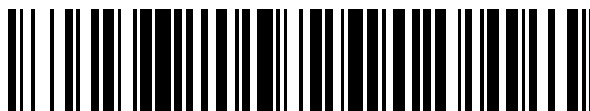


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 161**

51 Int. Cl.:

F22B 1/00 (2006.01)

F22B 21/02 (2006.01)

F22B 37/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2013** **E 13192630 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016** **EP 2873916**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para prevenir el vaciado en una caldera de central solar de concentración de tipo torre**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.01.2017

73 Titular/es:
COCKERILL MAINTENANCE & INGÉNIÉRIE S.A.
(100.0%)
Avenue Grenier 1
4100 Seraing, BE

72 Inventor/es:
DETHIER, ALFRED

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 597 161 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).

DESCRIPCION

Procedimiento y dispositivo para prevenir el vaciado en una caldera de central solar de concentración de tipo torre.

Objeto de la invención

5 La presente invención se refiere al ámbito técnico de las calderas de alta potencia, en particular para potencias que sobrepasan ampliamente los 100 MW, con una presión de vapor de cerca de 200 bares y una temperatura de vapor de cerca de 600°C.

En particular, la invención se refiere al ámbito de las centrales solares de concentración, con ciclo de vapor simple, que comprenden un receptor solar que solo presenta un evaporador y un sobrecalentador (sin recalentador).

Antecedente tecnológico y estado de la técnica

10 Se conoce la central solar de concentración del tipo torre, en la cual la radiación solar es reflejada por una serie de espejos, llamados heliostatos, hacia un receptor solar central que transforma la energía de la radiación solar en un fluido caliente que podrá ser utilizado para la producción de electricidad.

Los heliostatos están provistos de dos mecanismos de rotación que permiten hacer el seguimiento del sol y reenviar siempre el flujo solar hacia un punto dado, sea cual fuere la hora del día y la estación en curso.

15 El receptor solar está instalado en la parte superior de una torre con el fin de recibir la radiación solar de todos los heliostatos sin que un heliostato dado estorbe la reflexión de flujo de un heliostato próximo.

El fluido caliente generado en el receptor solar puede ser vapor a presión elevada y alta temperatura generada a partir de agua de alimentación. El vapor puede entonces ser utilizado directamente en una turbina de vapor que acciona un generador de electricidad.

20 Una central solar de este tipo tiene un coste de instalación relativamente elevado y todas las soluciones son consideradas con el fin de reducir este coste.

Entre las soluciones consideradas, el aumento de potencia es un factor importante por efecto de escala.

25 Otra solución es el aumento del rendimiento de ciclo: cuando el rendimiento aumenta, el número de heliostatos puede reducirse para una misma potencia de salida, y por consiguiente la altura de la torre reducida y así sucesivamente. El rendimiento de un ciclo de vapor aumenta cuando la presión del ciclo y la temperatura de vapor aumentan.

30 Las potencias hoy en día consideradas sobrepasan muy ampliamente los 100 MW, con una presión de vapor de cerca de 200 bares y una temperatura de vapor de cerca de 600°C. Con estos niveles de rendimientos, el receptor solar puede comprender solamente un evaporador y un sobrecalentador: el recalentamiento puede por consiguiente ventajosamente ser evitado y por lo tanto sus costes asociados.

El receptor solar está constituido por paredes de tubos que reciben los flujos solares de los heliostatos y que transmiten el calor al agua y/o al vapor contenido en los tubos. Dos intercambiadores distintos forman el receptor solar: el evaporador, que transforma el agua de alimentación en vapor saturado y el sobrecalentador, que aumenta la temperatura del vapor saturado hasta el valor deseado.

35 Entre los dos intercambiadores se encuentra el recipiente, un depósito muy importante de una caldera. El recipiente alimenta el evaporador con su agua, por medio de un sistema de bombeo. En efecto, a estas elevadas presiones, una circulación natural ya no es posible, siendo la diferencia de densidad entre el agua y el vapor demasiado baja. Es preciso además asegurar un porcentaje de circulación suficiente con el fin de evitar el ensuciamiento del evaporador por las sales contenidas en el agua pero también con el fin de evitar el secado de la superficie interna del tubo.

40 El secado de la superficie interna del tubo (Dry-out) es también un dato importante de un evaporador: si se produce, el coeficiente de intercambio entre el agua o la mezcla de agua-vapor y los tubos disminuye brutalmente, el tubo ya no está refrigerado y no puede ya evacuar el calor recibido en forma de radiación. Un sobrecalentamiento se produce, que puede conducir a la destrucción del tubo. El efecto existe igualmente según algunos regímenes de evaporación llamados DNB (Departure from nucleate boiling).

45 El recipiente recibe el agua de alimentación con un caudal igual al caudal del vapor producido por el evaporador y que es exportado a la salida del recipiente. El agua de alimentación entrante se mezcla con el agua saturada contenida en el recipiente.

50 El recipiente separa el agua del vapor procedente del evaporador: el agua recircula hacia el evaporador y el vapor es exportado, después del secado en el equipo previsto a este efecto en el interior del recipiente.

En la configuración descrita más arriba, el agua enviada hacia el evaporador por medio del sistema de circulación se encuentra a la temperatura de saturación. La evaluación de los flujos críticos máximos admisibles conduce a una dificultad mayor respecto al secado (Dry-Out/DNB) debido a la presión muy elevada.

Se encuentra una disposición de caldera con dos recipientes conectados uno con el otro, por ejemplo superpuestos, en un cierto número de patentes, a veces muy antiguas, por los motivos precisados en estos documentos.

Por ejemplo:

- 5 - en el generador de vapor de FR 678.909, facilitar la separación agua/vapor con el fin de exportar un vapor seco. Esta preocupación se encuentra también en el documento DE 285.489;
- en la caldera de tubos de doble recipiente del documento GB 529.444, presentar mejores características de circulación;
- 10 - en el generador de vapor con recuperación de calor de WO 2012/148656 A1, reducir el diámetro y por consiguiente el espesor del recipiente, y aumentar la flexibilidad de funcionamiento (tiempo de arranque más corto, temperatura de funcionamiento del evaporador alcanzada más rápidamente);
- en el generador de vapor con recuperación de calor de WO 2012/129195 A2, reducir igualmente el diámetro y por consiguiente el espesor del recipiente, y consecuentemente el gradiente de temperatura a través de su pared en el arranque, el cual aumenta la fatiga térmica sobre el recipiente y a su vez provoca un desgaste de éste en forma de fisuras. La reducción de espesor del recipiente permite también reducir el
- 15 corte de fabricación. Estas preocupaciones se encuentran igualmente en el documento EP 1.526.331 A1.

El documento US 2010/0236239 A1 describe un procedimiento y un generador para producir vapor para una central eléctrica de turbina que utiliza la radiación solar. Este último está dirigido a un receptor solar. El receptor solar comprende una primera sección, que presenta una entrada de agua de alimentación y está dispuesto para calentar esta agua de alimentación a la entrada con miras a generar el vapor utilizando la radiación solar dirigida. El agua de alimentación fluye a través de un recipiente de agua de alimentación para servir de entrada de agua de alimentación a la entrada de la primera sección del receptor. El agua es separada del vapor en un recipiente de separación de vapor, que se encuentra en comunicación fluidica con una salida de la primera sección del receptor. La entrada de agua de alimentación puede ser precalentada de forma selectiva por una fuente de precalentamiento distinta de la energía solar, particularmente por precalentamiento eléctrico, en respuesta a las condiciones de funcionamiento del sistema, en los horarios de sol o en la tarifa horaria de la energía eléctrica. Una bomba de recirculación forzada permite al fluido atravesar el precalentador. El flujo solar incidente sobre el receptor solar se encuentra como máximo en el intervalo de 130-230 kW/m² en el modo solar máximo. Además, la temperatura alcanzada por el vapor sobrecalentado es de 540-560°C, a una presión que se encuentra dentro del intervalo de los 100-140 bares. Estas condiciones de funcionamiento son demasiado bajas para que aparezca el fenómeno de secado de los tubos de generación de vapor. Este documento no indica solución alguna en el caso en que el generador de vapor deba hacer frente a las dificultades relacionadas con la presión muy alta (de 180 bares a más de 200 bares).

En ningún caso se hace mención al problema del secado (Dry-Out/DNB). En todos los casos representados, las calderas objeto de estas patentes operan en efecto en presión mucho más baja y con flujos térmicos mucho más bajos que en el caso representado en la presente invención, y por consiguiente sin ningún riesgo de secado.

35 **Fines de la invención**

La presente invención tiene por objeto proponer una solución que permita salvar los problemas de secado y de sobrecalentamiento susceptibles de producirse en los evaporadores de calderas a alta presión.

En particular, la invención trata de prevenir estos problemas en el caso de las calderas para centrales solares de concentración.

40 La invención trata igualmente de proporcionar una caldera para altas presiones y temperaturas con una flexibilidad de funcionamiento mejorada y un coste reducido.

La invención trata también de proporcionar una caldera de doble recipiente que presente una utilización y una disposición originales.

Principales elementos característicos de la invención

45 Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento para generar vapor a alta presión es decir a una presión de más de 160 bares, de preferencia de 200 bares aproximadamente y a alta temperatura, es decir a una temperatura de aproximadamente los 600°C en el sobrecalentador, por medio de un generador de vapor industrial de receptor solar que admite un flujo incidente del orden de los 600 kW/m², según la reivindicación 1. El indicado generador tiene una potencia superior a los 100 MW. Comprende un evaporador seguido de un

50 sobrecalentador, un primer recipiente, llamado recipiente de separación, situado entre el evaporador y el sobrecalentador, estando superpuesto verticalmente a un segundo recipiente, llamado recipiente de mezcla, estando el recipiente de separación provisto de una salida para enviar vapor saturado hacia el sobrecalentador y estando el recipiente de mezcla provisto de una entrada para la llegada de agua de alimentación y estando conectado con un conducto de retorno de agua hacia el evaporador, estando el indicado conducto provisto de una bomba de

55 circulación, estando el recipiente de separación y el recipiente de mezcla en comunicación por medio de al menos un conducto de conexión. El indicado procedimiento comprende al menos las etapas sucesivas siguientes:

- se genera una mezcla de agua-vapor en el evaporador por transferencia de calor procedente del flujo solar incidente sobre el evaporador;

- se separa la mezcla de agua-vapor en agua saturada y en vapor saturado en el recipiente de separación, presentando el vapor saturado una presión comprendida entre los 160 y 200 bares y una temperatura comprendida entre los 347 y los 366°C:
- se inyecta el agua de alimentación en el recipiente mezclador donde se mezcla con el agua saturada procedente del recipiente de separación, volviendo seguidamente el agua mezclada hacia el evaporador por el conducto de retorno provisto de la bomba de circulación,

de forma que la temperatura del agua mezclada que entra en el evaporador sea inferior a la temperatura de vapor saturada, en un valor comprendido entre 5 y 15°C.

Según una forma de realización preferida de la invención, la temperatura del agua mezclada que entra en el evaporador es inferior a la temperatura de vapor saturada, en un valor comprendido entre 5 y 10°C.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un generador según la reivindicación 3. Se trata de un generador de vapor industrial de receptor solar que admite un flujo solar incidente del orden de los 600 kW/m², siendo el indicado generador de potencia superior a los 100 MW, con ciclo de vapor simple, en circulación asistida a una presión de más de 160 bares, de preferencia más de 180 bares y de preferencia aún de aproximadamente 200 bares y a una temperatura de aproximadamente los 600°C en el sobrecalentador, que comprende:

- un receptor solar en forma de un evaporador para la generación de una mezcla de agua-vapor, seguida de un sobrecalentador para el aumento de temperatura del vapor saturado,
- un primer recipiente, llamado recipiente de separación, situado entre el evaporador y el sobrecalentador, para la separación del vapor saturado y del agua saturada, estando el recipiente de separación provisto de una salida para enviar el vapor saturado a una temperatura comprendida entre los 347 y los 366°C al sobrecalentador,
- un segundo recipiente, llamado recipiente de mezcla, al cual el recipiente de separación está superpuesto verticalmente, estando el recipiente de mezcla provisto de una entrada para la llegada de agua de alimentación a una temperatura sustancialmente inferior a la temperatura del agua saturada y estando conectado con un conducto de retorno de agua hacia el evaporador, estando el indicado conducto provisto de una bomba de circulación, estando el recipiente de separación y el recipiente de mezcla en comunicación por medio de al menos un conducto de conexión, con el fin de mezclar el agua saturada procedente del recipiente de separación con el agua de alimentación inyectada en el recipiente de mezcla, de forma que el agua así mezclada enviada a la entrada del evaporador sea sub-refrigerada, es decir a una temperatura inferior de algunos grados a la temperatura de vapor saturado.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 representa esquemáticamente el receptor solar de generación de vapor directa según la presente invención.

Descripción de formas de realización preferidas de la invención

La presente invención propone un procedimiento para prevenir el secado (o dry-out) en una caldera para central solar de concentración.

El generador de vapor utilizado en la presente invención permite generar un ciclo de vapor simple a alta presión (aproximadamente 200 bares) y alta temperatura (aproximadamente 600°C en el sobrecalentador). La instalación tomada por ejemplo aquí proporciona una potencia típica de 250 MW.

El circuito 1 comprende un evaporador 2, una bomba de circulación 3, un primer recipiente 4, llamado recipiente separador de agua/vapor provisto de una salida 8 para exportar vapor saturado, un segundo recipiente 5, llamado recipiente de mezclado provisto de una entrada de agua de alimentación 7. El primer recipiente 4 y el segundo recipiente 5 están superpuestos verticalmente e interconectados por uno o varios tubos de conexión 6, que permiten la circulación del agua saturada del recipiente superior 4 al recipiente inferior 5. El vapor saturado es en su salida del recipiente separador 4 enviado seguidamente a un sobrecalentador donde es sobrecalentado a 600°C antes de ser enviado a una turbina. El vapor descomprimido y refrigerado se transforma seguidamente en agua en el condensador (no representado). Este agua es seguidamente reenviada, por medio del recipiente de mezcla 5, hacia el evaporador 2 por la bomba de circulación 3, lo cual termina el ciclo.

El evaporador comprende por ejemplo, en el caso de una central solar de concentración de tipo torre (CSP Tower) uno o varios intercambiadores de calor aptos para transferir la energía del flujo solar incidente, reflejada por los heliostatos, hacia el agua de la caldera con miras a la producción de vapor.

Sucede que utilizando un solo recipiente para la generación de vapor saturado, los cálculos teóricos, teniendo en cuenta criterios de secado dry-out y DBN, muestran que un flujo térmico admisible en los intercambiadores del evaporador sería muy bajo. Ahora bien, para este tipo de instalación, se debe poder admitir un flujo solar incidente por ejemplo del orden de los 600 kW/m².

El inventor ha descubierto que, para poder admitir dicho flujo incidente, es indispensable refrigerar el agua de circulación solamente algunos grados, típicamente de 5 a 10 grados.

Por ejemplo, para un vapor saturado de salida a una presión de 195 bares y una temperatura de 364°C, la temperatura del agua de circulación debería ser de 359°C en lugar de 364°C para cumplir con los criterios de dry-out/DNB. Este sub-enfriamiento del agua permite obtener un porcentaje de circulación real del orden de los 10 en lugar de los 6, valor sin sub-enfriamiento, y cumplir con el criterio de dry-out.

5 Según la presente invención, el sub-enfriamiento adecuado del agua de circulación se realiza gracias a una configuración de dos recipientes: el recipiente superior 4 que recibe la mezcla de agua-vapor procedente del evaporador y exporta el vapor después del secado y el recipiente inferior 5, que recibe el agua de alimentación y envía esta agua, mezclada con el agua saturada procedente del recipiente superior 4, hacia el sistema de circulación.

10 El agua inyectada en el recipiente de mezcla (220 a 290°C en el ejemplo indicado más arriba) está más fría que el agua de saturación (364°C en el ejemplo indicado más arriba) y la mezcla de las dos proporciona un agua ligeramente sub-enfriada, que cumple con los criterios de secado (Dry-out – DNB).

15 La utilización de un segundo recipiente, para mezclar el agua saturada con el agua de alimentación, permite obtener el sub-enfriamiento del agua algunos grados necesario (359°C en lugar de los 364°C aproximadamente) y por consiguiente aumentar el porcentaje de circulación (10 en nominal, calculado según la entalpia) para un flujo solar incidente de aproximadamente los 600 kW/m².

Lista de los símbolos de referencia

- 1 circuito de caldera
- 2 evaporador
- 20 3 bomba de circulación
- 4 recipiente separador de agua/vapor
- 5 recipiente mezclador
- 6 conducto de conexión
- 7 entrada de agua de alimentación
- 25 8 salida de vapor saturado
- 9 conducto de retorno de agua.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para generar un ciclo de vapor a una presión de más de 160 bares, de preferencia de aproximadamente 200 bares y a una temperatura de aproximadamente 600°C, por medio de un generador de vapor industrial, de potencia superior a los 100 MW, con un receptor solar (1) que admite un flujo solar incidente del orden de los 600 kW/m², comprendiendo el indicado generador un evaporador (2) seguido de un sobrecalentador, un primer recipiente (4), llamado recipiente de separación, situado entre el evaporador (2) y el sobrecalentador, estando superpuesto verticalmente a un segundo recipiente (5), llamado recipiente de mezclado, estando el recipiente de separación (4) provisto de una salida (8) para enviar el vapor saturado hacia el sobrecalentador y estando el recipiente de mezclado (5) provisto de una entrada (7) para la entrada de agua de alimentación y estando conectado con un conducto (9) de retorno de agua hacia el evaporador (2), estando el indicado conducto (9) provisto de una bomba de circulación (3), estando el recipiente de separación (4) y el recipiente de mezclado (5) en comunicación por medio de al menos un conducto de conexión (6), comprendiendo el indicado procedimiento al menos las etapas sucesivas siguientes:

- 15 - se genera una mezcla de agua-vapor en el evaporador (2) por transferencia de calor procedente del flujo solar incidente sobre el evaporador (2);
- se separa la mezcla de agua-vapor en agua saturada y en vapor saturado en el recipiente de separación (4), teniendo el vapor saturado una presión comprendida entre los 160 y los 200 bares y una temperatura comprendida entre los 347 y los 366°C;
- 20 - se inyecta el agua de alimentación en el recipiente mezclador (5) donde se mezcla con el agua saturada procedente del recipiente de separación (4), volviendo el agua mezclada seguidamente hacia el evaporador (2) por el conducto (9) de retorno provisto de la bomba de circulación (3),

de forma que la temperatura del agua mezclada que entra en el evaporador (2) sea inferior a la temperatura del vapor saturado, en un valor comprendido entre los 5 y 15°C con el fin de cumplir los criterios de secado de la superficie interna del tubo del evaporador (2) para el indicado flujo solar incidente.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la temperatura del agua mezclada que entra en el evaporador (2) es inferior a la temperatura de vapor saturado, en un valor comprendido entre 5 y 10°C.

3. Generador de vapor industrial con receptor solar que admite un flujo solar incidente del orden de los 600 kW/m² siendo el indicado generador de potencia superior a 100 MW, con ciclo de vapor simple, en circulación asistida, a una presión de más de 160 bares, de preferencia de aproximadamente 200 bares y a una temperatura de aproximadamente los 600°C, que comprende:

- 35 - un receptor solar (1) en forma de un evaporador (2) para la generación de una mezcla de agua-vapor, seguido de un sobrecalentador para el aumento de temperatura del vapor saturado,
- un primer recipiente (4) , llamado recipiente de separación, situado entre el evaporador (2) y el sobrecalentador, para la separación del vapor saturado y del agua saturada, estando el recipiente de separación (4) provisto de una salida (8) para enviar el vapor saturado a una temperatura comprendida entre los 347 y los 366°C hacia el sobrecalentador,
- 40 - un segundo recipiente (5), llamado recipiente de mezcla, al cual el recipiente de separación (4) está superpuesto verticalmente, estando el recipiente de mezclado (5) provisto de una entrada (7) para la llegada de agua de alimentación a una temperatura sustancialmente inferior a la temperatura del agua saturada y estando conectado con un conducto (9) de retorno de agua hacia el evaporador (2), estando el indicado conducto (9) provisto de una bomba de circulación (3), estando el recipiente de separación (4) y el recipiente de mezclado (5) en comunicación por medio de al menos un conducto de conexión (6), con el fin de mezclar
- 45 el agua saturada procedente del recipiente de separación (4) con el agua de alimentación inyectada en el recipiente de mezclado (5), de forma que el agua así mezclada enviada a la entrada del evaporador (2) sea sub-enfriada, es decir a una temperatura inferior a un valor comprendido entre 5 y 15°C a la temperatura de vapor saturado con el fin de cumplir los criterios de secado de la superficie interna del tubo del evaporador (2) para el indicado flujo solar incidente.

50

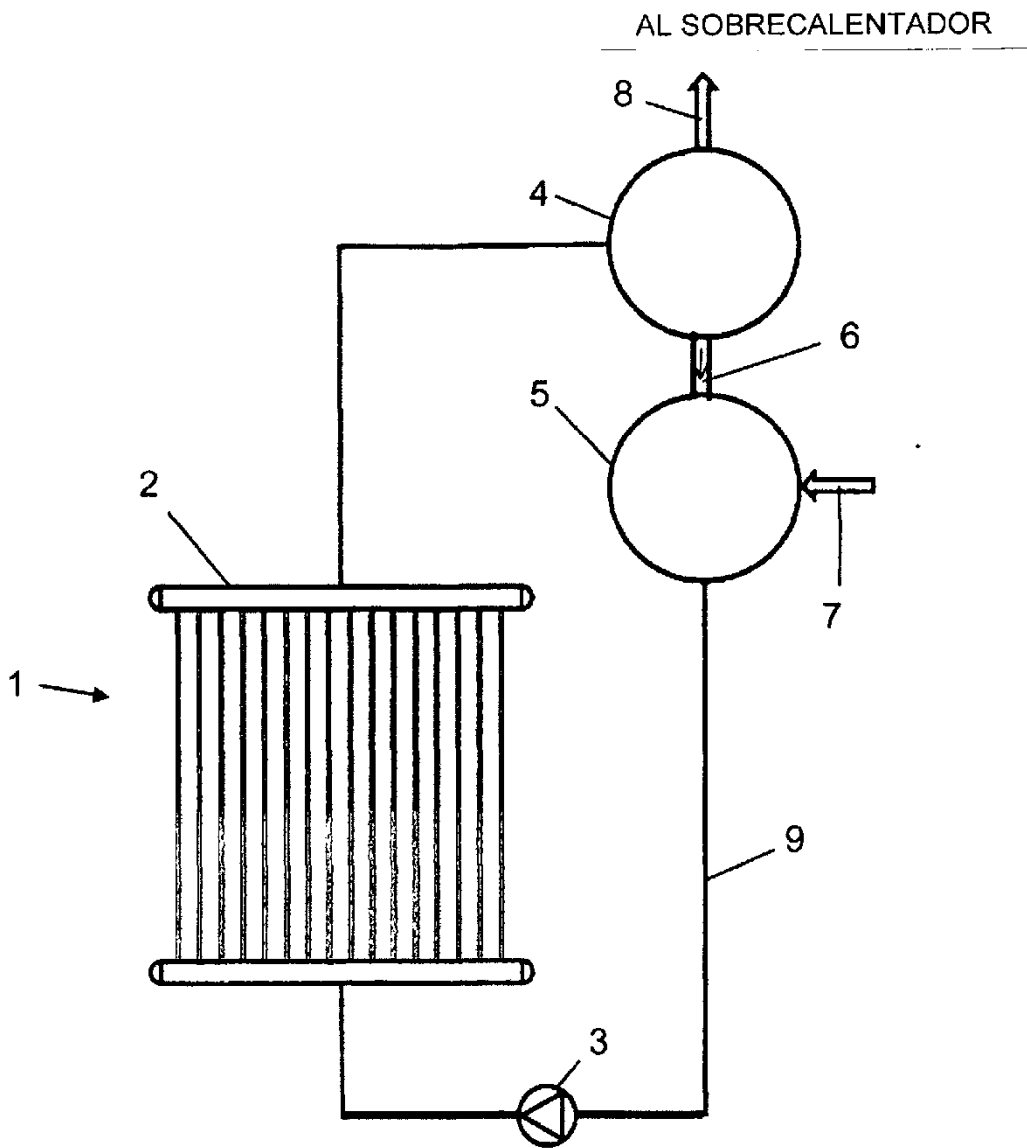


FIG. 1