(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 605 329**

(51) Int. Cl.:

F24J 2/07 (2006.01)
F24J 2/34 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2011** **PCT/ES2011/000005**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **21.07.2011** **WO11086215**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2011** **E 11732696 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016** **EP 2525161**

(54) Título: **Receptor solar de sales fundidas y procedimiento para reducir el gradiente térmico en dicho receptor**

(30) Prioridad:

15.01.2010 ES 201000047

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.03.2017

(73) Titular/es:

ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A. (100.0%)
Avenida de la Buhaira 2
41018 Sevilla, ES

(72) Inventor/es:

NAVÍO GILABERTE, RAÚL;
LLORENTE FOLCH, PAULA y
ROMERO DELGADO, MARÍA DEL CARMEN

(74) Agente/Representante:

GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro

ES 2 605 329 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

Receptor solar de sales fundidas y procedimiento para reducir el gradiente térmico en dicho receptor

Sector técnico de la invención

Esta invención pertenece al campo de las tecnologías de alta concentración solar termoeléctrica. Se basa en la tecnología de receptor central de torre con campo de helióstatos para la generación de energía eléctrica. En el receptor se emplea como fluido caloportador una mezcla de sales fundidas que permite alcanzar elevadas temperaturas de trabajo y como consecuencia, incrementar la eficiencia del ciclo termodinámico con respecto a los que emplean agua/vapor como fluido de transferencia de calor.

Antecedentes de la invención

Dentro de las tecnologías de alta concentración solar termoeléctrica, se encuentran los sistemas de receptor central de torre en los que la radiación solar directa es reflejada por un campo de helióstatos hacia el receptor, situado en la parte superior de la torre (foco del sistema óptico). El receptor es el sistema donde se concentra toda la radiación solar procedente del campo solar. Esta energía solar se transforma en energía térmica del fluido caloportador. En el caso de no emplearse agua como fluido de transferencia de calor, se requiere disponer de un intercambiador de calor donde se transfiera la energía térmica del fluido caloportador al agua para la generación de vapor sobrecalentado a elevada temperatura. Finalmente, este vapor sobrecalentado se lleva a la turbina y posteriormente a un alternador para generar electricidad.

En la actualidad, se cuenta con diferentes tipos de receptores en los que puede variar tanto el fluido caloportador, como la forma en la que se transfiere la energía a éste último o la configuración del receptor. Así, hay receptores de tubos, volumétricos, de intercambio directo o indirecto de energía, de vapor saturado y de vapor sobrecalentado, etc.

Los receptores de concentración solar de torre pueden ser exteriores o disponerse en una cavidad ubicada en la parte superior de dicha torre con el fin de disminuir las pérdidas térmicas. La configuración debe permitir que la potencia incidente supere en magnitud las pérdidas que se presentan por radiación y convección. En los receptores de sales fundidas, la temperatura alcanzada en la superficie del receptor es mayor que en los receptores agua/vapor saturado y sobrecalentado, razón por la cual las pérdidas por radiación también son mayores, sin embargo, esto se solventa generando tras el intercambiador un vapor sobrecalentado de mayor temperatura que conduce a mayores eficiencias del ciclo termodinámico.

De esta forma, la ventaja principal de las plantas con receptores de sales fundidas radica en que al trabajar con un fluido caloportador de alto nivel energético, tras el intercambiador de calor para la producción de vapor sobrecalentado, se consiguen temperaturas de éste superiores (550ºC) a las obtenidas en las plantas con receptores que producen directamente vapor sobrecalentado (520ºC); de esta manera la eficiencia del ciclo termodinámico se incrementa y en consecuencia aumenta el rendimiento de la turbina. Se estima que la eficiencia del ciclo puede aumentar del 28% al 38%, si en lugar de emplear agua/vapor empleamos una mezcla de sales fundidas como fluido caloportador.

Las torres de sales hasta ahora existentes han presentado dificultades técnicas y económicas lo que ha dado lugar a cortos periodos de operación, siendo inviable una planta comercial a la que se le exigen tiempos de vida de entre 20 años y 25 años.

La patente US2008000231 es un claro ejemplo de la tecnología existente hasta el momento. En ella se describe un sistema de receptor solar central de torre de sales fundidas, cuyos paneles son alimentados con la sal proviniente de un tanque frío. Una vez caliente, el fluido caloportador cede su calor en un intercambiador para la producción de vapor, que finalmente se utilizará en la producción de electricidad. El fluido caloportador ya frío se dirige de nuevo al receptor para ser así calentado de nuevo.

Los inconvenientes técnicos presentados durante la operación de estas plantas están relacionados principalmente con la resistencia de los materiales y con el control del sistema ante estados transitorios (paso de nubes). Algunas de las dificultades técnicas encontradas fueron la aparición de fisuras en las zonas de soldadura de los tubos con los colectores de entrada y salida del fluido de trabajo (headers) debido a altos gradientes térmicos, la corrosión de las válvulas de control de distribución de caudal causada por el alto efecto corrosivo de la mezcla de sales fundidas a elevada temperatura de trabajo, la solidificación del fluido caloportador en el interior de los tubos especialmente en regiones de bajo flujo de radiación incidente, etc.

Las configuraciones de receptor de sales hasta ahora existentes son cilíndricas exteriores. Un receptor de este tipo está compuesto por veinticuatro paneles agrupados en grupos de ocho paneles, por lo que el receptor queda

dividido en cuatro secciones (noreste, noroeste, suroeste y sureste). Cada panel a su vez, está compuesto por treinta y dos tubos verticales.

La entrada del fluido frío caloportador (sales frías), procedente del tanque de almacenamiento frío, se produce por los paneles centrales situados en la cara norte (primer panel sección noreste y primer panel sección noroeste). La mitad del flujo entrante es conducido hacia los paneles de la sección noreste y la otra mitad hacia los paneles de la sección noroeste, con paso vertical descendente y ascendente de forma alternativa en los paneles adyacentes (camino en forma de serpentín). Una vez recorridos los ocho paneles de las secciones situadas en la cara norte (noreste y noroeste) se produce un cruce del flujo, es decir, el flujo de salida de los paneles noreste entran en la sección de los paneles suroeste y el flujo de salida de los paneles noroeste entran en la sección de los paneles sureste.

Al igual que en las secciones situadas en la cara norte, el recorrido del fluido caloportador por el interior de los tubos de los paneles adyacentes es en forma de serpentín hasta su salida.

La salida del fluido caloportador se produce por los paneles centrales situados en la cara sur del receptor.

Los receptores de sales fundidas de acuerdo con el estado de la técnica pueden presentar varias dificultades como por ejemplo, grandes pérdidas térmicas por tratarse de un receptor exterior y daños en su estructura debido a las altas temperaturas de operación, a la distribución del flujo incidente (no uniforme), a las tensiones térmicas a las que está sometido el material y a los efectos de corrosión sobre el material.

Los ciclos térmicos son generados por la exposición de la superficie del receptor a la radiación solar concentrada por el campo de helióstatos (con la que se alcanzan temperaturas del metal en los tubos cercanas a 800ºC), y al gradiente de temperatura del fluido caloportador entre la entrada (290°C, punto de fusión) y la salida del receptor (565 °C, temperatura de degradación de la sal).

Los mencionados inconvenientes de los receptores de sales fundidas pueden reducirse mediante este nuevo diseño de receptor por tratarse éste de un receptor de cavidad (instalado en lo alto de una torre dentro de un hueco o cavidad) que además disminuye el gradiente de temperatura entre la salida y la entrada de la mezcla de sales fundidas al receptor gracias a la recirculación que a continuación se explica. Para ello, en la presente invención se propone recircular parte del caudal de la corriente de salida (mezcla de sales fundidas caliente).

Es aquí donde radica la importancia del diseño y la configuración del receptor. Un adecuado diseño y configuración del receptor conducirá a un control estable del sistema durante la operación de la planta solar, especialmente ante periodos transitorios (paso de nubes); garantizando de esta forma la integridad de su estructura y su durabilidad (vida útil del receptor entre 20 y 30 años).

Además, el empleo de sales fundidas como fluido caloportador y medio de almacenamiento térmico permite mejorar la eficiencia de la planta solar termoeléctrica, ya que las temperaturas alcanzadas son superiores sin necesidad de incrementar la presión de operación como se requeriría con agua/vapor; lo que conlleva a un coste inferior del receptor.

Descripción de la invención

Esta invención propone el diseño de un sistema de receptor central de torre con sales fundidas con una configuración definida, que facilita su funcionamiento y control durante la operación de la planta solar termoeléctrica.

La principal ventaja del diseño objeto de esta invención, es que su implementación permite aumentar la vida útil del receptor, al disminuir la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida en los tubos que conforman el receptor. Como consecuencia, se reducirían las tensiones térmicas experimentadas por el material que darían lugar a daños en la estructura, como fracturas y agrietamientos, principalmente en las zonas soldadas.

Para ello, se propone un sistema de recirculación de un porcentaje de caudal de la corriente de salida del receptor (mezcla de sal caliente) a su entrada. Este porcentaje de caudal debe conducir a la mínima pérdida de carga, generando a su vez unas pérdidas térmicas admisibles para una eficiencia de receptor fijada.

El receptor propuesto en el sistema de acuerdo con la invención, para reducir las pérdidas térmicas, será de tipo cavidad. Los receptores tipo cavidad se definen como aquellos que se instalan en lo alto de una torre dentro de un hueco o cavidad, de manera que se minimizan las pérdidas térmicas por radiación o convección. Presenta una configuración en forma semicilíndrica constituida por paneles, el área del receptor se determina en función de la potencia térmica de diseño. Los paneles están formados por un conjunto de tubos verticales. La forma semicilíndrica del receptor permite maximizar la captación de la radiación solar reflejada por el campo de helióstatos.

La sal fundida fría (fluido caloportador), procedente del tanque de almacenamiento de ésta, no se introduce directamente en el receptor, como ocurre en el estado de la técnica, si no que alimenta a un depósito de mezcla que recoge tanto la sal fría como una parte de la sal caliente recirculada mezclándolas en su interior, para posteriormente introducir dicha mezcla, de sales fundidas frías y calientes, por la parte superior de los tubos verticales que constituyen el receptor. Por la parte inferior se recoge la sal caliente.

Parte del caudal de salida de esta sal caliente (definida esta proporción por la razón de recirculación) se recircula al depósito de mezcla y el resto se conduce al tanque de almacenamiento de sal caliente. El calentamiento de la mezcla de sales se produce a medida que el fluido avanza por el interior del conjunto de tubos verticales de los paneles, absorbiendo la radiación solar incidente en su superficie.

La configuración de los paneles que constituyen el receptor es en paralelo. La distribución del fluido de entrada (mezcla de sales fundidas frías y calientes) en los paneles se realiza mediante válvulas de control por su parte superior. La distribución de caudal de fluido es función de la potencia de radiación solar incidente en los paneles (distribución de flujo incidente no uniforme con el tiempo). Por tanto, en los paneles que reciban mayor potencia irradiante incidente circulará un mayor caudal de refrigeración, consiguiendo de esta forma que los gradientes en las paredes de los tubos del receptor sean mínimos durante su operación.

La recirculación de una parte de la corriente de salida del receptor (sal fundida caliente) a la entrada de éste permite, como se ha mencionado anteriormente, disminuir la variación de temperatura entre la entrada y la salida de los tubos verticales de los paneles que constituyen el receptor y como consecuencia, reducir las dilataciones térmicas del material de fabricación de los tubos.

Sin embargo, a medida que el porcentaje de recirculación se incrementa no sólo disminuye la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de los tubos verticales que conforman receptor, sino que aumenta la pérdida de carga en el sistema, por lo que se requiere una mayor potencia de impulsión del fluido de trabajo. Además, la temperatura del metal de la superficie del receptor es mayor, ocasionando mayores pérdidas térmicas, principalmente por radiación. Por tanto, una adecuada selección de la razón de recirculación óptima para una potencia de diseño establecida llevará a un funcionamiento óptimo del receptor.

La configuración propuesta del receptor de sales fundidas (sistema con recirculación) minimiza los riesgos tecnológicos que se presentan en otros receptores, en los que los ciclos térmicos que debe soportar el material son más fuertes y por tanto, tienen un mayor impacto en el material.

Este dispositivo permite solventar algunos de los inconvenientes detectados que presenta la tecnología de receptores de sales fundidas y proporciona ventajas para su utilización, tales como la disminución del riesgo de daños en la estructura y el material del receptor; y aumento de la eficiencia del ciclo termodinámico con respecto a la obtenida actualmente con receptores de vapor saturado y/o sobrecalentado, gracias a que se consiguen alcanzar mayores temperaturas de trabajo.

Descripción de los dibujos

Para completar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña un juego de dibujos donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1. Configuración de un receptor de sales fundidas constituido por un panel con sistema de recirculación.
Figura 2. Configuración de un receptor de sales fundidas constituido por cuatro paneles con sistema de recirculación.
Figura 3. Geometría de un receptor de sales fundidas constituido por cuatro paneles.

A continuación se proporciona un listado con las referencias utilizadas en las figuras:

(1) Corriente de entrada al receptor
(2) Corriente de salida del receptor
(3) Corriente de entrada al tanque de almacenamiento de sal caliente
(4) Corriente de recirculación de sal caliente
(5) Corriente de entrada de sal fría al mezclador
(6) Mezclador (corrientes 4 y 5)
(7) Bomba de impulsión de la mezcla de sal fundida
(8) Tanque de almacenamiento de sal fundida fría
(9) Tanque de almacenamiento de sal fundida caliente
(10) Panel del receptor constituido por tubos verticales
(11) Panel 2E (Este) del receptor

(12) Panel 1E (Este) del receptor
(13) Panel 1W (Oeste) del receptor
(14) Panel 2W (Oeste) del receptor
(15) Válvula de control para la distribución del caudal del panel 2E
(16) Válvula de control para la distribución del caudal del panel 1E
(17) Válvula de control para la distribución del caudal del panel 1W
(18) Válvula de control para la distribución del caudal del panel 2W
(19) Punto de enfoque del campo de helióstatos

Realización preferente de la invención

Para lograr una mayor comprensión de la invención a continuación se va a describir el sistema y funcionamiento del receptor central de torre de sales fundidas.

Como se observa en la figura 1, el receptor de sales fundidas (10) está formado por un panel compuesto por tubos verticales.

La sal fundida fría (5), procedente del tanque de almacenamiento de esta (8), se conduce para alimentar un depósito de mezcla (6) al que también le llega una vía de alimentación de sal fundida caliente (4), de manera que a la corriente de salida del mezclador (6) se introduce por la parte superior de los tubos verticales que constituyen el receptor (10). Por la parte inferior de dichos tubos, se recoge la sal caliente (2).

Parte del caudal de salida (2) (definida la cantidad por la razón de recirculación que se establezca) se recircula (4) al depósito de mezcla (6) y el resto (3) se conduce al tanque de almacenamiento de sal caliente (9). El calentamiento de la mezcla de sales frías y calientes (1) entrante en el receptor (10) se produce a medida que el fluido avanza por el interior del conjunto de tubos verticales de los paneles, absorbiendo la radiación solar incidente en su superficie.

En la configuración del receptor de cuatro paneles (figura 2) se muestra el circuito de circulación del fluido de trabajo en paralelo a través de los paneles y la corriente de recirculación (4) desde la salida (2) a la entrada (1) del receptor.

Cada panel (11, 12, 13 y 14) está compuesto por un conjunto de tubos verticales. La circulación del fluido por el interior del receptor es idéntica a la descrita para la figura 1.

Como se observa en la figura 3, el receptor de sales fundidas está formado por cuatro paneles (11, 12, 13 y 14) con disposición semicilíndrica. Esta configuración consigue recoger toda la energía solar reflejada por el campo de helióstatos que apuntan al punto de enfoque (19).

El fluido caloportador empleado en una realización preferente es una mezcla de sales de nitrato fundidas, siendo una composición preferente la formada por un 60% de $NaNO_3$ y un 40% de KNO_3.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de torre de central solar que comprende:

- un receptor solar de sales fundidas de tipo torre (10), a través del cual, en uso, circula un fluido caloportador a base de sales fundidas,
- un sitema de recirculación que comprende un depósito de mezcla (6), un tanque de almacenamiento de sales calientes (9) y un tanque de almacenamiento de sales frías (8),

caracterizado porque, en uso, el receptor (10) se alimenta con un fluido caloportador que proviene de dicho sistema de recirculación, **porque**, en uso, el depósito de mezcla (6) se alimenta con una parte del fluido caloportador caliente (4) que sale del receptor (10) y con fluido caloportador frío (5) que sale del tanque de almacenamiento de sales frías (8), **porque** el tanque de almacenamiento de sales calientes (9) está conectado con la salida del receptor (10) de forma que almacena la parte (3) de fluido caloportador que no se recircula, y **porque** el receptor (10) es un receptor de tipo cavidad.

2. Sistema según la reividicación 1 **caracterizado porque** dicho receptor es un receptor de tubos**.**

3. Sistema según la reivindicación 2 **caracterizado porque** dicho receptor es un receptor de tubos verticale**s.**

4. Sistema según la reivindicación 2 **caracterizado porque** dicho receptor es un receptor de tubos horizontales.

5. Sistema según la reivindicación 1 **caracterizado porque** emplea como fluido caloportador una mezcla de sales de nitrato fundidas.

6. Sistema según la reivindicación 5 **caracterizado porque** emplea como fluido caloportador una mezcla de sales de nitrato fundidas siendo esta de una composición de 60% NaNO3 y 40% KNO_3.

7. Sistema según la reivindicación 1 **caracterizado porque** el receptor (10) está situado en lo alto de la torre y comprende una serie de paneles (11, 12, 13, 14) y porque el sistema comprende además una bomba de impulsión (7) para la salida del depósito de mezcla (6) hasta el receptor (10) y unas válvulas de regulación (15, 16, 17, 18) a la entrada dichos paneles (11, 12, 13, 14, 15) del receptor (10).

8. Procedimiento para reducir el gradiente térmico en un receptor solar de sales fundidas en un sistema según al menos una de las revindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** para reducir el gradiente se recircula parte de la corriente de sales fundidas que sale del receptor a elevada temperatura y se mezcla con una corriente de sales fría, de manera que el fluido caloportador de sales que entran en el receptor se encuentra a una temperatura intermedia, lo que disminuye el gradiente térmico entre la entrada y salida del mismo.

9. Procedimiento según la reivindicación **8 caracterizado por** comprender las las siguientes etapas:

- Alimentación de sales fundidas (1) proporcionada por un depósito de mezcla (6) a la parte superior de los paneles (11, 12, 13, 14) que conforman el receptor (10) a través de unas válvulas de regulación (15, 16, 17, 18) haciendo circular las sales fundidas por el interior de los tubos, absorbiendo la radiación solar concentrada,
- Recogida de las sales fundidas calientes (2) por la parte inferior del receptor (10) recirculando una parte de las sales fundidas (4) al depósito de mezcla (6) y siendo la otra parte de las sales fundidas (3) almacenada en un tanque de almacenamiento de sal caliente (9),
- Alimentación del depósito de mezcla (6) por sales frías (5) provenientes de un tanque de sales frías (8).

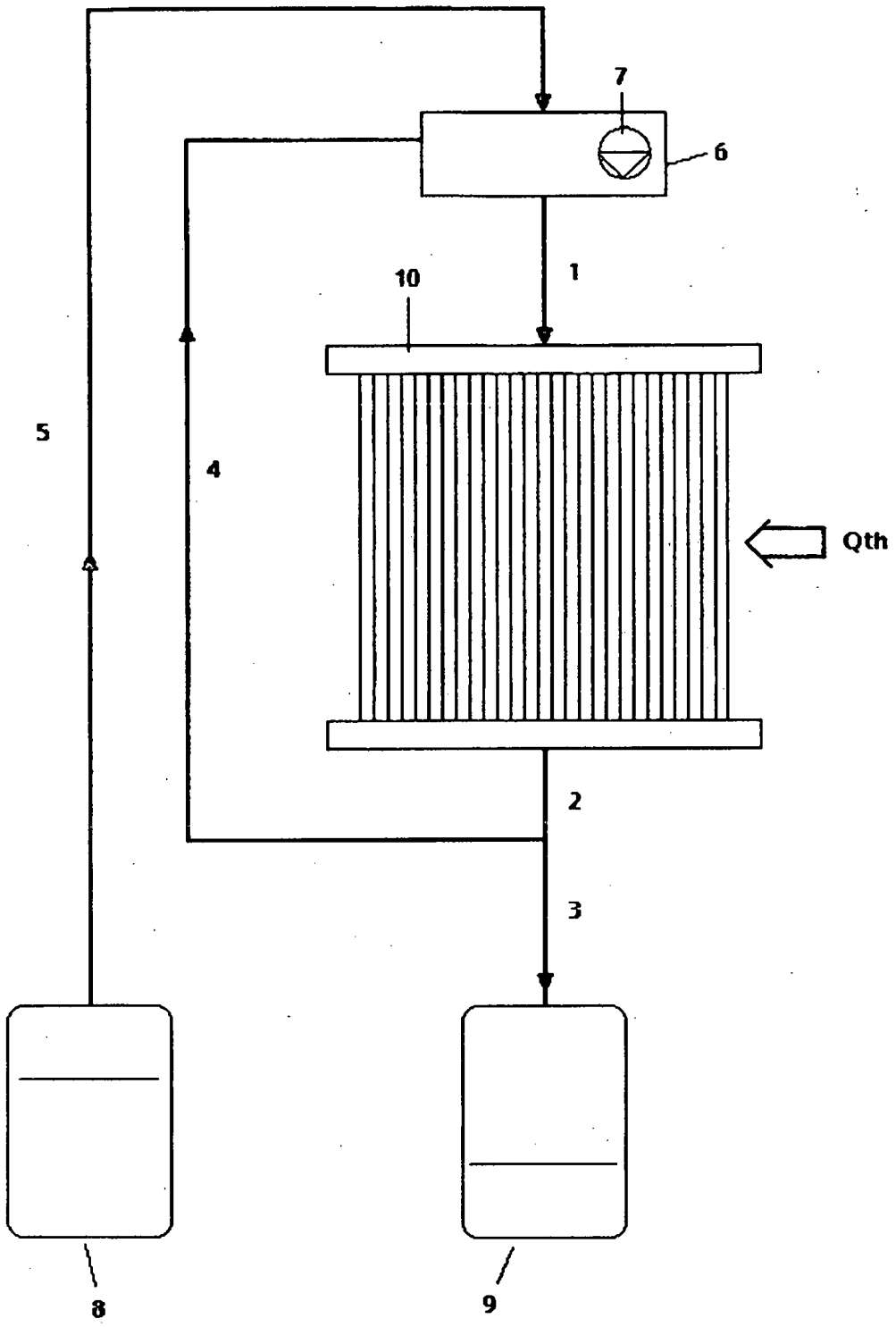

Figura 1

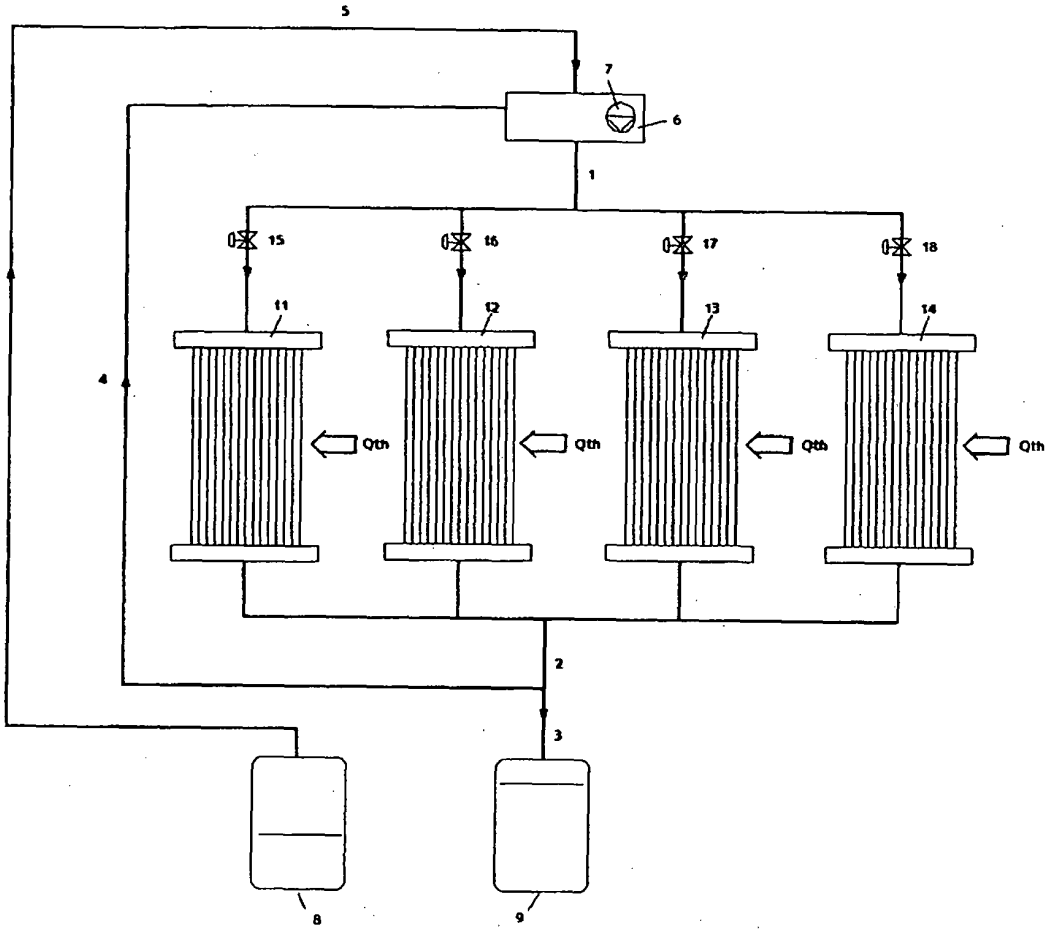

Figura 2

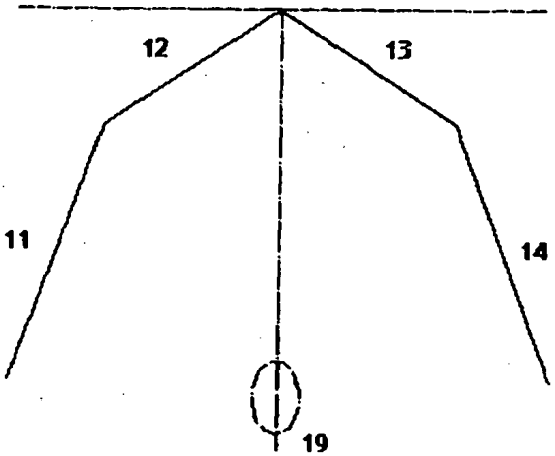

Figura 3