200 individuales representan la tendencia de calidad de la temperatura del dispositivo de almacenamiento sólido con respecto a la posición en el módulo a lo largo del eje horizontal (la temperatura debe considerarse el promedio en la superficie ortogonal al eje horizontal). Dicho de otro modo, en cada una de las formas 100, 200 rectangulares deberá considerarse superpuesto un sistema de ejes cartesianos T-x en los que la temperatura T crece hacia arriba, tal como se indica en la leyenda a la derecha de la figura.

Durante la etapa de carga, figura 12.1, el fluido de trabajo de alta temperatura que incide sobre el conjunto a través del puerto !!N transfiere energía térmica al material de almacenamiento de cada una de las unidades de termoacumulador de los dispositivos 100, 200 (directamente en este último caso, sin pasar el flujo térmico a través de ninguna matriz adicional), lo que aumenta las temperaturas respectivas en función de la cantidad de energía recibida. En particular, puede observarse que la carga del primer dispositivo 100, 200 que se encuentra el flujo de fluido caliente que fluye en el sistema en la trayectoria del mismo es bastante rápida, y que, al final del marco de observación, casi todo el volumen de material de almacenamiento en la unidad 104, 204 de termoacumulador se eleva hasta la temperatura de carga  $T_{MÁX}$  (temperatura máxima del ciclo de funcionamiento). En el caso del segundo dispositivo 100, 200, la temperatura del sistema evoluciona más lentamente, dado que el fluido de trabajo ya ha perdido una cantidad de energía en la interacción con el primer dispositivo 100, 200 del conjunto. Al final del marco de observación, aproximadamente el 40 % del material de almacenamiento en la unidad 104, 204 de termoacumulador habrá alcanzado la temperatura de carga  $T_{MÁX}$ . Al final del marco de tiempo de observación, el último dispositivo 100, 200 en la trayectoria del fluido de trabajo está todavía sustancialmente en condiciones de descarga sustancial, dado que a estas alturas el fluido de trabajo habrá perdido la mayor parte de su energía térmica en la interacción con los dispositivos de almacenamiento que se encontró previamente a lo largo de la trayectoria.

Al extender la interacción entre el fluido de trabajo caliente y el conjunto de los dispositivos 100, 200 de almacenamiento para energía térmica más allá de los límites del marco de observación tenido en cuenta para la figura 12.1, se logra una condición en la que la temperatura de carga es en casi todo el volumen del material de almacenamiento en las unidades 104, 204 de termoacumulador, con la única excepción, en cualquier caso dependiendo de la cantidad de tiempo usado para la carga, encontrándose posiblemente en el último dispositivo 100, 200 con respecto a la trayectoria de flujo del fluido de trabajo caliente. La carga de los dispositivos 100, 200 puede mantenerse de una manera completamente pasiva durante periodos breves gracias a la provisión del estado de aislamiento térmico IL, y durante largos periodos de tiempo (figura 12.2) puede mantenerse haciendo circular un caudal de flujo de fluido caliente de mantenimiento (menor que el caudal de carga). Debe observarse que en condiciones dadas y para un periodo de tiempo dado es posible garantizar un caudal constante del fluido termovector al usuario a la temperatura (máxima) requerida incluso en condiciones de carga parcial de todo el volumen de almacenamiento, siempre que quede al menos un módulo (o una fracción del mismo) del conjunto de módulos a una temperatura promedio mayor que la requerida por el usuario.

Por último, la figura 12.3 posterior ilustra la etapa de descarga del conjunto de dispositivos 100, 200 de almacenamiento. El flujo de fluido frío que incide sobre el conjunto a través del puerto \*IN reduce, de manera relativamente rápida, la temperatura del material de almacenamiento en el primer dispositivo 100, 200 con el que interacciona el fluido a lo largo del trayectoria de flujo. Al final del marco de observación objeto de la figura 12.3, casi toda la energía térmica almacenada en el primer dispositivo de almacenamiento se transfirió al fluido de trabajo frío que, por tanto, aumentó la temperatura del mismo. Esto se refleja en la interacción térmica con los dispositivos de almacenamiento para energía térmica posteriores: el segundo dispositivo, con el que interacciona el fluido de trabajo ya a una mayor temperatura con respecto a la temperatura de flujo de entrada del sistema, transfiere una menor cantidad de energía térmica restante para una parte sustancial (más del 60 % aproximadamente) todavía a la temperatura de carga. El fenómeno se amplifica adicionalmente en el último dispositivo 100, 200 del conjunto, que permanece cargado de manera casi integral, dado que el fluido ya se ha calentado a una temperatura incluso mayor (en función de la demanda del usuario).

Las figuras 13.1 y 13.2 posteriores ilustran una vez más las etapas de descarga de dispositivos de almacenamiento para energía térmica, pero mientras que la figura 13.1 ilustra un conjunto de dispositivos según la invención (los métodos de conexión son los de la figura 10), la figura 13.2 ilustra tres perfiles de iso-temperatura A, B, C parametrizados con respecto a la evolución temporal con referencia a un dispositivo de almacenamiento térmico de aceite o sales fundidas convencional (IN y OUT son los puertos de entrada y salida del fluido de trabajo).

La diferencia en términos operativos y eficiencia es clara: en un conjunto de dispositivos de almacenamiento térmico según la invención, el proceso de descarga es extremadamente uniforme y el fluido de trabajo puede acondicionarse térmicamente con alta eficiencia incluso considerando alta demanda de caudal de los mismos por el usuario. Además, la conexión en serie y/o en paralelo de los dispositivos 1, 100, 200 de almacenamiento según la invención proporciona sustancialmente un sistema de intercambios térmicos concentrados debido al hecho de que las unidades de termovector posteriores están separadas entre sí por una interrupción térmica correspondiente a la sección entre dispositivos (entre dos dispositivos posteriores). Esto limita enormemente, si no cancela totalmente, los intercambios térmicos parásitos en la dirección axial (en particular entre unidades de termoacumulador adyacentes), concentrando los intercambios térmicos en la dirección transversal al flujo, maximizando la eficiencia de los mismos.

Una vez más, cuando tanto el fluido caliente/de carga como el fluido frío/de descarga fluyen simultáneamente en el sistema, o cuando sólo circula uno de los dos, cada una de las unidades 102, 202 de termovector se comporta, con fines de intercambio térmico, como una sección aislada de un intercambiador de calor separado por medio de interrupciones térmicas de las secciones, de manera similar a lo que se describe en la solicitud de patente número 10201600009566 con fecha del 29 de enero de 2016.

En realidad, las interrupciones térmicas que se proporcionan obviamente entre un dispositivo 100, 200 de almacenamiento para energía térmica y el posterior permiten segregar físicamente, en los espacios, porciones de material de almacenamiento térmico susceptibles de tener generalmente temperaturas que podrían ser incluso muy diferentes entre sí.

Si este no es el caso, el gradiente térmico entre dos unidades 4 de termoacumulador posteriores crearía un flujo de calor en el material de almacenamiento que se extiende por conducción a lo largo de la dirección longitudinal del sistema. Esto nivelaría, en tiempos suficientemente largos, y homogeneizaría la temperatura, provocando por tanto una degradación del calor almacenado, o una pérdida de "calidad" del calor, que haría que fuese menos "valioso" y utilizable de forma más escasa.

Tal como se analizó previamente en parte, es esta solución particular, que extiende también la observación a los dispositivos 1 dispuestos como un conjunto, lo que permite, independientemente de la carga residual promedio de todo el conjunto de módulos 1, 100, 200, siempre que haya una región totalmente cargada del conjunto, cualquiera que sea su extensión (es decir, a la temperatura de carga de diseño máxima  $T_{MAX}$ ), es posible garantizar la constancia de la temperatura de salida del fluido de usuario, aplicándose el mismo caso para el caudal del mismo (dentro de un intervalo de funcionamiento dado).

La dispensación de un caudal constante a una temperatura constante, ambos especificados por el usuario final, se vuelve más duradera a lo largo del tiempo debido a (en combinación, o el segundo punto sólo como mucho):

- dotar el módulo 100, 200 de almacenamiento individual de interrupciones térmicas internas, y
- el método de montaje de módulos 1, 100, 200 de almacenamiento consecutivos (separados térmicamente de manera física usando los mismos conductos de conexión) para formar una célula de almacenamiento térmico.

La constancia de la temperatura y el caudal dispensados al usuario puede garantizarse durante un periodo de duración que se extiende dependiendo de cómo de baja es la temperatura y/o el caudal requeridos por el usuario. En caso de que la temperatura de funcionamiento requerida por el usuario sea menor que la temperatura de

almacenamiento máxima, se proporcionan ambas especificaciones enviando sólo una porción predeterminada del caudal de fluido de trabajo en el sistema de almacenamiento. Esto calentará hasta la máxima temperatura disponible instante a instante (dependiendo de la carga residual de los módulos individuales que forman la célula térmica), y se mezclará con un caudal de fluido termovector predeterminado enviado a su vez a los conductos de derivación. A medida que avanza el tiempo, el caudal de derivación se reduce progresivamente mientras que el caudal enviado al módulo aumenta progresivamente, de modo que el caudal acumulativo resultante enviado al usuario es siempre constante, aplicándose el mismo caso a la temperatura del mismo.

Al contrario, en caso de que la temperatura de funcionamiento requerida por el usuario sea igual a la temperatura de almacenamiento máxima, las especificaciones de temperatura y caudal constantes del usuario pueden mantenerse sólo debido a las interrupciones térmicas y durante un periodo de tiempo muy corto, es decir siempre que hay al menos un elemento de almacenamiento que tiene una temperatura igual a la máxima.

La célula térmica estará totalmente descargada (para satisfacer las peticiones del usuario) cuando el caudal de derivación se vuelve nulo: en ese instante, la temperatura y el caudal del fluido que fluye fuera de la unidad de termovector son exactamente los requeridos por el usuario y, si el caudal se mantiene todavía constante, la temperatura respecto al aparato disminuirá inevitablemente por debajo de la especificación.

El sistema así concebido funciona perfectamente de manera similar a una célula eléctrica recargable habitual, que puede dispensar una corriente constante y una tensión constante, hasta que esté suficientemente cargada.

Al contrario, en dispositivos de almacenamiento térmico convencionales que usan fluidos tales como aceite o sales fundidas (figura 13.2), la transferencia de calor al material de almacenamiento térmico se superpone a la transferencia del calor principal entre el fluido de trabajo y el material de almacenamiento térmico, como efecto parásito, debido al fenómeno de retromezclado representado esquemáticamente por el par de flechas de circuitos en la figura 13B. Por tanto, se disipa irremediamente una cantidad considerable de flujo térmico, que podría transferirse de otro modo al fluido de trabajo, en el interior del sistema a través de intercambio térmico por convección entre porciones de volumen de fluido a diferentes temperaturas que entran en contacto entre sí.

Con referencia a las figuras 14 a 18 posteriores, sigue una descripción de una realización adicional de un dispositivo de almacenamiento para energía térmica, indicado por el número de referencia 300, según la invención.

El dispositivo 300 es todavía del tipo en el que la segregación entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador es sólo funcional, incorporándose la primera en esta última, pero se caracteriza porque tiene un lado de carga y un lado de descarga que están segregados y son asimétricos. En particular, la geometría del lado de carga es diferente de la del lado de descarga para permitir la gestión optimizada de dos tipos diferentes de fluidos, para la carga y descarga, respectivamente.

El dispositivo 300 de almacenamiento incluye una unidad 302 de termovector incorporada en una unidad 304 de termoacumulador. La unidad 304 de termoacumulador es una matriz de material de almacenamiento térmico sólido (con estructura coherente o granular compactada) dentro de la que se alojan un primer haz 306! de tubos configurado para la circulación del fluido de carga (fluido caliente, preferiblemente vapor de agua) y un segundo haz 306\* de tubos configurado para la circulación de un fluido de descarga (fluido frío, preferiblemente aceite diatérmico).

El primer haz 306! de tubos incluye un conjunto de tubos coplanarios y adyacentes (seis en esta realización) en conexión hidráulica con un colector 308 de entrada (puerto !IN) y un colector 310 de salida (puerto !OUT), ambos proporcionados como un cuerpo tubular con una conexión de extremo para conectarlo al sistema hidráulico de circulación de vapor.

El segundo haz 306\* de tubos incluye en su lugar uno o más tubos (dos en esta realización) que, en el puerto de entrada \*IN, se conectan a una válvula V300 de regulación (preferiblemente automatizada, por ejemplo dotando los equipos móviles de medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático) con una entrada y dos salidas, en el que la entrada está configurada para recibir un caudal de un fluido frío (aceite diatérmico); una primera salida proporciona funcionalmente el puerto \*IN y una segunda salida termina en un canal BP\* de derivación (frío).

En el extremo opuesto, el canal BP! de derivación se conecta a la salida \*OUT del haz 306\* de tubos que conecta las dos trayectorias de flujo en una única brida de conexión.

Con referencia a la figura 15A, la unidad 304 de termoacumulador se proporciona como una matriz realizada de material sólido dentro de la que se incorporan los haces 306! y 306\* de tubos y, además, encerrada a su vez en una camisa IL realizada de material aislante, por medio de la que se proporciona la función de mantenimiento pasivo de la carga del sistema (además de limitar la dispersión de energía térmica hacia el exterior).

Tal como puede observarse en la figura 15A (y además con referencia a la figura 15B), cuando el material de almacenamiento es del tipo sólido coherente, la matriz que sustituye a la unidad 304 de termoacumulador se proporciona convenientemente en tres secciones 304A (superior), 304B (intermedia), 304C (inferior), en las que las

secciones 304A y C cierran la sección 304B de forma empaquetada y definen canales para insertar haces 306\* y 306! de tubos en las superficies de contacto respectivas con la sección 304B.

5 En lo que respecta a la vista de la figura 14 y la sección de la figura 15A, corresponden a una unidad modular de un conjunto de dispositivos 300 de almacenamiento para energía térmica. Con respecto a esto, debido a la considerable flexibilidad del dispositivo de almacenamiento en el que se basa la invención, son incluso posibles dos opciones diferentes para proporcionar un conjunto de dispositivos, en particular:

10 i) la suma de unidades modulares del tipo visible en la figura 14, 15A, conectadas en serie, en las que cada unidad modular está asociada a una válvula V300 respectiva para prever un control independiente de la derivación.

15 ii) la suma de las unidades modulares mencionadas anteriormente, conectadas en serie, pero con una única válvula V300 que depende de toda la serie de dispositivos de almacenamiento, y con un único canal BP\* de derivación que se ramifica con respecto a toda la serie. Este es el caso que puede observarse en la figura 16.

20 Con respecto a esto, debe observarse que la matriz de la unidad 304 se inserta en una camisa IL realizada de material aislante que prevé preferiblemente un espacio intermedio en los extremos axiales opuestos de la matriz. Cada espacio intermedio sirve como interrupción térmica que, en el momento del montaje de los dispositivos 300 como un conjunto, sirve realmente como una única célula térmica en la que el complejo de matrices 304 es equivalente a una única matriz con interrupciones térmicas previstas por los espacios intermedios.

En cuanto a las características del material de almacenamiento térmico de la unidad 304 de termoacumulador y el funcionamiento, se aplicarán todas las observaciones expuestas anteriormente.

25 Por último, con referencia a las figuras 17 a 19, todavía una realización adicional de un dispositivo de almacenamiento para energía térmica según la invención se indica con el número de referencia 400.

30 El dispositivo 400 es, una vez más, del tipo en el que la segregación entre la unidad de termovector y la unidad de termoacumulador es sólo funcional, incorporándose la primera en esta última, y se caracteriza porque tiene un lado de carga y un lado de descarga que están segregados y son simétricos. En particular, la geometría del lado de carga es idéntica a la del lado de descarga, pero los haces de tubos respectivos se disponen en lados opuestos del dispositivo 400.

35 El dispositivo 400 de almacenamiento incluye una unidad 402 de termovector incorporada en una unidad 404 de termoacumulador. La unidad 304 de termovector es una matriz de material de almacenamiento térmico sólido (con estructura coherente o granular compactada) dentro de la que se alojan un primer haz 406! de tubos configurado para la circulación del fluido de carga (fluido caliente, preferiblemente vapor de agua) y un segundo haz 406\* de tubos configurado para la circulación de un fluido de descarga (fluido frío, preferiblemente aceite diatérmico).

40 El primer haz 406! de tubos incluye un par de tubos que son paralelos, coplanarios y adyacentes, y aplicándose el mismo caso al segundo haz 406\* de tubos, cuyos dos tubos son paralelos entre sí y paralelos a los tubos del haz 406!.

45 Con referencia a las figuras 17 a 19, la unidad 404 de termoacumulador se proporciona como una matriz de material sólido dentro de la que se incorporan los haces 406! y 406\* de tubos. Obviamente, la totalidad puede cubrirse mediante una camisa realizada de material de aislamiento térmico. Las figuras no ilustran un recubrimiento 400 de aislamiento térmico, sino más bien una camisa IL que envuelve un conjunto S400 de cuatro dispositivos 400, por medio de lo que se proporciona la función de mantenimiento pasivo de la carga del sistema además de limitar la dispersión de energía térmica hacia el exterior.

50 Tal como puede observarse en la figura 17A (y además con referencia a la figura 17B), cuando el material de almacenamiento es del tipo sólido coherente, la matriz que sustituye a la unidad 404 de termoacumulador se proporciona convenientemente en tres secciones 404A (superior), 404B (intermedia), 404C (inferior), en las que las secciones 404A y C cierran la sección 404B de forma empaquetada y definen canales para insertar haces 406\* y 406! de tubos en las superficies de contacto respectivas con la sección 404B.

55 Cuando los dispositivos 400 se conectan como un conjunto tal como puede observarse en las figuras 17A a 17C, los haces 406! y 406\* de tubos están en conexión hidráulica por medio de conductos de conexión sustancialmente en forma de U. La trayectoria de los circuitos de carga y descarga, respectivamente, serpentea a lo largo de la extensión del conjunto debido a la conformación de los conductos de conexión. En las figuras, las entradas y salidas de los circuitos caliente y frío se indican con las referencias !IN, !OUT e \*IN, \*OUT respectivamente (según la convención establecida). En este caso también, la presencia de conductos de conexión proporciona realmente interrupciones térmicas en la unidad de termoacumulador global del conjunto S400, incluso aunque esto no descarte el hecho de que puedan proporcionarse las unidades 404 de termoacumulador individuales que incluyen interrupciones térmicas en la matriz de cada una de ellas.

## ES 2 975 156 T3

En cuanto a las características del material de almacenamiento térmico de la unidad 404 de termoacumulador y el funcionamiento, se aplicarán todas las observaciones proporcionadas anteriormente. Con respecto a esto, la figura 17C ilustra una distribución de temperatura en el conjunto S400 durante un instante transitorio de carga general.

5 Por último, con referencia a las figuras 18 y 19, sigue otra descripción de una célula térmica adicional que puede proporcionarse conectando varios dispositivos 400 en serie. La figura 18 ilustra el conjunto completo, mientras que la figura 19 ilustra la unidad modular del conjunto, indicada con la referencia M400 y desde la que parte la siguiente descripción.

10 La unidad M400 incluye un único dispositivo 400 de almacenamiento para energía térmica preferiblemente encerrado en una camisa realizada de material aislante y montada en un marco F400 de soporte.

15 Los puertos de entrada y salida de los circuitos frío y caliente (haces 400! y 400\* de tubos) se indican con las referencias !IN, !OUT e \*IN, \*OUT respectivamente (según la convención establecida). La siguiente descripción se proporciona designando la posición de las entradas y salidas según un patrón de flujo de funcionamiento a contracorriente para los flujos caliente y frío. Obviamente, el experto habitual en la técnica puede adaptar la siguiente descripción también a diversas disposiciones de los puertos, dado que la disposición de las conexiones se sigue de manera consiguiente.

20 Inmediatamente aguas abajo de los puertos \*OUT e !IN se disponen una primera y una segunda válvulas V\* y V! de cierre (preferiblemente automatizadas, por ejemplo dotando los equipos móviles de medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático). El término "aguas arriba" se usa en el presente documento sin hacer referencia necesariamente al sentido de flujo del fluido en el circuito, sino simplemente tomando el núcleo de la figura (es decir, el dispositivo 400) como la posición "aguas abajo".

25 Cuando están en la posición abierta, las válvulas V\* y V! permiten que fluya el caudal a su través desde y hacia el dispositivo 400. Cuando están en la posición cerrada, cortan el flujo continuo del caudal desde y hacia el dispositivo 400.

30 Todavía aguas arriba de las válvulas V\* y V! se disponen una primera y una segunda ramificaciones que se conectan a los conductos de derivación frío (BP\*) y caliente (BP!), en las que se ajustan las válvulas BPV\* de derivación respectivas para el circuito frío y las válvulas BPV! de derivación para el circuito caliente (una vez más, preferiblemente automatizadas, por ejemplo dotando los equipos móviles de medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático). Las válvulas BPV\* y BPV! de derivación regulan el flujo continuo de fluido a lo largo de los conductos de derivación respectivos, que terminan en el extremo opuesto con una brida de conexión correspondiente, BPCON\* (frío) y BPCON! (caliente).

35 Todavía aguas arriba de la primera y segunda ramificaciones se disponen, todavía en el lado caliente o frío respectivo del sistema, una primera y una segunda conexión de ramificación BPR\* (frío), BPR! (caliente) que sirven como punto de conexión para las bridas BPCON\* (frío) y BPCON! (caliente) de la unidad M400 modular adyacente en la serie cuando se monta el conjunto.

40 Por último, todavía aguas arriba de las ramificaciones BPR\* y BPR! se disponen una tercera y una cuarta válvulas de cierre, VCON\* (frío) y VCON! (caliente), preferiblemente automatizadas, por ejemplo dotando los equipos móviles de medios de impulsión o por medio de accionamiento neumático, aguas arriba de las que se disponen a su vez puertos de conexión, \*CON (frío) y !CON (caliente), este último designado para la conexión con los puertos \*IN y !OUT de la unidad M400 modular adyacente en la serie cuando se monta el conjunto.

45 Cuando se conmuta en la posición cerrada, las válvulas de cierre VCON\* (frío) y VCON! (caliente) permiten excluir completamente la unidad M400 de la serie, que incluye los conductos BP\* y BP! de derivación correspondientes (no pudiendo lograrse esto mediante las válvulas V\* y V!).

50 El montaje de la serie de unidades M400 según la conexiones objeto de descripción permite proporcionar una célula térmica en la que la unidad de termovector definida por la serie de las unidades de termovector individuales de cada dispositivo 400 se intercala a intervalos con interrupciones térmicas transversales a la dirección de flujo del fluido de trabajo frío/caliente (paralela en el presente documento) de manera idéntica a lo que se ha descrito anteriormente con respecto a los dispositivos 100, 200, 300, 400, con los mismos efectos beneficiosos detallados previamente.

55 En conclusión de esta divulgación, debe tenerse en cuenta el siguiente formalismo general que permite establecer una analogía entre un conjunto de dispositivos 100, 200, 300, 400 de almacenamiento para energía térmica según la invención y un circuito eléctrico.

60 A continuación, y en combinación con el diagrama según la figura 20, hay una tabla de correspondencia entre cantidades térmicas y eléctricas en las que se basa la analogía.

65

Térmicas			Eléctricas		
diferencia de temperatura	$\Delta T$	K	diferencia de tensión	$\Delta V$	V
gradiente de temperatura	grad(T)	K/m	campo eléctrico	grad(V)	V/m
flujo de calor	$j_h$	W/m <sup>2</sup>	flujo de carga	I	A/m <sup>2</sup>
resistencia térmica por unidad de área	r	m <sup>2</sup> *K/W	resistencia por unidad de área	P <sub>áreal</sub>	$\Omega \cdot m^2$
resistencia térmica	R	K/W	resistencia eléctrica	R	$\Omega$
conductancia térmica	G <sub>t</sub>	W/K	conductancia eléctrica	G <sub>e</sub>	A/V
conductividad térmica	K	W/(m*K)	conductividad eléctrica	$\sigma$	A/(V*m)
potencia térmica	Q	W	corriente eléctrica	I	A
capacidad térmica	C <sub>p</sub>	J/K	capacidad eléctrica	C	F
-	-	-	potencia eléctrica	P	W
constante de tiempo	$\tau_t$	s	constante de tiempo	$\tau_e$	s

Sabiendo que la resistencia eléctrica R<sub>el</sub> de un conductor puede expresarse como:

$$R_{el} = (\rho L_c)/A = L_c/(\sigma A)$$

siendo  $\rho$  la resistividad eléctrica,  $\sigma$  la conductividad eléctrica,  $L_c$  una dimensión característica del conductor a lo largo de una dirección de referencia (por ejemplo, la longitud del conductor) y A la sección transversal del conductor, puede redactarse de manera similar una expresión que define la resistencia térmica:

$$R_{term} = L_c/(\kappa A)$$

donde  $\kappa$  es la conductividad térmica y  $L_c$  y A mantienen el significado físico de dimensión característica del conductor, térmico, a lo largo de una dirección de referencia y sección transversal.

En el sistema térmico esquematizado en la figura 20, que comprende dos dispositivos 100, 200, 300, 400 de almacenamiento térmico conectados como un conjunto (la forma geométrica puede no representar necesariamente la forma real: esto es sólo un caso de esquematización) y separados por una interrupción térmica, pueden identificarse particularmente una resistencia térmica axial y una radial. Las referencias en la figura 20 designan respectivamente

L: la dimensión característica en la dirección transversal/radial de la unidad de termoacumulador; meramente a modo de ejemplo, un diámetro (figura 20) o un radio para geometrías cilíndricas o esféricas, o incluso geometrías prismáticas, o un lado de la sección en caso de geometrías en forma de paralelepípedo,

L<sub>axial</sub>: longitud en la dirección axial/longitudinal de la unidad de termoacumulador,

L<sub>int</sub>: longitud en la dirección axial/longitudinal de la interrupción térmica entre dos unidades de termoacumulador adyacentes.

Dicho esto, la resistencia térmica en la dirección axial/longitudinal puede expresarse según las siguientes correlaciones (que no proporcionan una dependencia exacta, pero deben considerarse como una correlación de proporcionalidad o simplemente una definición operativa):

$$R_{t,axial} = N \cdot [L_{axial}/(\kappa_{mat} \cdot L^2)] + (N-1) \cdot [L_{int}/(\kappa_{int} \cdot L^2)]$$

donde, adicionalmente a lo anterior:

N es el número de dispositivos de almacenamiento térmico (considerados con una unidad de termoacumulador sin interrupciones térmicas internas, de ahí N coincide con el número de unidades de termoacumulador),

$\kappa_{mat}$  es la conductividad térmica del material de la unidad de termoacumulador,

dado que L es la dimensión característica en la dirección transversal/radial de la unidad de termoacumulador, la dimensión característica de la dirección radial, cuando aparece al cuadrado (L<sup>2</sup>), indica el área de la sección transversal de la unidad de termoacumulador,

$\kappa_{int}$  es la conductividad térmica del material que forma la interrupción térmica (por ejemplo, aire o material aislante).

La resistencia térmica en la dirección radial puede expresarse en su lugar de la siguiente manera (una vez más la correlación no proporciona una dependencia exacta, pero debe considerarse una correlación de proporcionalidad o simplemente una definición operativa):

5

$$R_{t,radial} = L/(N \cdot \kappa_{mat} \cdot S_{scambio})$$

10 donde  $S_{scambio}$  es la superficie de intercambio entre conductos de flujo para el fluido de trabajo y la unidad de termoacumulador (tal como se describió previamente) y, por tanto, indica la "sección de flujo continuo" del calor en la dirección radial. Los otros símbolos mantienen el significado adoptado previamente.

15 El número N de dispositivos de almacenamiento (por tanto de las unidades de termovector), y de ahí el número N-1 de las interrupciones térmicas, puede establecerse, en función de las características de los dispositivos 100, 200 de almacenamiento, 300, 400, suponiendo que la razón  $\epsilon$  entre la resistencia térmica en la dirección radial  $R_{t,radial}$  y la resistencia térmica en la dirección axial/longitudinal  $R_{t,axial}$  tal como se definió anteriormente es de menos del 20 %, o más preferiblemente de menos del 10 %, o incluso más preferiblemente de menos del 2 %, con el objetivo de limitar las dispersiones térmicas tanto como sea posible por medio de una segregación espacial adecuada del calor almacenado.

20 A modo de ejemplo, aplicando el criterio expuesto anteriormente en forma inversa, aplicado a N=1 dispositivos de almacenamiento (conjunto unitario, sin interrupción térmica), puede proporcionarse

$$(R_{t,radial}/R_{t,axial}) < \epsilon,$$

25 a partir de lo que

$$[L/(\kappa_{mat} \cdot S_{scambio})]/[L_{axial}/(\kappa_{mat} \cdot L^2)] < \epsilon,$$

30 por tanto

$$(L/L_{axial}) \cdot (L^2/S_{scambio}) < \epsilon$$

35 que corresponde a proporcionar un dispositivo 100, 200, 300, 400 de almacenamiento relativamente "largo" ( $L_{axial}$ ) y/o con extensión radial (L) relativamente "pequeña", por tanto con una alta relación de esbeltez  $L_{axial}/L$  y con una razón entre la superficie de intercambio térmico y la sección transversal característica  $L^2/S_{scambio}$  tan alta como sea posible.

40 La presencia de interrupciones térmicas según la presente invención tiene el propósito de reducir el intercambio térmico en la dirección longitudinal tanto como sea posible, facilitando el intercambio térmico en la dirección radial. Por tanto, tal como se describió, esto permite garantizar un proceso de descarga del dispositivo 100, 200, 300, 400 de almacenamiento individual y un conjunto del mismo que mantiene una dispensación de caudal de fluido al aparato a una temperatura constante para todo el proceso de descarga.

45 En caso de que la unidad de termoacumulador se extienda de manera escasa en la dirección axial/longitudinal, es decir en la dirección en la que fluyen el fluido de carga y el fluido de descarga, aunque con sentidos opuestos (los conjuntos de dispositivos 100, 200, 300, 400 funcionan de una manera a contracorriente), la elección de la difusividad térmica sola no es suficiente para reducir el intercambio térmico en la dirección longitudinal/axial (realmente, la longitud reducida en la dirección es, *per se*, un incentivo para uniformar la temperatura de intercambio térmico, especialmente si es un material con alta difusividad térmica). En este caso, las interrupciones térmicas bloquean tal intercambio térmico no deseado, de ahí, tal como queda claro a partir de la descripción anterior, aumenta el número de interrupciones térmicas a medida que se reduce el valor de  $\epsilon$  y a medida que se reduce la relación de esbeltez.

55 Las interrupciones térmicas permiten recuperar, incluso en un cuerpo de baja relación de esbeltez, las curvas de distribución de la temperatura promedio objeto de la figura 13.1 (que se proporcionan naturalmente como un cuerpo esbelto). Tales curvas pueden aproximarse realmente mediante una serie de secciones lineales horizontales que son tantas como las unidades de almacenamiento, cada una a su temperatura de funcionamiento promedio.

60 Por último, las interrupciones térmicas permiten crear una anisotropía de la difusividad térmica entre la dirección radial y la dirección axial/longitudinal, lo que permite proporcionar el rendimiento deseado incluso cuando la geometría de una unidad de almacenamiento individual de una masa equivalente no lo permitiría.

Por tanto, esencialmente pueden resumirse las ventajas de la presente invención con respecto a las soluciones conocidas para almacenamiento térmico en la siguiente lista:

- 5 a) ausencia de piezas mecánicas móviles;
- b) ausencia de fluidos de almacenamiento en movimiento;
- 10 c) construcción que es sencilla y adecuada para montaje modular;
- d) alta razón entre energía térmica almacenable y volumen de almacenamiento debido a la buena capacidad térmica volumétrica del material de almacenamiento (alto calor específico y alta densidad) con respecto a sistemas de aceite o sales fundidas convencionales, que requieren altos volúmenes de líquidos;
- 15 e) rápida transferencia de calor (alta potencia térmica específica) debido a la alta conductividad térmica del material de almacenamiento;
- f) temperatura y caudal para dispensar el fluido de trabajo al usuario casi constantes o escasamente variables a lo largo del tiempo debido a la posibilidad de configuraciones modulares en serie/en paralelo que incluyen varios dispositivos de almacenamiento y un control preciso de la dosificación del caudal enviado realmente en los módulos, con respecto al caudal total requerido por el aparato;
- 20 g) gestión ventajosa de la calidad de la energía almacenada con respecto a los sistemas de almacenamiento de aceite o sales fundidas convencionales, en los que, durante la etapa de mantenimiento o descarga, se producen retomezclado y degradación del calor almacenado, a lo largo del tiempo. En realidad, en el dispositivo 1, 100, 200 (y conjuntos relativos), añadiendo un número dado de interrupciones térmicas, incluso en el material de almacenamiento térmico (dependiendo de la conductividad térmica y la extensión espacial del mismo y particularmente requerido en caso de material de almacenamiento térmico del tipo fluido) según la invención, la transferencia de energía al fluido de trabajo puede continuar en condiciones óptimas, según las especificaciones del usuario siempre que al menos una porción del sistema esté totalmente cargada;
- 25 h) bajos costes de funcionamiento y operaciones de mantenimiento limitadas;
- i) bajos costes de fabricación, debido al hecho de que los materiales más caros (aquellos capaces de resistir frente a una alta presión y, por tanto, con funciones estructurales) sólo se usan para tuberías en las que fluyen fluidos termovectores, que constituyen una fracción marginal del volumen total del sistema de almacenamiento;
- 30 j) ausencia de juntas de dilatación para compensar dilataciones diferenciales, en las que las tuberías tienen libertad para dilatarse a lo largo de la dirección de extensión longitudinal de las mismas, en la matriz de almacenamiento estático, o en la matriz de material de metal (si está presente), a su vez en contacto con el verdadero material de almacenamiento;
- 35 k) controlabilidad de los tiempos de carga y descarga dado que es posible modular, dentro de un amplio intervalo, la temperatura y el caudal de los fluidos de carga y de descarga debido a la red de conductos y válvulas que dispone cuando se conectan los dispositivos de almacenamiento para energía térmica como un conjunto. Por tanto, es posible aprovechar la prontitud del sistema para intercambiar grandes cantidades de energía en un pequeño plazo de tiempo (debido a la alta conductividad térmica) y sin que se degrade el sistema (debido a las propiedades de estabilidad térmica y refractarias del material de almacenamiento).
- 40
- 45

Obviamente, los detalles de construcción y las realizaciones pueden variar ampliamente con respecto a lo que se ha descrito e ilustrado, sin apartarse del alcance de protección de la presente invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

50

Tabla 1 - FOM para diversos materiales							
	Grafito	Aluminio	Hierro fundido	Hormigón*	Arena*	Ladrillos refractarios*	Valores límite según la invención
$\kappa$ [W/(m*K)]	120	235	35	1,8	0,35	1	> 30
$c_p$ [J/(kg*K)]	710	900	420	880	910	1150	> 600
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1730	2700	7000	2300	1550	2000	> 1000
$E_{wt}$ [kWh/kg]	0,053	0,067	0,033	0,065	0,061	0,083	> 0,02
$E_{vol}$ [kWh/m <sup>3</sup> ]	91	180	229	149	95	166	> 45
$T_{m\acute{a}x}$ [°C]	3000	650	1200	500	1700	1400	> 350

ES 2 975 156 T3

$\alpha$ [mm <sup>2</sup> /s]	98	97	12	0,89	0,25	0,43	10 < $\alpha$ < 150 35 < $\alpha$ < 120 (preferiblemente) 50 < $\alpha$ < 100 (más preferiblemente)
$\tau$ [min]	9,8	11	40	548	1944	1108	< 80**
$\tau_{\text{spec}}$ [min/kWh]	6,24	3,54	10,5	221	1074	375	< 25**
$\sigma_{\tau}$ [m <sup>2</sup> /(kWh/min)]	0,293	0,166	0,470	10,4	55,6	18,1	< 1**
* material no utilizable, proporcionado únicamente con fines de comparación; ** ciclo de funcionamiento: T <sub>mín</sub> =60 °C, T <sub>máx</sub> 340 °C							

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (100; 200; 300; 400) de almacenamiento para energía térmica, que incluye:

- 5 - una unidad (102; 202; 302; 402) de termovector, y
- una unidad (104; 204; 304; 404) de termoacumulador

en el que:

- 10 - dicha unidad (102; 202; 302; 402) de termovector incluye uno o más conductos (106, 106!, 106\*; 206; 306!, 306\*; 406!, 406\*) de flujo para fluido de trabajo,
- 15 - dicha unidad (104; 204; 304; 404) de termoacumulador incluye un material de almacenamiento térmico configurado para funcionar en una relación de intercambio térmico con dicho fluido de trabajo y para el almacenamiento y la liberación de energía térmica como consecuencia de un intercambio térmico con dicho fluido de trabajo, teniendo dicho material de almacenamiento térmico una difusividad térmica comprendida entre 10 y 150 mm<sup>2</sup>/s, y
- 20 - dicha unidad (102; 202; 302; 402) de termovector está incorporada dentro de dicha unidad (104; 204; 304; 404) de termoacumulador,
- 25 estando el dispositivo (100; 200; 300; 400) de almacenamiento caracterizado porque el material de almacenamiento de la unidad (104; 204; 304; 404) de termoacumulador comprende interrupciones térmicas transversales a la dirección de flujo del fluido de trabajo en la unidad de termovector.

2. Dispositivo (200; 300; 400) de almacenamiento según la reivindicación 1, en el que dicha unidad (204; 304; 404) de termoacumulador proporciona una matriz (204A, 204B; 304A, 304B, 304C; 404A, 404B, 404C) para uno o más conductos (206; 306!, 306\*; 406!, 406\*) de flujo de dicha unidad (202; 302; 402) de termovector.

3. Dispositivo (100; 200) de almacenamiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material de almacenamiento térmico tiene una difusividad térmica comprendida entre 35 y 120 mm<sup>2</sup>/s, y más preferiblemente entre 50 y 100 mm<sup>2</sup>/s.

4. Dispositivo (100; 200; 300; 400) de almacenamiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, nombradas:

L: dimensión característica en una dirección transversal/radial de la unidad de termoacumulador,

L<sub>axial</sub>: longitud en la dirección axial/longitudinal de la unidad de termoacumulador, siendo dicha dirección axial/longitudinal la dirección de flujo para dicho fluido de trabajo,

κ<sub>mat</sub>: conductividad térmica del material de la unidad de termoacumulador,

S<sub>scambio</sub>: superficie de intercambio de calor entre dichos conductos de flujo para el fluido de trabajo y la unidad de termoacumulador,

y definidas:

resistencia térmica en la dirección radial

$$R_{t,radial} = L / (N \cdot \kappa_{mat} \cdot S_{scambio})$$

resistencia térmica en la dirección axial/longitudinal

$$R_{t,axial} = [L_{axial} / (\kappa_{mat} \cdot L^2)]$$

se aplica lo siguiente:

(R<sub>t,radial</sub>/R<sub>t,axial</sub>) < 0,2, preferiblemente (R<sub>t,radial</sub>/R<sub>t,axial</sub>) < 0,1, más preferiblemente (R<sub>t,radial</sub>/R<sub>t,axial</sub>) < 0,02.

5. Conjunto de dispositivos de almacenamiento para energía térmica que incluye una pluralidad de dispositivos (100; 200; 300; 400) de almacenamiento para energía térmica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en conexión hidráulica entre sí, en el que las unidades (102; 202; 302; 402) de termovector de dispositivos (100; 200; 300; 400) de almacenamiento para energía térmica adyacentes y en

conexión hidráulica tienen una interrupción térmica entre las mismas.

6. Conjunto de dispositivos de almacenamiento para energía térmica según la reivindicación 5, en el que, nombrados:

5 L: dimensión característica en una dirección transversal/radial de la unidad de termoacumulador,  
 10  $L_{axial}$ : longitud en la dirección axial/longitudinal de la unidad de termoacumulador, siendo dicha dirección axial/longitudinal la dirección de flujo para dicho fluido de trabajo,  
 15  $\kappa_{mat}$ : conductividad térmica del material de la unidad de termoacumulador,  
 20  $\kappa_{int}$ : conductividad térmica del material que forma la interrupción térmica,  
 25  $S_{scambio}$ : superficie de intercambio de calor entre dichos conductos de flujo para el fluido de trabajo y la unidad de termoacumulador,  
 N: número de unidades de termoacumulador en el conjunto,  
 N-1: número de interrupciones térmicas en el conjunto,  
 $L_{int}$ : longitud en la dirección axial/longitudinal de la interrupción térmica entre dos unidades de termoacumulador adyacentes,

y definidas:

resistencia térmica en la dirección radial

$$R_{t,radial} = L / (N \cdot \kappa_{mat} \cdot S_{scambio})$$

resistencia térmica en la dirección axial/longitudinal

$$R_{t,axial} = N \cdot [L_{axial} / (\kappa_{mat} \cdot L^2)] + (N-1) \cdot [L_{int} / (\kappa_{int} \cdot L^2)]$$

se aplica lo siguiente:

$(R_{t,radial} / R_{t,axial}) < 0,2$ , preferiblemente  $(R_{t,radial} / R_{t,axial}) < 0,1$ , más preferiblemente  $(R_{t,radial} / R_{t,axial}) < 0,02$ .

FIG. 1

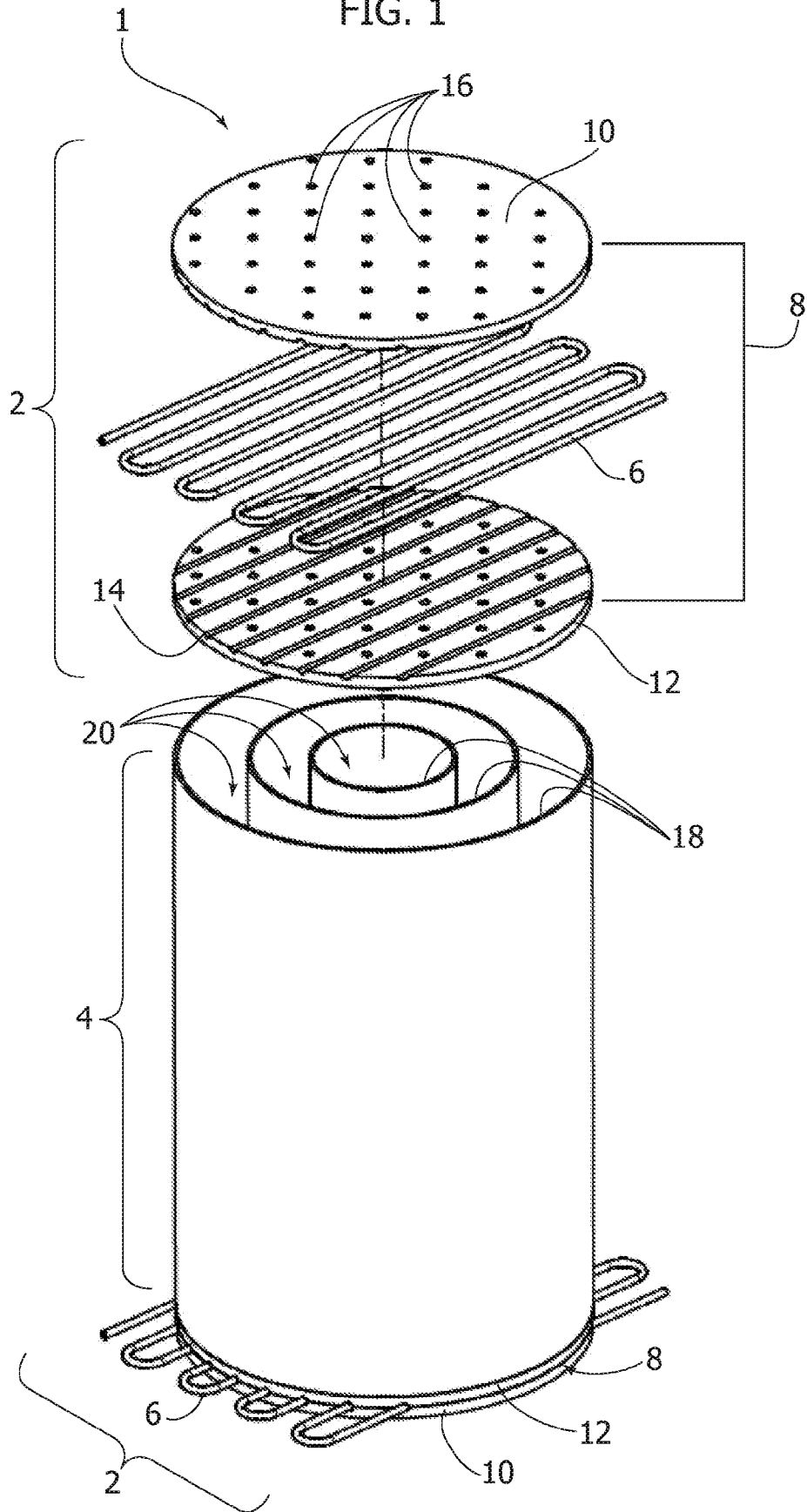


FIG. 2

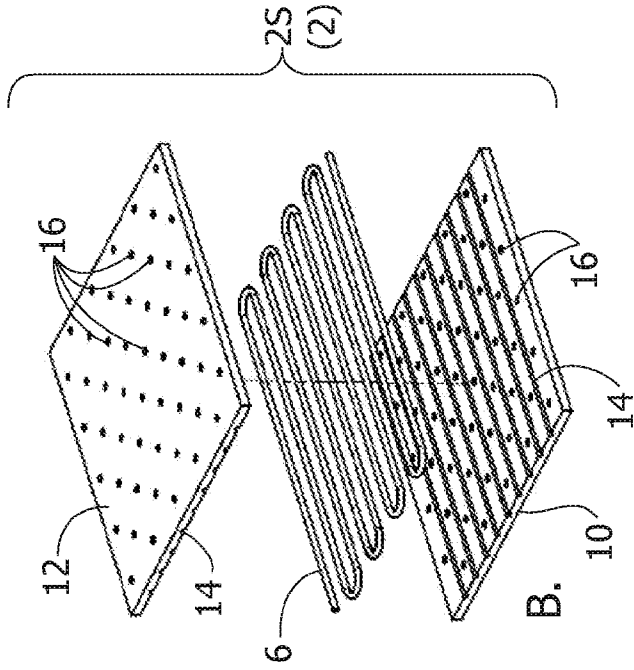


FIG. 3

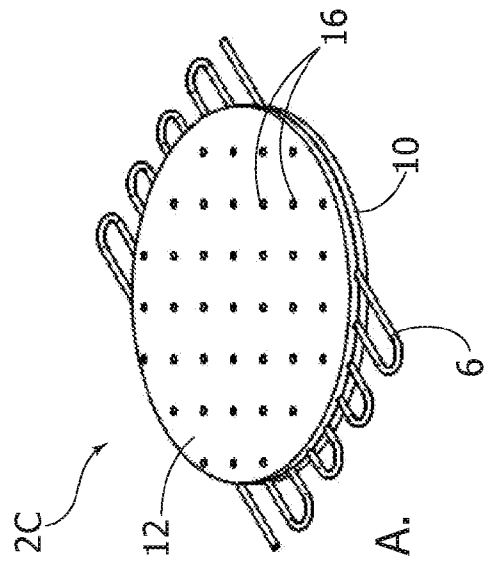
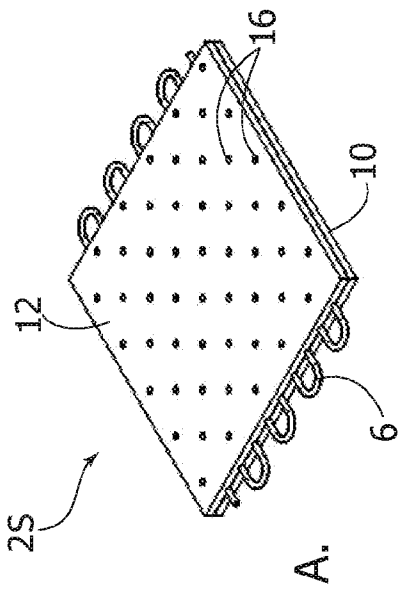
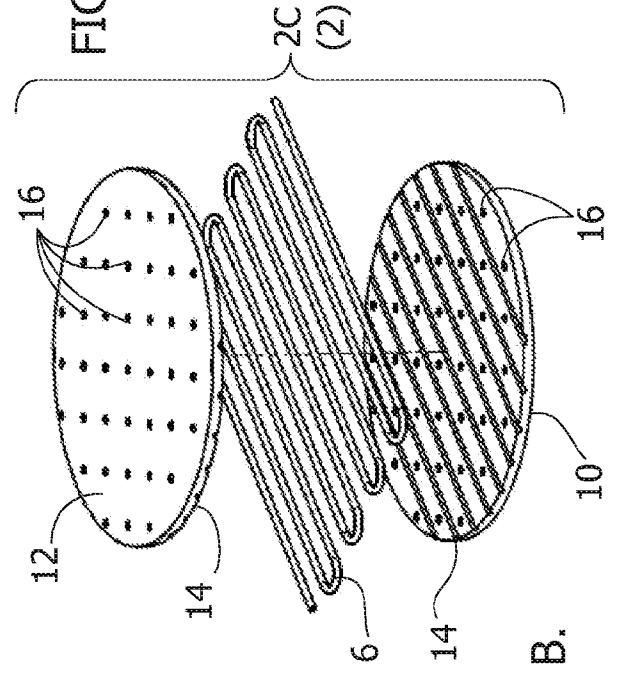


FIG. 5

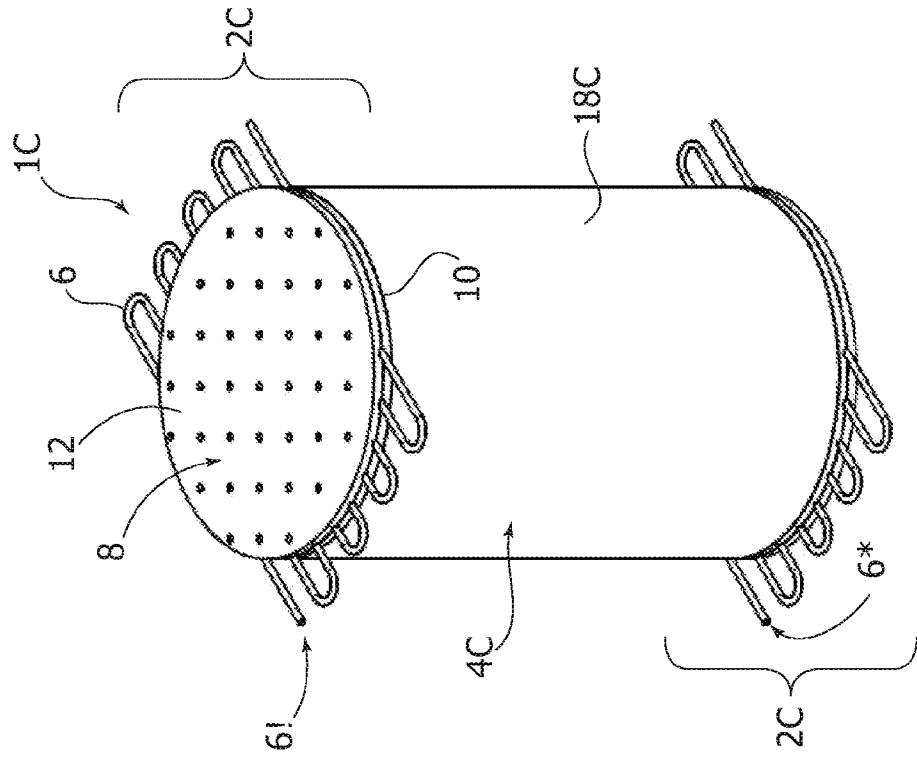
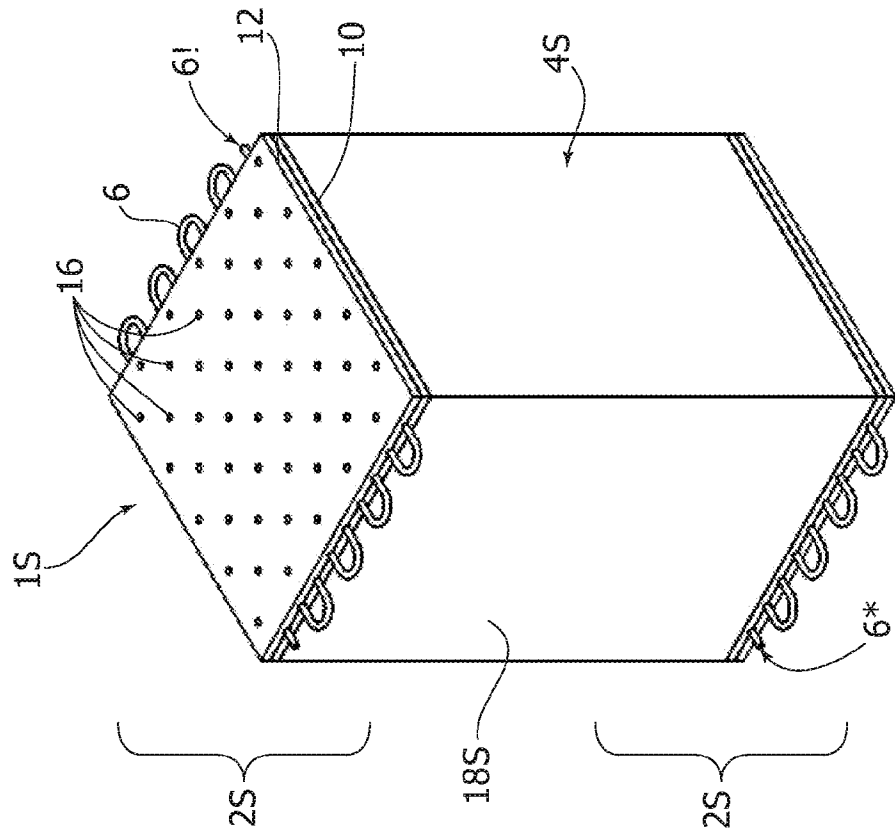


FIG. 4



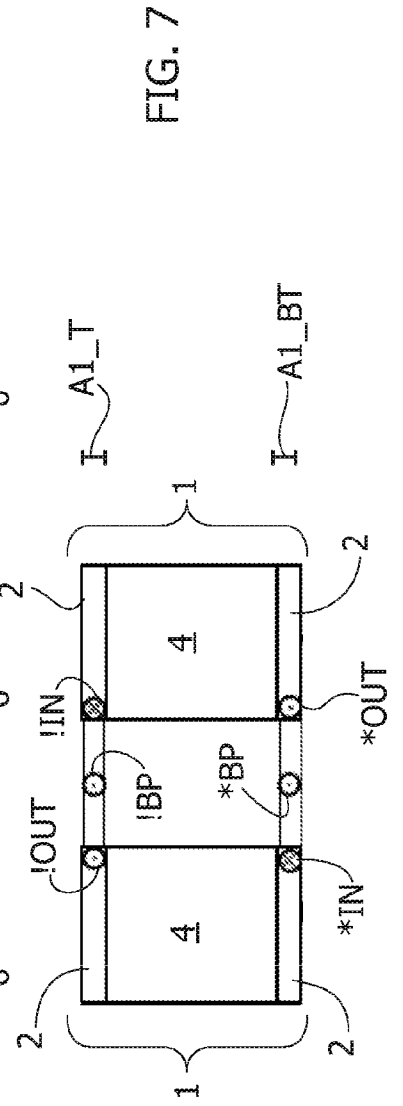
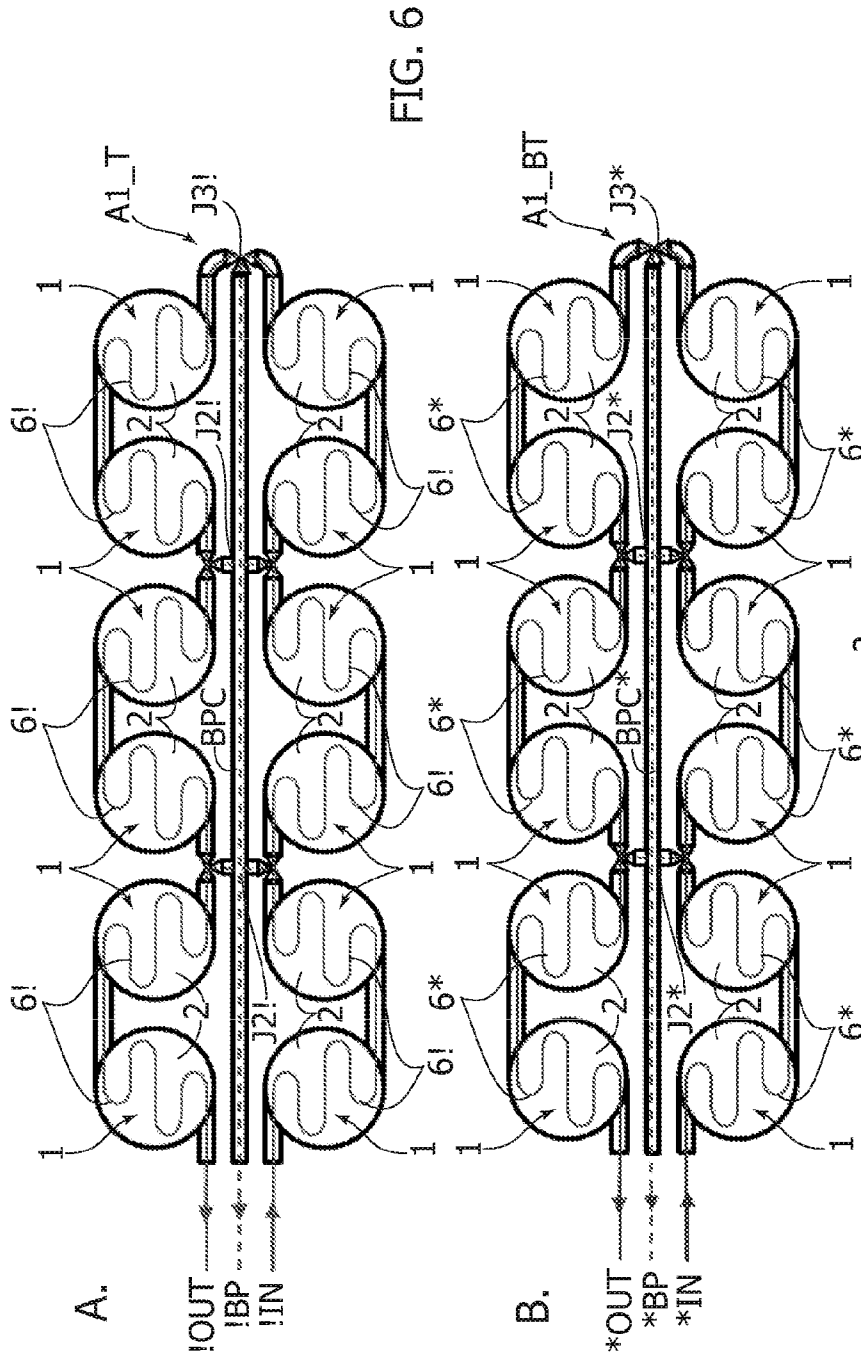


FIG. 8

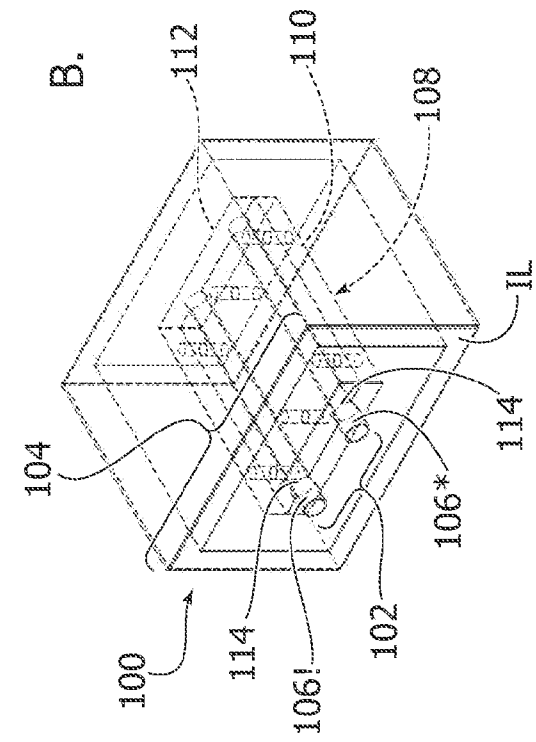
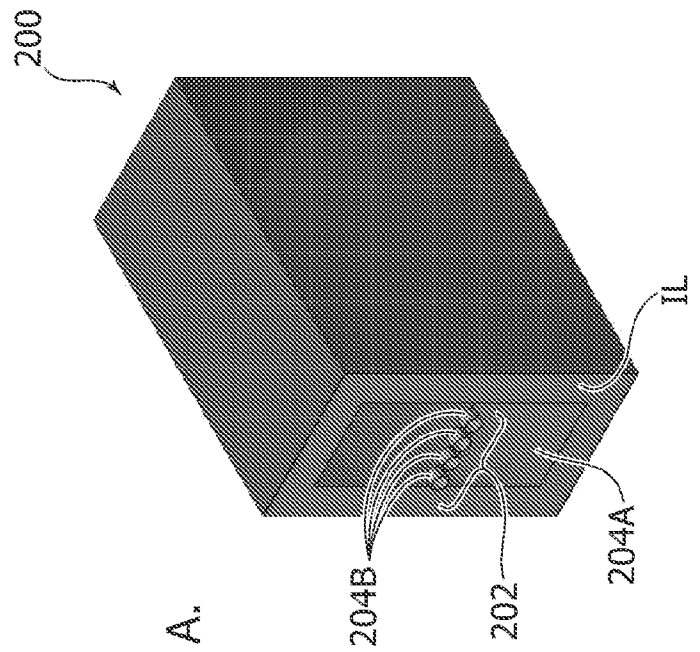
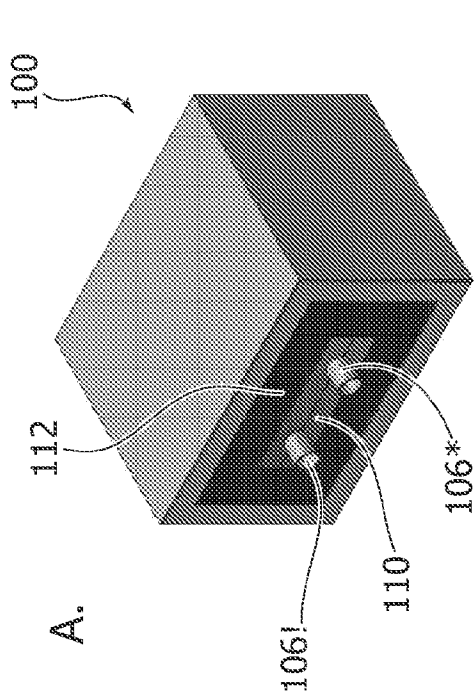
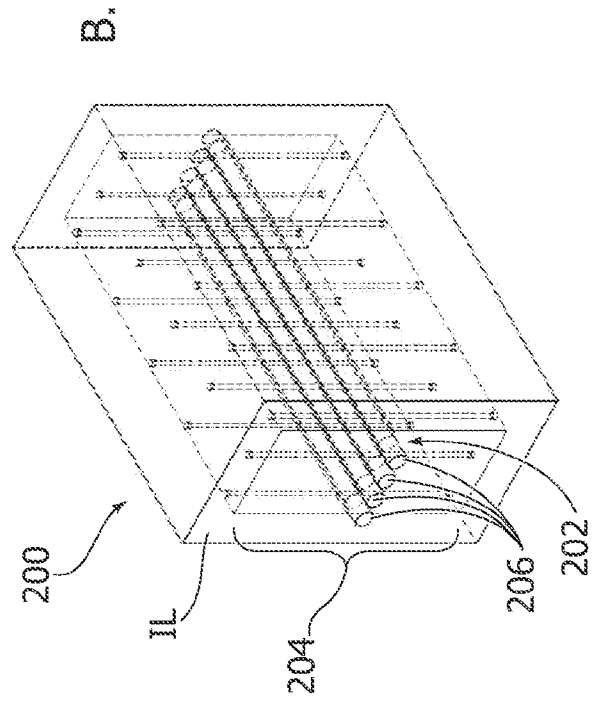


FIG. 9



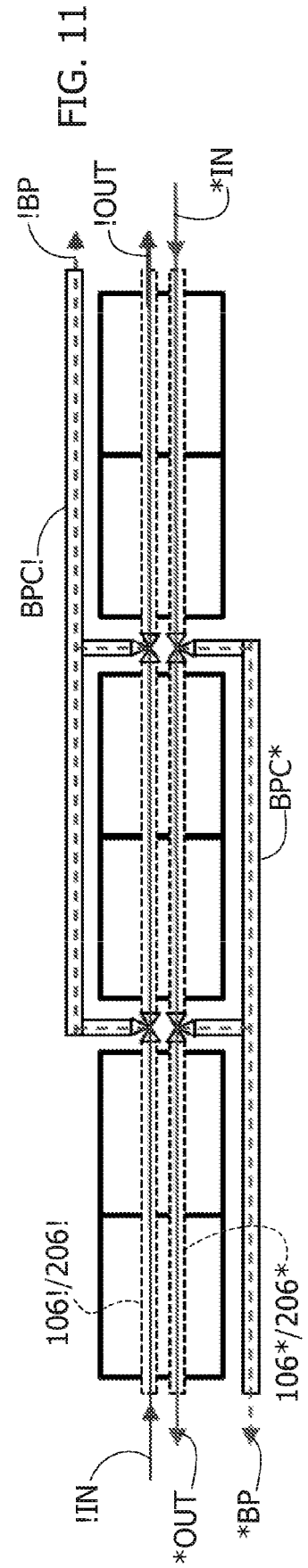
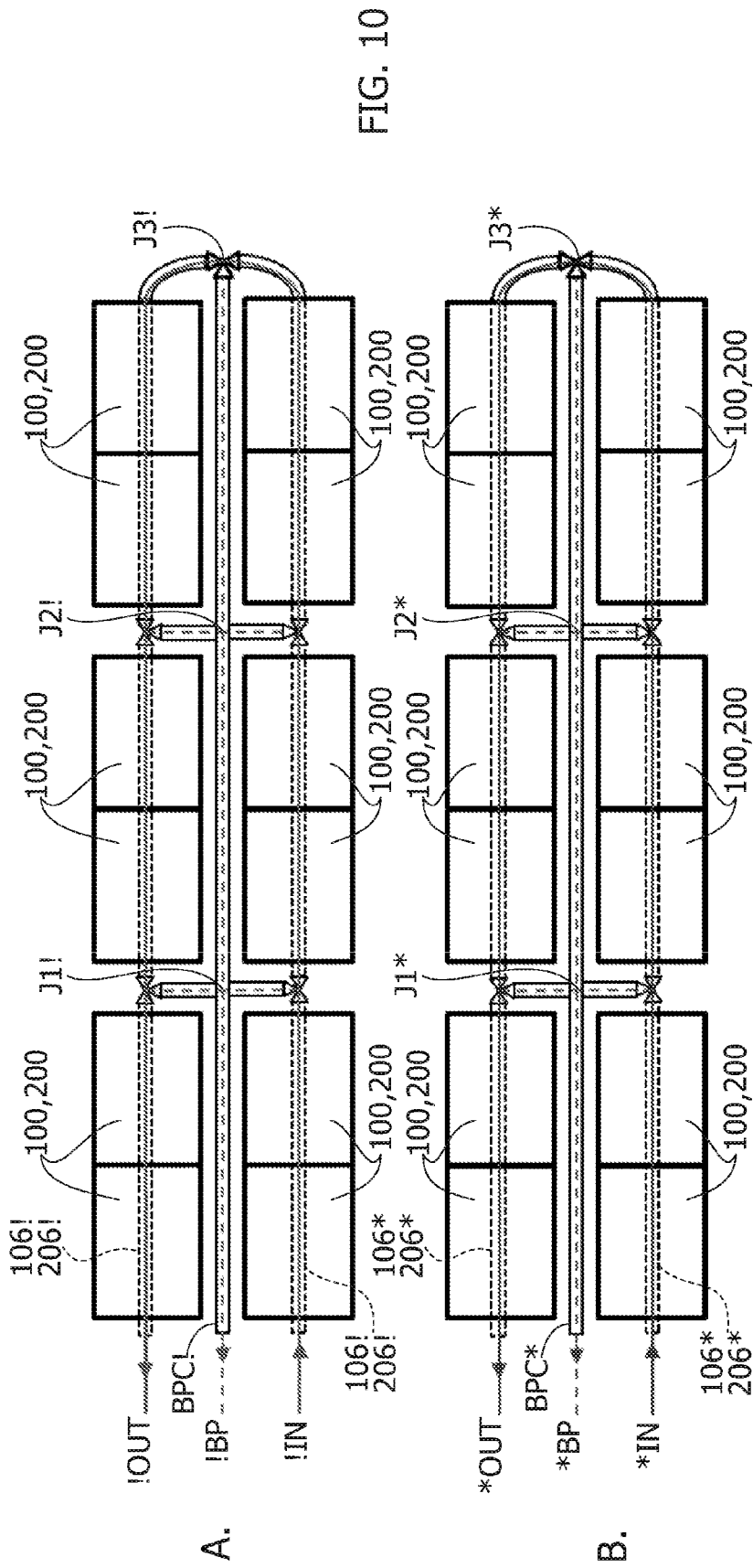


FIG. 12

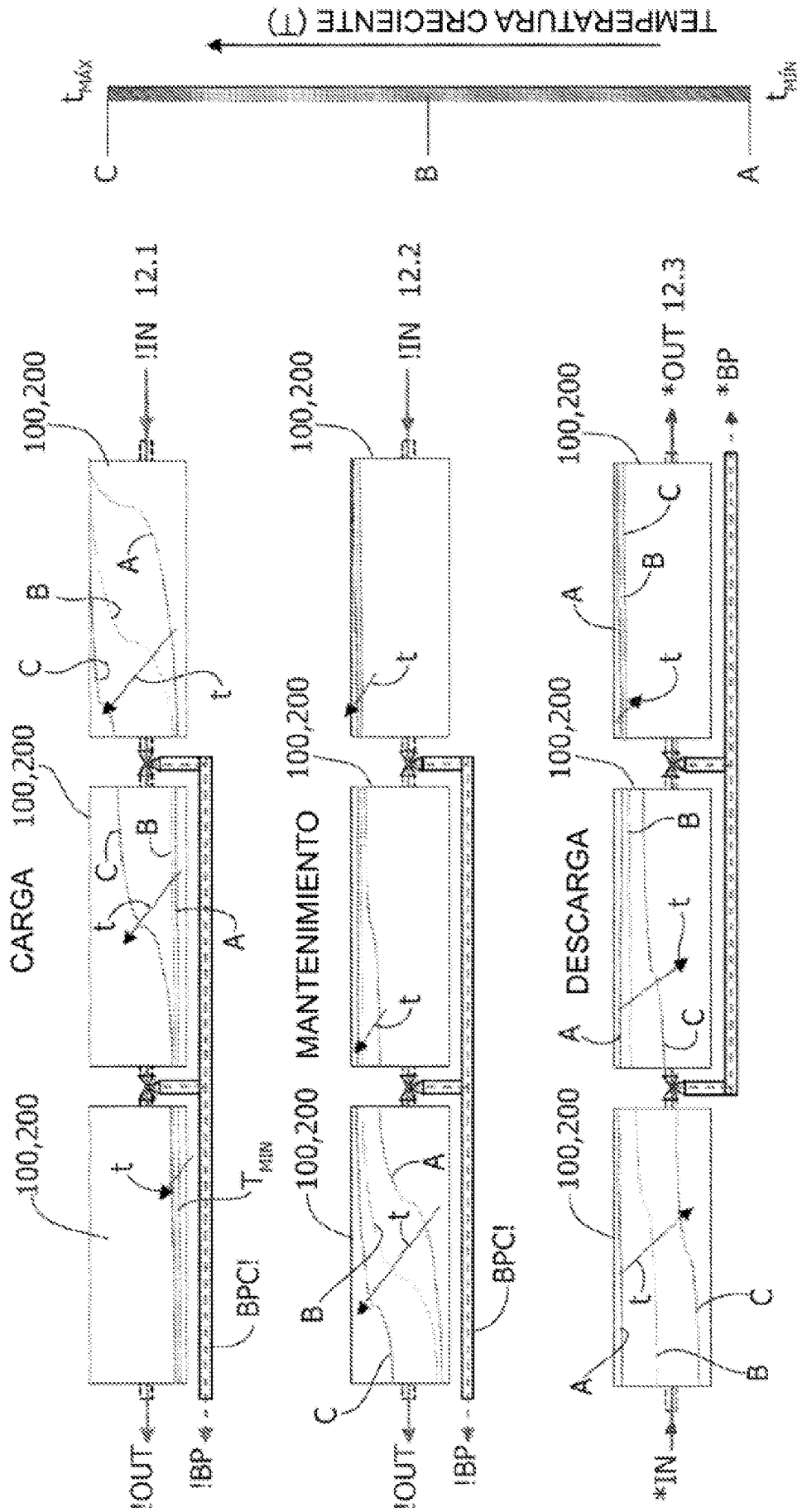


FIG. 13.1

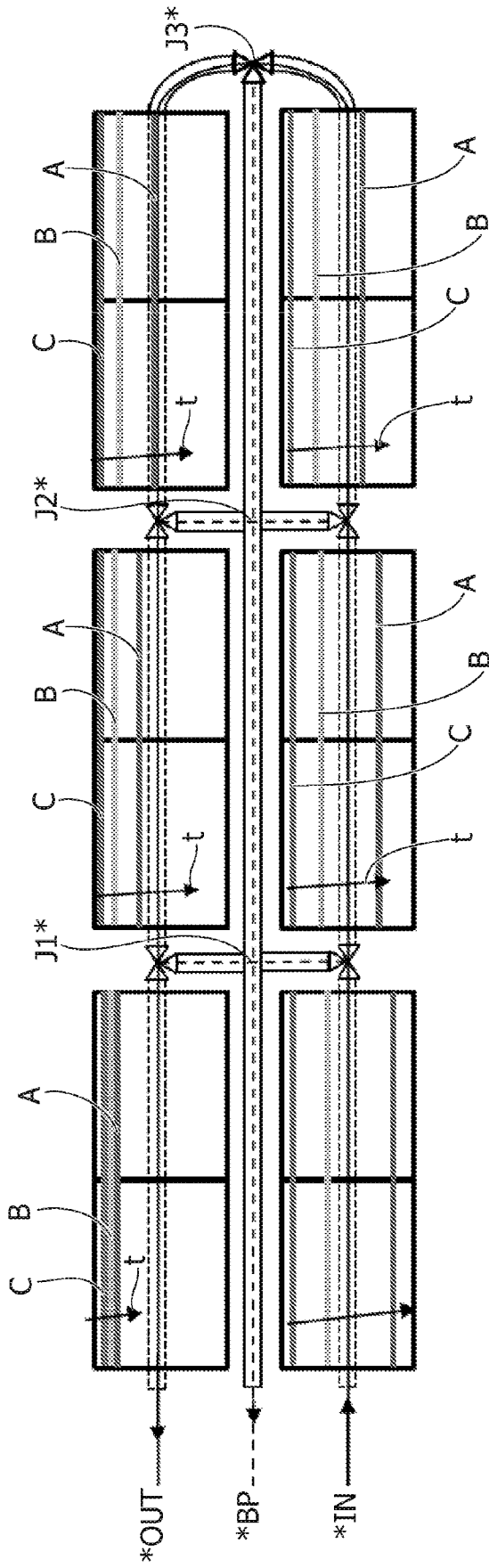


FIG. 13.2

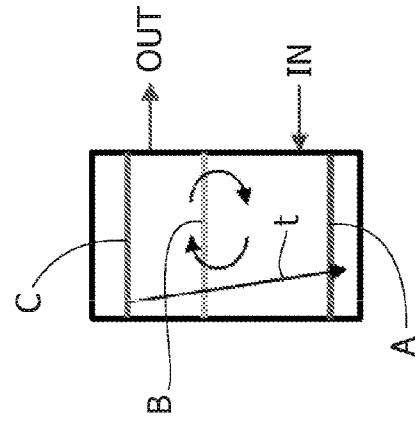


FIG. 14

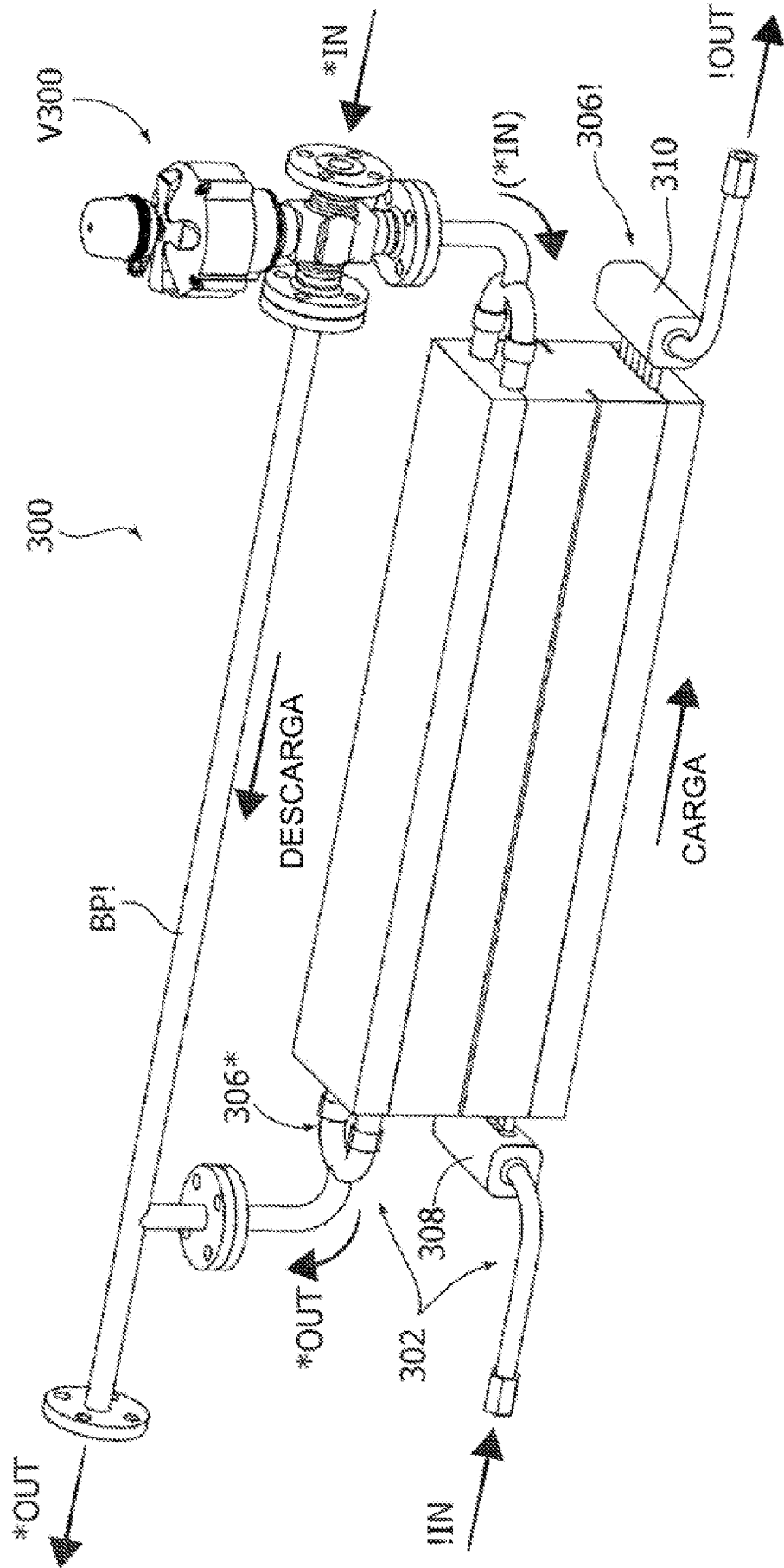


FIG. 15A

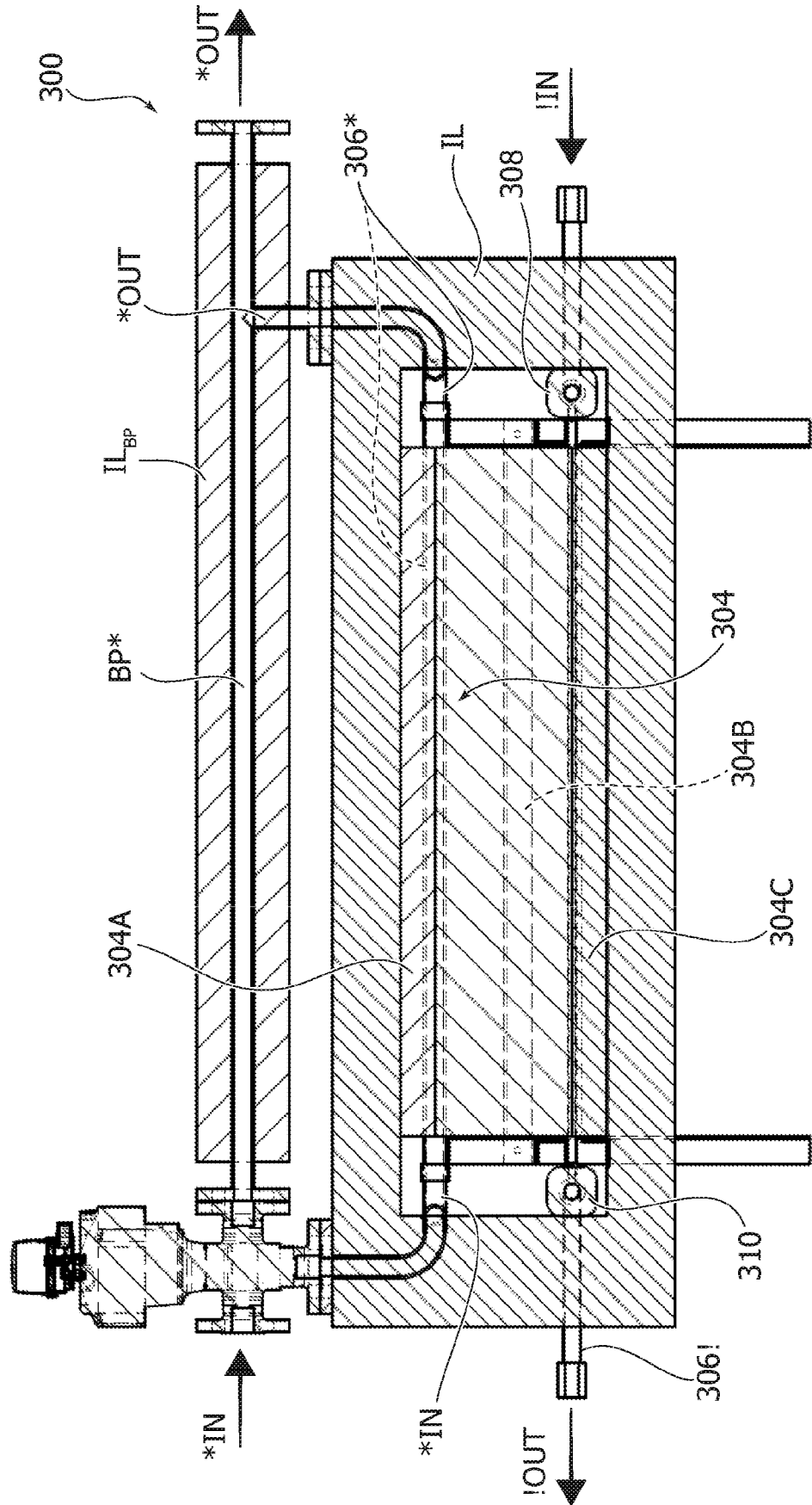


FIG. 16

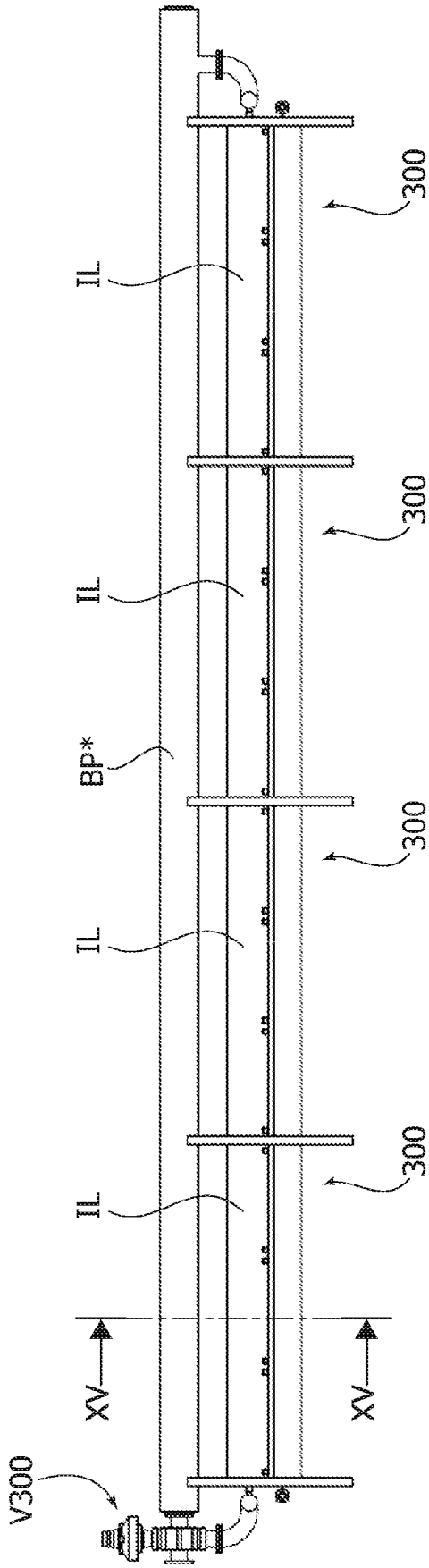
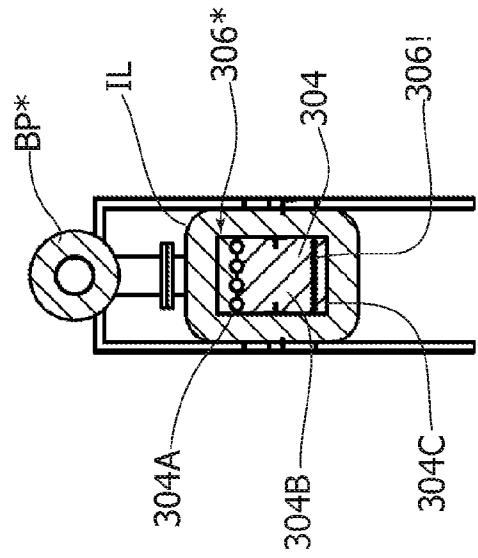


FIG. 15B



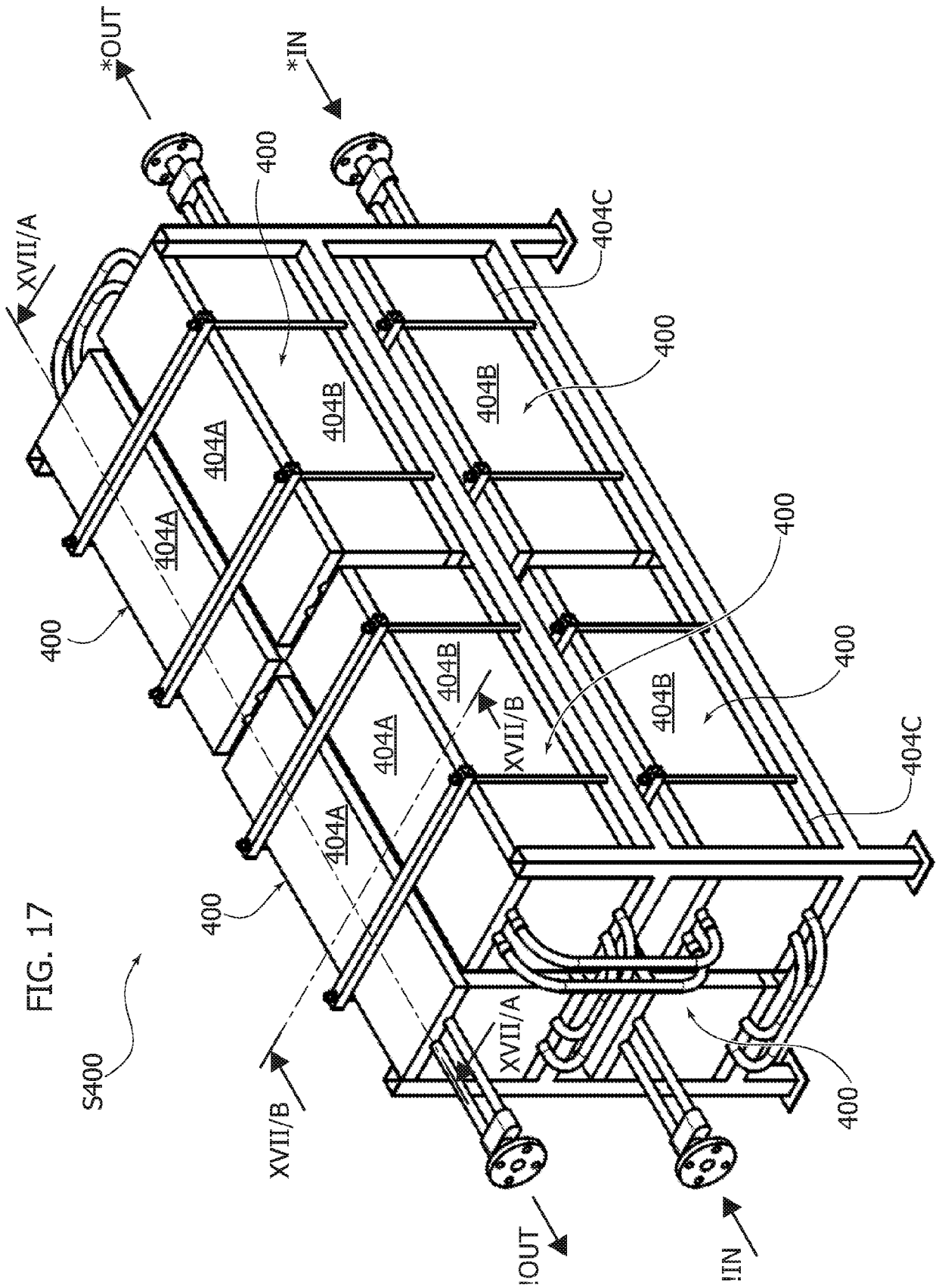


FIG. 17

FIG. 17B

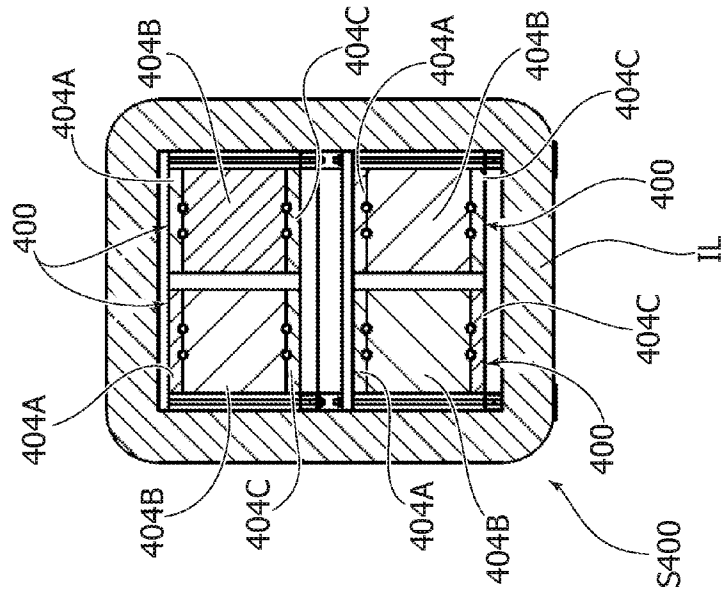


FIG. 17A

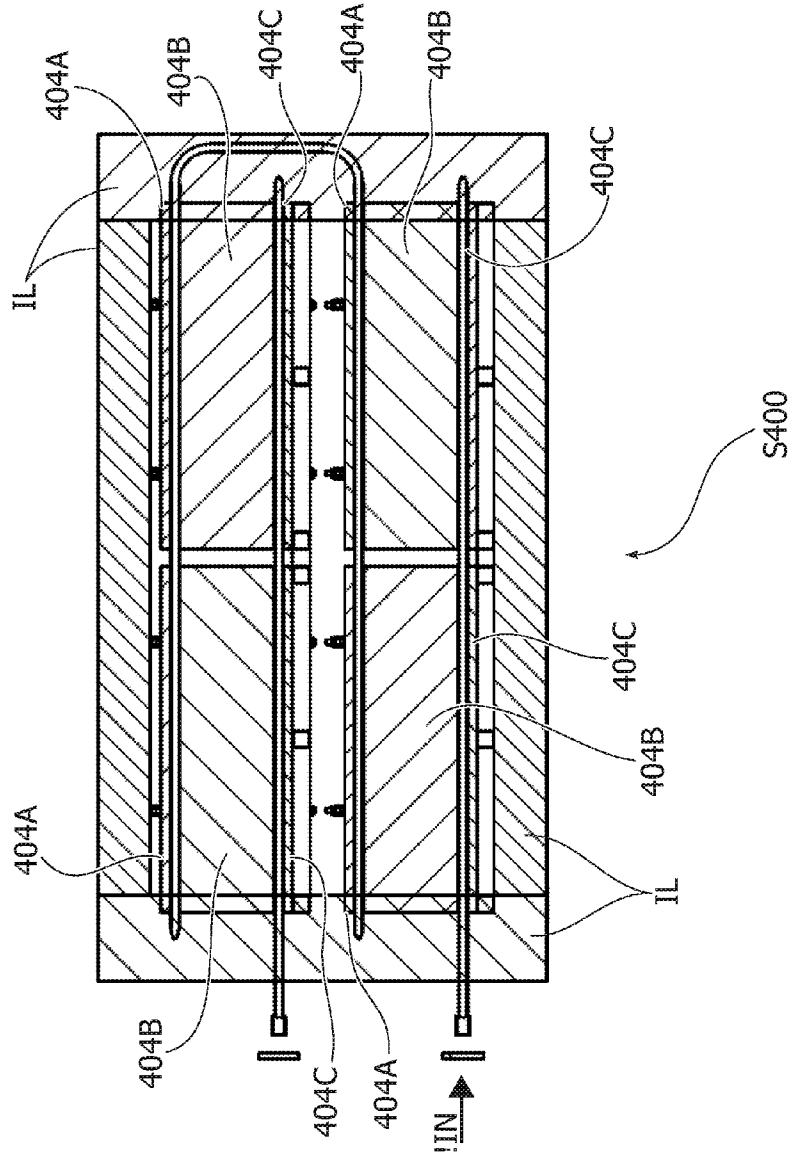


FIG. 17C

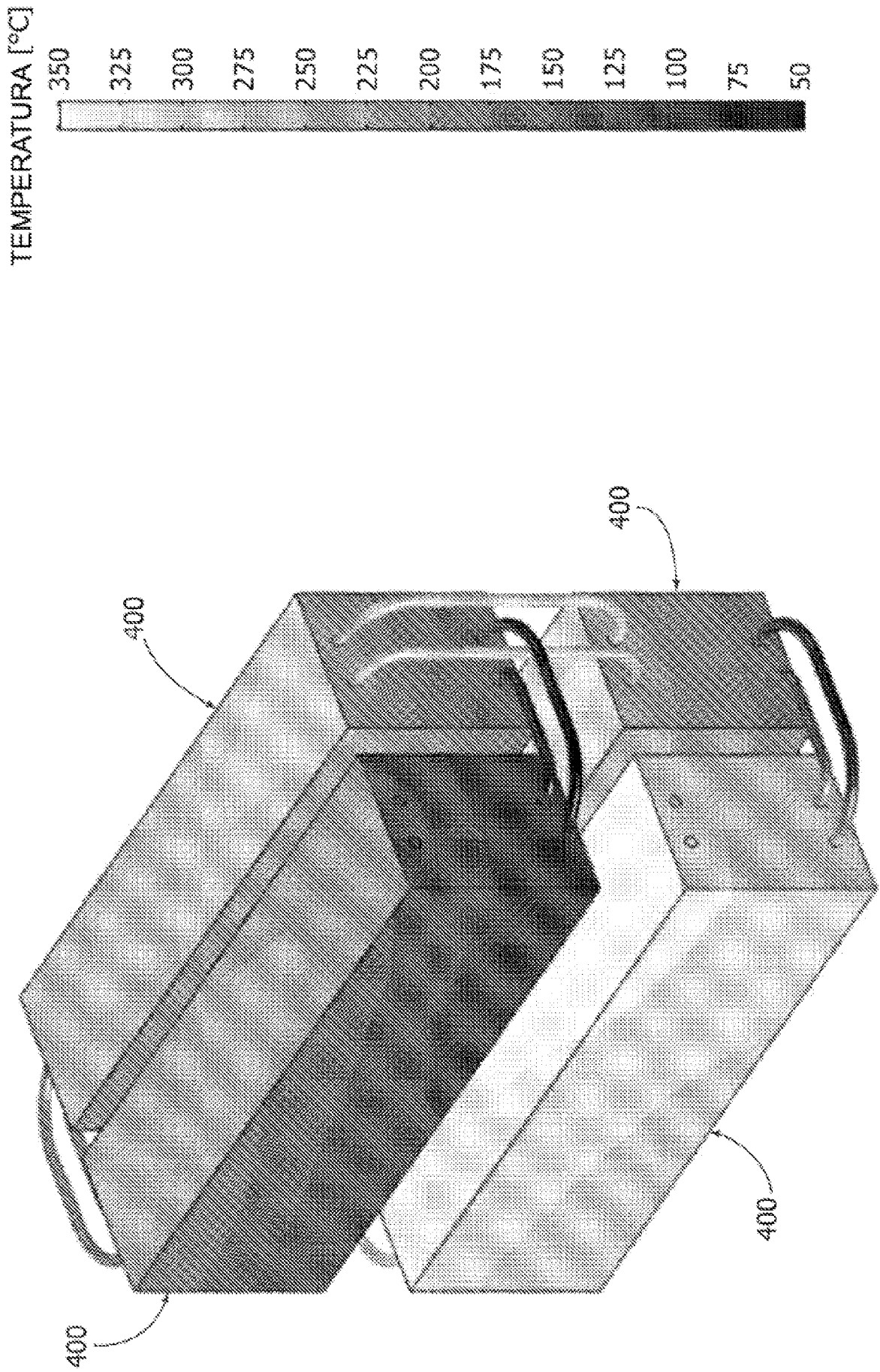


FIG. 18

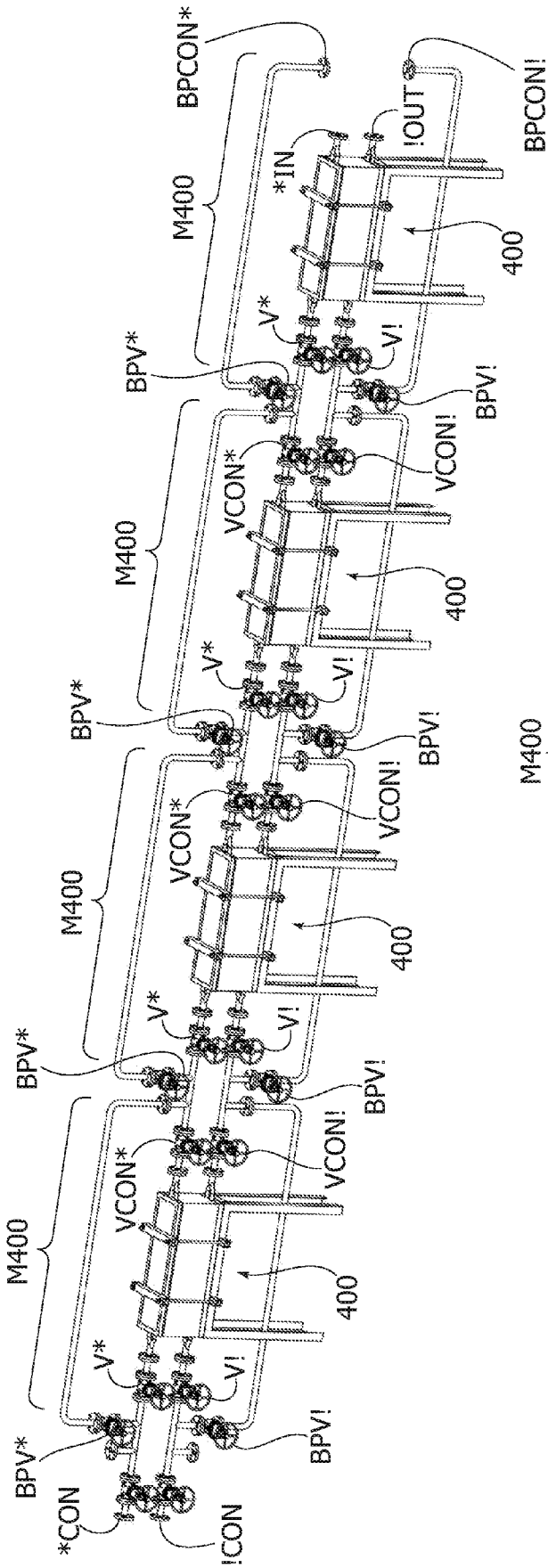


FIG. 19

