

19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 565 690**

21 Número de solicitud: 201431291

51 Int. Cl.:

F03G 6/06 (2006.01)

F01K 3/12 (2006.01)

F22B 1/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

05.09.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

06.04.2016

Fecha de la concesión:

13.01.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

20.01.2017

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2015/070645

73 Titular/es:

ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES,S.A.
(100.0%)

Campus Palmas Altas C/ Energía Solar 1
41014 Sevilla (Sevilla) ES

72 Inventor/es:

JOVÉ LLOVERA, Aleix;
PRIETO RÍOS, Cristina;
RUBIO ABUJAS, Carlos;
RODRÍGUEZ SANCHEZ, Alfonso y
ALGUACIL CUBERO, María

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

54 Título: **Método y sistema de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor y planta solar de generación de vapor**

57 Resumen:

La invención se refiere a un método y a un sistema de almacenamiento térmico para una planta de generación de vapor, así como a la planta solar que incorpora dicho sistema. El método objeto de la invención minimiza el efecto de carga y/o descarga en condiciones que difieren de las nominales mediante un sistema compuesto por tres bloques: i) un bloque de saturado basado en materiales de cambio de fase y ii) un bloque de sobrecalentado que eleva la temperatura del vapor del fluido de transferencia térmica hasta los valores deseados y iii) un bloque de precalentado que aumenta la diferencia de temperaturas entre un tanque frío y un tanque caliente de un material de almacenamiento térmico sin cambio de fase.

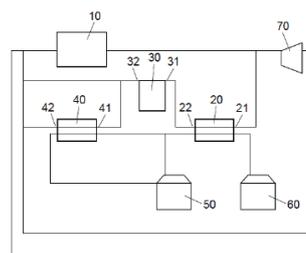


FIG. 1

ES 2 565 690 B1

DESCRIPCIÓN

Método y sistema de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor y planta solar de generación de vapor

Campo de la invención

5 La presente invención se enmarca en el sector de la generación eléctrica termosolar, concretamente en la configuración de las plantas de generación directa de vapor y los sistemas de almacenamiento térmico correspondientes.

En particular, se refiere a la configuración y dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento térmico dentro de una planta termosolar de generación directa de vapor.

10 La configuración y el método que se proponen permiten almacenar calor gracias al vapor producido durante el día y entregar este calor cuando sea necesario, produciendo vapor sobrecalentado a las condiciones más similares posibles a las de operación nominal de la planta.

La configuración de los sistemas de almacenamiento propuestos tiene aplicación tanto en
15 centrales termosolares para la producción de vapor, como en procesos de producción dónde el almacenamiento de calor puede ser un factor diferenciador desde el punto de vista de eficiencia energética y económica.

Antecedentes de la invención

Los materiales de almacenamiento térmico más comúnmente utilizados en las plantas
20 termosolares conocidas son las sales fundidas y el aceite térmico. Los primeros pueden crear problemas en operación como el riesgo de congelación de las sales en las distintas partes de la instalación y los segundos representan un coste muy importante de la planta además de que no permiten alcanzar temperaturas elevadas (unos 400 °C) lo que implica una baja eficiencia en el ciclo de vapor posterior. Aun así, ambas tecnologías disponen de
25 sistemas de almacenamiento térmico basados en acumulación de calor en sistemas de doble tanque de sales fundidas.

Las plantas termosolares de generación directa de vapor sobrecalentado se presentan como una alternativa a las tecnologías que utilizan aceites y sales para reducir los costes de generación de energía eléctrica. Este tipo de plantas permite simplificar el diseño al utilizar
30 el vapor como fluido de transferencia térmica, lo que permite eliminar sistemas de intercambiadores/generadores de vapor en la instalación. La principal desventaja de esta

tecnología es que no existe un sistema de almacenamiento competitivo de grandes capacidades.

Los ciclos de potencia de estas plantas de vapor sobrecalentado acostumbran a ser generalmente ciclos Rankine con o sin recalentamiento, con presiones de funcionamiento
5 entre los 100 bar y los 170 bar y con temperaturas de sobrecalentamiento entre los 585 °C y los 360 °C. Además estos ciclos suelen estar diseñados para el funcionamiento diario disponiendo una configuración de extracciones y recuperadores que maximiza su rendimiento mientras la planta opera durante el día, generando electricidad y en paralelo cargando el sistema de almacenamiento durante las horas de sol, en caso de que exista.

10 Los sistemas de almacenamiento conocidos asociados a estas plantas se dividen en: a) sistemas de almacenamiento térmico que almacenan calor proveniente de vapor saturado exclusivamente, b) sistemas de almacenamiento térmico que almacenan calor proveniente de vapor saturado y sobrecalentado a la vez. En estos sistemas el rendimiento del ciclo en el caso de la descarga se ve penalizado por el hecho de descargar el vapor a presiones y/o
15 temperaturas significativamente por debajo de las nominales.

Los sistemas del caso a) pueden funcionar exclusivamente con ciclos de vapor saturado (turbinas que solo aceptan vapor saturado). Aun así permiten un rango de funcionamiento a distintas presiones siempre y cuando el vapor entre al ciclo en estado saturado. Cabe decir que cada ciclo está diseñado para su funcionamiento nominal a una presión determinada (la
20 máxima) y al disminuir esta presión el rendimiento disminuye.

Los sistemas del caso b) pueden funcionar con ciclos de vapor sobrecalentado (turbinas que solo aceptan vapor sobrecalentado). Si se utiliza una turbina de vapor sobrecalentado el vapor descargado debe asegurar una temperatura de sobrecalentamiento mínima para cada presión de funcionamiento, normalmente de 50 °C por encima de la temperatura de
25 saturación. Debido a esto también existen infinidad de combinaciones de funcionamiento, aun así, y como en el anterior caso, al alejarnos de las condiciones de presión y temperatura nominales disminuye el rendimiento del ciclo.

Hasta el momento estas plantas de vapor se diseñan con sistemas de almacenamiento térmico basados en acumuladores de vapor saturado, los llamados tanques Ruth's. Estos
30 tanques pueden llegar a acumular vapor a la misma presión con la cual son cargados, pero permiten solamente la descarga a una presión significativamente menor de la nominal ya sea con presión deslizante o con escalones de presión constante en el módulo de saturado.

Es también conocida una configuración de almacenamiento térmico sin acumulación de vapor con dos tanques de sales, un tanque frío y un tanque caliente. Esta configuración incluye un intercambiador de calor conectado entre los dos tanques donde, en el caso de la descarga, se evapora y sobrecalienta el agua proveniente del ciclo de potencia gracias a las sales que pasan del tanque caliente al frío a través del intercambiador de calor. Durante la carga se introduce vapor sobrecalentado al intercambiador de calor que se enfría y condensa parcialmente intercambiando calor con las sales que pasan del tanque frío al tanque caliente a través del intercambiador de calor. Esta configuración incluye además un recuperador de calor que aprovecha el calor de la corriente de agua saliente del intercambiador de sales en la carga. Este recuperador es necesario para condensar completamente el vapor parcialmente condensado en el intercambiador de calor. Esta configuración con el recuperador implica la modificación de las condiciones de las extracciones del ciclo de potencia con lo que se aleja del funcionamiento nominal y con ello del máximo rendimiento posible.

15 **Descripción de la invención**

La presente invención minimiza el efecto de carga y/o descarga en condiciones que difieren de las nominales planteando un sistema compuesto por tres bloques: i) un bloque de saturado basado en materiales de cambio de fase y ii) un bloque de sobrecalentado que eleva la temperatura del vapor de un fluido de transferencia térmica hasta los valores deseados y iii) un bloque de precalentado que aumenta la diferencia de temperaturas entre un tanque frío y un tanque caliente de un material de almacenamiento térmico sin cambio de fase.

Esta solicitud se refiere a un material de almacenamiento térmico sin cambio de fase como un material que puede ser sólido, líquido o gas, que almacena calor aumentando su temperatura, sin que cambie de fase en las condiciones del sistema. En un ejemplo de realización este tipo de material pueden ser sales fundidas.

Igualmente por fluido de transferencia térmica se entiende el fluido que circula del campo solar al ciclo y es devuelto al campo solar y que opcionalmente podría ser además empleado en un sistema de generación eléctrica.

El bloque de saturado se basa en el calor latente de un material que cambia de fase a una temperatura similar a la del vapor saturado. La transmisión de energía térmica se realiza en un proceso isoterma permitiendo generar vapor saturado a presión constante. De esta forma se minimiza la histéresis entre las presiones de carga y de descarga.

El bloque de sobrecalentado se encarga de elevar la temperatura del vapor proveniente del bloque de saturado hasta llegar a valores de temperatura lo más cercanos a la nominal.

5 El bloque de precalentado permite, en el caso de la descarga, el intercambio térmico entre el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase proveniente de un sobrecalentador y el fluido de transferencia térmica proveniente del ciclo de potencia. De esta forma el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase reduce su temperatura a los valores mínimos que permite sin cambiar de fase. Este incremento en la diferencia de temperaturas en el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase entre el tanque frío y el tanque caliente hasta valores máximos permite la utilización de una
10 cantidad menor de dicho material aprovechando todo el rango de temperatura disponible del mismo y con ello reducir la inversión tanto en el propio material como en volumen de los tanques y cimentaciones.

La presente invención propone una configuración de un sistema de almacenamiento para la tecnología de generación directa de vapor basado en un sistema de cambio de fase y un
15 sistema de doble tanque de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase. Esta configuración permite descargar el sistema maximizando el rendimiento del ciclo de potencia en la descarga.

La invención consiste en el método para llevar a cabo el intercambio de calor entre materiales de almacenamiento térmico y el fluido de transferencia térmica tanto en el
20 procedimiento de carga como de descarga, en el sistema para llevar a cabo dicho método y en una planta solar de almacenamiento térmico que comprende dicho sistema.

Según lo comentado anteriormente, la configuración propuesta consta de un módulo de cambio de fase, un tanque frío de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase (tanque frío), un tanque caliente de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase
25 (tanque caliente), un sobrecalentador que realiza el intercambio de calor entre el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase y el fluido de transferencia térmica en estado vapor sobrecalentado y un precalentador que realiza un intercambio entre el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase y el fluido de transferencia térmica en estado líquido subenfriado.

30 En la descarga, siguiendo el circuito del fluido de transferencia térmica, ambos intercambiadores van montados en serie con el módulo de cambio de fase y en dirección de menor a mayor temperatura encontraríamos: precalentador, módulo de cambio de fase y sobrecalentador. El módulo de cambio de fase se emplea para evaporar el líquido o condensar el vapor según se encuentre el sistema en modo de descarga o carga

respectivamente y puede ser diseñado para además calentar líquido subenfriado hasta condiciones de saturación en la descarga. Para implementar esta configuración será necesario incluir un sistema de tuberías que permita circular en la descarga el líquido precalentado del precalentador al módulo de cambio de fase y en la carga el líquido de transferencia térmica saturado saliente del módulo de cambio de fase directamente al campo solar, no circulándose esta corriente al precalentador.

En el circuito del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase y de menor a mayor temperatura (en el caso de la descarga) encontramos el tanque frío, el precalentador, el sobrecalentador y el tanque caliente. En el caso de la carga el circuito sería tanque frío, sobrecalentador y tanque caliente. El sistema de tuberías en la carga debe circular el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase desde el tanque frío al tanque caliente a través del sobrecalentador mientras que en la descarga el sistema de tuberías circula el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase del tanque caliente al tanque frío a través de sobrecalentador y precalentador.

Según lo anterior, el método de almacenamiento térmico se caracteriza por que comprende los siguientes pasos:

- En la carga, en el circuito del fluido de transferencia térmica el vapor procedente de la planta solar está sobrecalentado y es enfriado en el sobrecalentador hasta su transformación en vapor saturado e introducido posteriormente en el módulo de cambio de fase donde se transforma en líquido saturado mientras que en el circuito del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase que abandona el tanque frío es calentado en el sobrecalentador y almacenado en el tanque caliente. El tanque frío puede vaciarse total o parcialmente, pero siempre la totalidad del material térmico sin cambio de fase que abandona el tanque frío es almacenado en el tanque caliente.

- En la descarga el fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado es precalentado en el precalentador incrementando su temperatura y manteniéndose en condiciones de líquido subenfriado. Posteriormente es introducido en el módulo de cambio de fase donde se transforma en líquido saturado y posteriormente en vapor saturado y finalmente es sobrecalentado hasta vapor sobrecalentado en el sobrecalentador. Mientras en el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, la totalidad de dicho material que sale del tanque caliente, es enfriado en el sobrecalentador y a continuación en el

precalentador y finalmente almacenado en el tanque frío. Igual que en la carga, el tanque caliente puede vaciarse total o parcialmente, pero siempre la totalidad del material térmico sin cambio de fase que abandona el tanque caliente es almacenado en el tanque frío.

- 5 Y por lo tanto, el sistema se caracteriza por que comprende el módulo con el material de cambio de fase, el circuito del fluido de transferencia térmica y el circuito del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase estando los circuitos configurados de modo que son distintos en el caso de carga y descarga del sistema, donde,

En la carga

- 10 - el circuito de fluido de transferencia térmica comprende el sobrecalentador en conexión con la planta solar y con el módulo de cambio de fase, y
- el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase comprende el sobrecalentador, el tanque frío y el tanque caliente, estando el tanque frío, el sobrecalentador y el tanque caliente configurados de modo que la totalidad del material
- 15 de almacenamiento térmico sin cambio de fase procedente del tanque frío pasa al tanque caliente a través del sobrecalentador.

En la descarga

- el circuito de fluido de transferencia térmica comprende el módulo de cambio de fase, el sobrecalentador y el precalentador, estando configurados de modo que se
- 20 dispone el precalentador seguido del módulo de cambio de fase y seguido del sobrecalentador y estando configurado el precalentador para elevar la temperatura del fluido de transferencia térmica sin alcanzar condiciones de saturación y el módulo de cambio de fase para realizar tanto el calentamiento del fluido de transferencia térmica hasta las condiciones de saturación como su cambio de fase a vapor saturado,
- 25 - el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase comprende el tanque frío, el tanque caliente, el sobrecalentador y el precalentador, estando configurados de modo que se dispone el tanque caliente seguido del sobrecalentador a su vez seguido del precalentador y seguido del tanque frío y pasando la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase procedente del tanque caliente al tanque frío a
- 30 través del sobrecalentador y el precalentador de modo que la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase que abandona el tanque caliente pasa al tanque frío a través del sobrecalentador y el precalentador.

El método y la configuración de la invención permiten obtener la mínima temperatura posible en el tanque frío y la máxima temperatura posible en el tanque caliente.

La energía almacenada en un sistema de almacenamiento de cambio de fase es directamente proporcional al calor latente de cambio de fase del propio material de cambio de fase por lo que es directamente proporcional a la cantidad de este material. El almacenamiento energético en el sistema de cambio de fase se produce porque el módulo de cambio de fase mantiene una temperatura de condensación-solidificación tal que permite un gradiente térmico con el fluido de transferencia térmica en condiciones de saturación liquido-vapor que asegura la transferencia de calor. En un ejemplo de realización este gradiente térmico es de al menos 2°C.

La energía almacenada en un sistema de doble tanque de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase se puede calcular de la forma siguiente:

Energía almacenada = Cantidad de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase * Calor específico * ΔT

Entonces, para almacenar la máxima energía posible con la menor cantidad de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase debe conseguirse el máximo ΔT o máxima diferencia de temperaturas entre tanque frío y tanque caliente posible. Un mayor ΔT permite poder dimensionar los tanques de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase de un menor tamaño para almacenar la misma cantidad de energía.

En el modo de carga el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase a la mínima temperatura posible que permite su operación circula de tanque frío a tanque caliente a través del sobrecalentador. Este material de almacenamiento térmico sin cambio de fase gana el calor cedido por el fluido de transferencia térmica en condiciones de vapor sobrecalentado que circula desde el campo solar al sobrecalentador.

A la salida del sobrecalentador el fluido de transferencia térmica sobrecalentado adquiere calidad de vapor saturado gracias a haber cedido el calor sensible correspondiente a la parte sobrecalentada al material de almacenamiento térmico sin cambio de fase.

El fluido de transferencia térmica ya en condiciones de vapor saturado pasa por el módulo de cambio de fase condensándose y cediendo todo el calor de su condensación al material de cambio de fase. Éste último gana el calor cedido por el fluido de transferencia térmica y cambia de fase. Este intercambio de calor es debido a la existencia de un gradiente térmico entre el material de cambio de fase y el fluido de transferencia térmica en condiciones de liquido-vapor saturado.

El fluido de transferencia térmica, en estado de líquido saturado, saliente del módulo de cambio de fase es circulado al proceso en condiciones de saturación para ser de nuevo vaporizado y sobrecalentado en el receptor del campo solar.

5 En el proceso de descarga el circuito es distinto. El fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado pasa por el precalentador y aumenta su energía, saliendo del precalentador con un grado de subenfriamiento menor que a su entrada. Posteriormente se introduce en el módulo de cambio de fase, donde el fluido de transferencia térmica en estado de líquido subenfriado aumenta su energía y cambia de fase hasta salir en condiciones de vapor saturado. Este intercambio de calor es debido a la
10 existencia de un gradiente térmico entre el material de cambio de fase y el fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido-vapor saturado. Finalmente pasa por el sobrecalentador y aumenta su energía, saliendo en estado de vapor sobrecalentado.

El material de almacenamiento térmico sin cambio de fase del tanque caliente pasa por el sobrecalentador cediendo parte de su calor sensible. Este mismo material de
15 almacenamiento sin cambio de fase a su salida del sobrecalentador es introducido en el precalentador para que continúe cediendo energía al fluido de transferencia térmica en estado de líquido subenfriado, de esta forma se llega a la temperatura mínima consiguiéndose una mayor diferencia de temperaturas entre el tanque frío y caliente. Posteriormente el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase es alojado en el
20 tanque frío.

En la descarga, el fluido de transferencia térmica en estado de líquido subenfriado proveniente del ciclo no llega a alcanzar las condiciones de saturación a la salida del precalentador, realmente este fluido gana calor elevando su temperatura pero siempre en el rango de líquido subenfriado. La temperatura que alcanza el fluido de transferencia térmica
25 a la salida del precalentador está determinada por el calor cedido por el caudal de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase proveniente del sobrecalentador. Dicho caudal entrega solamente parte de la potencia que requeriría el fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado para conseguir llegar a condiciones de saturación en el precalentador. Esto es debido a que la energía térmica requerida para
30 pasar de líquido subenfriado a condiciones de saturación en el precalentador es mayor que la energía térmica que es capaz de transmitir el caudal de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, dado que este caudal es el mismo que intercambia calor en el sobrecalentador.

Según lo anterior, se mantiene el mismo caudal de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase a través del sobrecalentador y precalentador, teniendo esto la ventaja de que permite aprovechar todo el rango operativo del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase. Además esto evita la necesidad de un tanque intermedio que almacene el excedente de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase que sería necesario en el precalentador para llevar el fluido de transferencia térmica de condiciones de líquido subenfriado a condiciones de saturación. Además, al precalentar el fluido de transferencia térmica de condiciones de líquido subenfriado en el precalentador, con la corriente de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase proveniente del tanque caliente a través del sobrecalentador se disminuye la temperatura del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase maximizando la diferencia de temperaturas entre tanque frío y caliente.

Según lo anterior, los tanques de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase ceden energía a dos procesos distintos: i) para llevar el fluido de transferencia térmica de condiciones de líquido subenfriado a líquido subenfriado con un grado menor de subenfriamiento a través del precalentador; y también ii) para llevar el fluido de transferencia térmica en condiciones de vapor saturado a condiciones de sobrecalentado a través del sobrecalentador.

Finalmente, es también objeto de la invención la planta solar de generación de vapor que comprende un sistema de almacenamiento térmico según lo anteriormente descrito.

Descripción de las figuras

Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integral de la descripción e ilustran ejemplos de realización de la invención.

La figura 1 muestra una representación esquemática de un ejemplo de realización de la configuración de planta objeto de la invención.

La figura 2 muestra la gráfica temperatura (T) – calor (Q) del proceso de carga del sistema de almacenamiento de la configuración de planta correspondiente a la figura 1.

La figura 3 muestra la gráfica temperatura (T) – calor (Q) del proceso de descarga del sistema de almacenamiento de la configuración de planta correspondiente a la figura 1.

Descripción detallada de la invención

En la figura 1 se muestra un ejemplo de realización del objeto de la invención. En el ejemplo de realización el fluido de transferencia térmica es agua. Se muestra un campo solar (10) y un bloque de potencia (70). La figura 1 representa el bloque de potencia (70) únicamente mediante una turbina aunque comprendería los elementos propios de un elemento de potencia. El sistema está compuesto por un sistema de precalentamiento que comprende un precalentador (40) y dos tanques de sales: un tanque frío (50) y un tanque caliente (60), un sistema de evaporación constituido por un módulo (30) de cambio de fase y un sistema de sobrecalentamiento, constituido por un sobrecalentador (20).

En el proceso de carga del sistema de almacenamiento térmico, el vapor es circulado desde el campo solar (10) a la entrada del sobrecalentador (21), dirigiéndose posteriormente desde la salida del sobrecalentador (22) a la entrada del módulo (31) de cambio de fase donde cede su calor al material de cambio de fase. Desde la salida del módulo (32) de cambio de fase el agua, ya condensada, es recirculada de nuevo al campo solar (10).

En el proceso de descarga, el agua proveniente del bloque de potencia (70) se dirige a la entrada del precalentador (42), en el precalentador (40) recibe calor de las sales provenientes del tanque caliente (60) a través del sobrecalentador (20). A continuación se dirige al módulo (30) de cambio de fase donde experimenta el paso de agua líquida subenfriada a vapor saturado de calidad $X=1$, introduciéndose posteriormente en el sobrecalentador (20), donde es llevado de vapor saturado a vapor sobrecalentado gracias al calor cedido por las sales provenientes del tanque caliente (60). Finalmente dicho vapor es turbinado en el bloque de potencia (70), produciendo electricidad.

El fluido de transferencia térmica sale en la carga del sobrecalentador (20) en condiciones de vapor sobrecalentado con un grado de sobrecalentamiento inferior que al de su entrada al sobrecalentador (20).

Las figuras 2 y 3 muestran el ciclo térmico experimentado por el vapor y las sales en el ejemplo de realización mostrado en la figura 1.

La realización preferida de la presente invención se desarrolla para una planta de generación directa de vapor sobrecalentado de 530 °C a 130 bar de presión. El módulo (30) de cambio de fase propuesto es un módulo con una temperatura de cambio de fase preferentemente de 312 °C. La temperatura del agua subenfriada de retorno del bloque de potencia (70) se considera de 232 °C. Se establece la temperatura mínima de operación de las sales fundidas como 265°C.

Con las condiciones del vapor descritas y la naturaleza térmica del vapor y de las sales fundidas se obtiene la gráfica de carga de la figura 2 donde a indica circuito del agua, s indica el circuito de las sales y m el circuito del material de cambio de fase.

5 La temperatura de saturación del vapor a 130 bar son 331 °C por lo que se representa la condensación de este vapor a la temperatura constante de los 331 °C. Al tener un material de cambio de fase que funde a los 312 °C el gradiente de temperaturas entre 331 °C y 312 °C permite que haya una transferencia térmica entre el calor del vapor condensándose y el material de cambio de fase fundiéndose.

10 Se representa la temperatura del tanque caliente (60) como 522 °C ya que debido a la naturaleza térmica de las sales y del vapor sobrecalentado es la máxima temperatura que se puede conseguir respetando un mínimo gradiente térmico entre sales y vapor de 5 °C (representado en la gráfica como p). Así pues se asegura siempre una mínima transferencia térmica entre vapor y sales debido a este gradiente de 5 °C.

15 El procedimiento de carga del sistema anteriormente descrito sería entonces según la figura 2:

- 1) Entra vapor a 530 °C y 130 bar (punto 21a de la figura 2) al sobrecalentador (20) proveniente del campo solar (10).
- 2) El vapor pasa a través del sobrecalentador (20) cediendo calor a las sales fundidas y alcanzando condiciones de saturación a la salida del mismo, 20 temperatura de 331 °C y presión de 130 bares (punto 22a de la figura 2).
- 3) Las sales fundidas ganan el calor cedido por el vapor sobrecalentado mientras pasan también a través del sobrecalentador (20) pasando del tanque frío (50) a 265 °C al tanque caliente (60) donde alcanzan los 522 °C (puntos 22s y 21s de la figura 2).
- 25 4) El vapor proveniente del sobrecalentador (20) en condiciones de saturación 331 °C y 130 bares (punto 22a de la figura 2) se introduce al módulo (30) de cambio de fase condensándose completamente (punto 32a de la figura 2).
- 30 5) El módulo de cambio de fase (30) gana el calor cedido por el vapor condensándose y pasa de estado sólido a estado líquido (línea entre los puntos 32m y 31m de la figura 2).

- 6) El agua condensada (punto 32a de la figura 2) proveniente del módulo de cambio de fase (30) es retornada al campo solar (10) para ser de nuevo evaporada y sobrecalentada.

5 Con el sistema totalmente cargado, tanque frío (50) a 265 °C, tanque caliente (60) a 522 °C y módulo (30) de cambio de fase completamente fundido a 312 °C se procede a la descarga del mismo obteniéndose vapor a 97 bar ($T_{sat} = 308$ °C) y 517 °C. El proceso se estructura según la gráfica de la figura 3 donde de nuevo a indica circuito del agua, s indica el circuito de las sales y m el circuito del material del cambio de fase.

10 El intercambio térmico en el precalentador (40) implica la transferencia térmica de calor desde las sales hacia el agua subenfriada: las sales reducirían su temperatura desde los 315 °C (punto 41s de la figura 3) temperatura a la que se encuentran a la salida del sobrecalentador (20) hasta los 265 °C (punto 42s de la figura 3) que es cuando se vierten al tanque frío (50). El agua subenfriada gana temperatura desde los 232 °C (punto 42a de la figura 3) a su entrada al precalentador (40), proveniente del bloque de potencia (70),
15 hasta los 266 °C (punto 41a de la figura 3), temperatura a la que se encuentra a su salida del precalentador (40). En todo momento existe un elevado gradiente de temperatura que permite una eficiente transferencia térmica.

Tal y como se puede ver el vapor en condiciones de saturación a 97 bar (tramo horizontal de la línea 30a de la figura 3) tiene una temperatura de saturación de 308 °C y el módulo de
20 cambio de fase solidifica a los 312 °C (línea entre los puntos 31m y 32m) por lo que existe también un gradiente mínimo de 4 °C que permite la transferencia térmica del módulo (30) de cambio de fase hacia el agua líquida/vapor primero siendo agua subenfriada calentándose desde los 266 °C hasta los 308 °C y después evaporándose completamente a 308 °C.

25 Ya a la salida del módulo (30) de cambio de fase donde toda el agua es vapor saturado a 308 °C (punto 22a de la figura 3), este mismo vapor pasa al sobrecalentador (20) donde se sobrecalienta hasta los 517 °C (punto 21a de la figura 3) gracias al calor cedido por las sales (línea entre los puntos 21s y 22s de la figura 3). En este intercambio y por naturaleza térmica del vapor y de las sales se mantiene también un mínimo de 5 °C de gradiente
30 térmico entre las sales y el vapor. Este mínimo gradiente térmico se da entre el vapor sobrecalentado a su salida del sobrecalentador (20) y las sales a su entrada al mismo (20), que se refleja justamente entre los puntos 21s y 21a de la figura 3.

Así pues el proceso de descarga se desarrolla en los siguientes pasos:

- 1) Entra agua subenfriada a 232 °C (punto 42a de la figura 3) al precalentador (40), procedente del bloque de potencia (70).
- 2) El agua entra a través del precalentador (40) y gana el calor de las sales que circulan en sentido contrario pasando el agua de una temperatura de 232 °C a 266 °C (línea desde 42a hasta 41a de la figura 3).
- 3) En el mismo equipo las sales ceden el calor al agua subenfriada, pasando las sales de una temperatura de 315 °C a 265 °C (puntos 41s y 42s de la figura 3).
- 4) El agua subenfriada proveniente del precalentador (40) es introducida al módulo (30) de cambio de fase ganando calor hasta los 308 °C de temperatura de saturación y posteriormente evaporándose completamente (línea entre los puntos 41a y 22a de la figura 3).
- 5) El módulo (30) de cambio de fase cede calor al agua subenfriada en una primera etapa y después al agua saturada, evaporándose completamente. El material de cambio de fase pasa de estado líquido (punto 31m de la figura 3) a estado sólido (punto 32m de la figura 3).
- 6) El vapor saturado a la salida del módulo (30) de cambio de fase es introducido al sobrecalentador (20) donde gana temperatura sobrecalentándose hasta 517 °C (línea entre puntos 22a y 21a de la figura 3) gracias al calor cedido por las sales provenientes del tanque caliente (60) las cuales pasan de 522 °C a 315 °C (línea entre puntos 21s y 22s de la figura 3).
- 7) Las sales calientes del sobrecalentador (punto 22s de la figura 3) son directamente trasvasadas a la entrada del precalentador (40) (punto 41s de la figura 3).

El sistema propuesto en la invención, consigue gracias al módulo (30) de cambio de fase, los tanques (50, 60), al precalentador (40) y al sobrecalentador (20), circular en descarga el mismo caudal de sales por precalentador (40) y sobrecalentador (20), obteniéndose a la vez una diferencia de temperaturas máxima en el sistema de doble tanque (50, 60). No requiere por lo tanto la utilización de tanques intermedios que almacenen el excedente de sales que se originaría si el caudal de las mismas a través de precalentador (40) y sobrecalentador (20) fuese diferente.

La puesta en marcha, en el modo de descarga se realiza de acuerdo a dos opciones posibles de estado inicial del sistema:

- Primer ejemplo de realización: Se circula agua subenfriada proveniente del bloque de potencia (70), por el precalentador (40) por el que no pasan sales en un momento inicial. El agua subenfriada pasa al módulo de cambio de fase (30) donde se produce vapor saturado que pasa al sobrecalentador (20) de donde sale sobrecalentado de nuevo hacia el bloque de potencia. Las sales pueden seguir dos recorridos:
 - 5 ▪ 1A. Las sales salen del tanque caliente (60) y se circulan al sobrecalentador (20), de éste pasan al precalentador (40) y a la salida del precalentador (40) son circuladas al tanque frío (50).
 - 10 ▪ 1B. Las sales salen del tanque caliente (60), pasan por el sobrecalentador (20) y a su salida se circulan al tanque frío (50).
- Segundo ejemplo de realización: Se introduce agua subenfriada procedente del bloque de potencia (70) al módulo de cambio de fase (30) de donde sale en condiciones de vapor saturado y se circula al sobrecalentador (20) de donde sale sobrecalentado de nuevo hacia el ciclo de potencia. El circuito de sales puede seguir también dos opciones:
 - 15 ▪ 2A. Las sales salen del tanque caliente (60) y se circulan al sobrecalentador (20). De éste pasan al precalentador (40) y a la salida del precalentador (40) son circuladas al tanque frío (50).
 - 20 ▪ 2B. Las sales salen del tanque caliente (60), pasan por el sobrecalentador (20) y a su salida se circulan al tanque frío (50).

Otra alternativa de operación: durante la carga, el vapor sale del sobrecalentador en condiciones de vapor ligeramente sobrecalentado y se introduce al módulo de cambio de fase aportando calor en éste produciendo la fusión del material de cambio de fase y saliendo del mismo líquido saturado.

Esto implica un aumento de la potencia del módulo de cambio de fase para permitir almacenar la fracción de energía correspondiente a la fracción de sobrecalentamiento de este vapor. El caudal de sales que se necesita para intercambiar energía en el precalentador (40) y en el sobrecalentador (20), es menor que en el caso en que el vapor llega a condiciones de saturación a la salida del sobrecalentador (20).

Esta realización introduce un grado de libertad puesto que no es condicionante el estado de saturación del líquido y vapor a la entrada o salida del módulo de cambio de fase (30) y por

tanto el sistema es más versátil frente a cambios en temperatura y presión consiguiendo una mayor flexibilidad en el control de la planta.

REIVINDICACIONES

- 1.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor que comprende un circuito de un fluido de transferencia térmica y un circuito de un material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, caracterizado por que comprende los siguientes pasos:
- 5
- en la carga, en el circuito del fluido de transferencia térmica el vapor procedente de la planta solar está sobrecalentado y es enfriado en un sobrecalentador (20) hasta su transformación en vapor saturado e introducido posteriormente en un módulo (30) de cambio de fase donde se transforma en líquido saturado mientras que en el

10

 - circuito del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase procedente de un tanque frío (50) es calentado en el sobrecalentador (20) y almacenado en un tanque caliente (60), y
 - en la descarga el fluido de transferencia térmica en estado de líquido subenfriado es precalentado en un precalentador (40) incrementando su temperatura y manteniéndose en condiciones de líquido subenfriado y posteriormente es introducido en el módulo (30) de cambio de fase donde se transforma en líquido saturado y posteriormente en vapor saturado y finalmente es sobrecalentado hasta

15

 - vapor sobrecalentado en el sobrecalentador (20) mientras que en el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, la totalidad de dicho

20

 - material procedente del tanque caliente (60), es enfriado en el sobrecalentador (20) y a continuación en el precalentador (40) y finalmente almacenado en el tanque frío (50).
- 2.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según la reivindicación 1, caracterizado por que el módulo (30) de cambio de fase mantiene una
- 25
- temperatura de condensación-solidificación que permite un gradiente térmico con el fluido de transferencia térmica en condiciones de saturación líquido-vapor para asegurar la transferencia de calor entre el módulo (30) de cambio de fase y el fluido de transferencia térmica.
- 30
- 3.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según la reivindicación 2, caracterizado por que el gradiente es de al menos 2 °C.
- 4.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según la reivindicación 3, caracterizado por que el gradiente es de 4 °C.

- 5.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según la reivindicación 4, caracterizado por que el módulo (30) de cambio de fase posee una temperatura de cambio de fase de 312 °C para el agua como fluido de transferencia
5 térmica.
- 6.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el fluido de transferencia térmica sale en la carga del sobrecalentador (20) en condiciones de vapor sobrecalentado con un grado de sobrecalentamiento inferior que al de su entrada al sobrecalentador (20).
- 10 7.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la puesta en marcha en el modo de descarga se realiza circulando fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado por el precalentador (40) que posteriormente pasa al módulo (30) de cambio de fase donde adquiere condiciones de vapor que pasa al sobrecalentador (20)
15 mientras el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase sale del tanque caliente (60) y se circula al sobrecalentador (20), de éste pasa al precalentador (40) y a la salida del precalentador (40) es circulado al tanque frío (50).
- 8.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-6, caracterizado por que la puesta en marcha
20 en el modo de descarga se realiza circulando el fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado por el precalentador (40) posteriormente pasando al módulo (30) de cambio de fase donde adquiere condiciones de vapor que pasa al sobrecalentador (20) mientras el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase sale del tanque caliente (60), pasa por el sobrecalentador (20) y a su salida se circula al
25 tanque frío (50).
- 9.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-6, caracterizado por que en la puesta en marcha se introduce el fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado al módulo (30) de cambio de fase de donde sale en condiciones de vapor saturado y se
30 circula al sobrecalentador (20) de donde sale sobrecalentado mientras, en el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, éste material sale del tanque caliente (60) y se circula al sobrecalentador (20), pasa al precalentador (40) y a la salida del precalentador (40) se circula al tanque frío (50).

- 10.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-6, caracterizado por que en la puesta en marcha se introduce fluido de transferencia térmica en condiciones de líquido subenfriado al módulo (30) de cambio de fase de donde sale en condiciones de vapor saturado y se circula al sobrecalentador (20) de donde sale sobrecalentado mientras en el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase, éste material sale del tanque caliente (60), pasa por el sobrecalentador (20) y a su salida se circula al tanque frío (50).
- 11.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el fluido de transferencia térmica es agua.
- 12.- Método de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el material de almacenamiento térmico sin cambio de fase son sales fundidas.
- 13.- Sistema de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor caracterizado por que comprende un módulo (30) con un material de cambio de fase, un circuito de un fluido de transferencia térmica y un circuito de un material de almacenamiento térmico sin cambio de fase estando los circuitos configurados de modo que son distintos en el caso de carga y descarga del sistema, donde,
- en la carga,
 - el circuito de fluido de transferencia térmica comprende un sobrecalentador (20) en conexión con la planta solar y con el módulo (30) de cambio de fase, y
 - el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase comprende el sobrecalentador (20), un tanque frío (50) y un tanque caliente (60), estando el tanque frío (50), el sobrecalentador (20) y el tanque caliente (60) configurados de modo que la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase procedente del tanque frío (50) pasa al tanque caliente (60) a través del sobrecalentador (20),
 - en la descarga,
 - el circuito de fluido de transferencia térmica comprende el módulo (30) de cambio de fase, el sobrecalentador (20) y el precalentador (40), estando configurados de modo que se dispone el precalentador (40) seguido del módulo (30) de cambio de fase y seguido del sobrecalentador (20) y estando configurado el precalentador (40) para elevar la

temperatura del fluido de transferencia térmica sin alcanzar condiciones de saturación y el modulo (30) de cambio de fase para realizar tanto el calentamiento del fluido de transferencia térmica hasta las condiciones de saturación como su cambio de fase a vapor saturado,

5 el circuito de material de almacenamiento térmico sin cambio de fase comprende el tanque frío (50), el tanque caliente (60), el sobrecalentador (20) y el precalentador (40), estando configurados de modo que se dispone el tanque caliente (60) seguido del sobrecalentador (20) a su vez seguido del precalentador (40) y seguido del tanque frío
10 (50) de modo que la totalidad del material de almacenamiento térmico sin cambio de fase que abandona el tanque caliente (60) pasa al tanque frío (50) a través del sobrecalentador (20) y el precalentador (40).

14.- Sistema de almacenamiento térmico para planta solar de generación de vapor, según la reivindicación 13, caracterizado por que el fluido de transferencia térmica sale en la carga del sobrecalentador (20) en condiciones de vapor sobrecalentado con un grado de
15 sobrecalentamiento inferior que al de su entrada al sobrecalentador (20).

15.- Planta solar de generación de vapor, caracterizada por que comprende un sistema de almacenamiento térmico según una cualquiera de las reivindicaciones 13 ó 14.

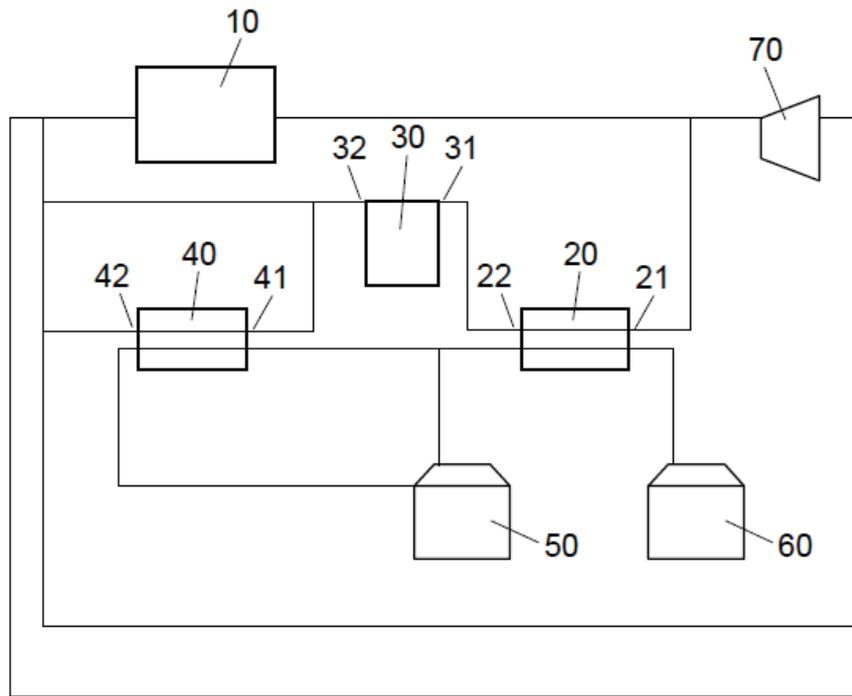


FIG. 1

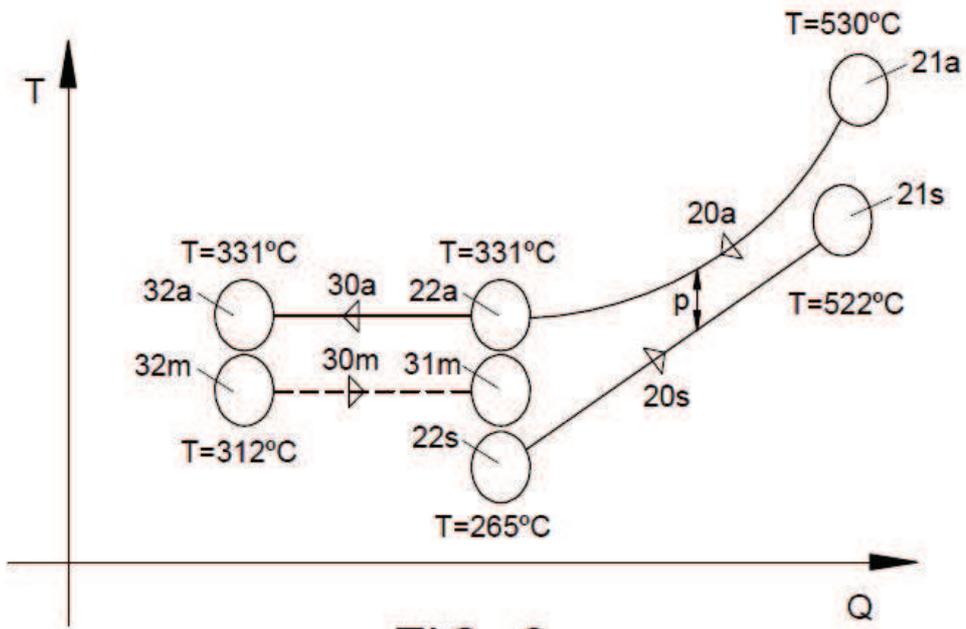


FIG. 2

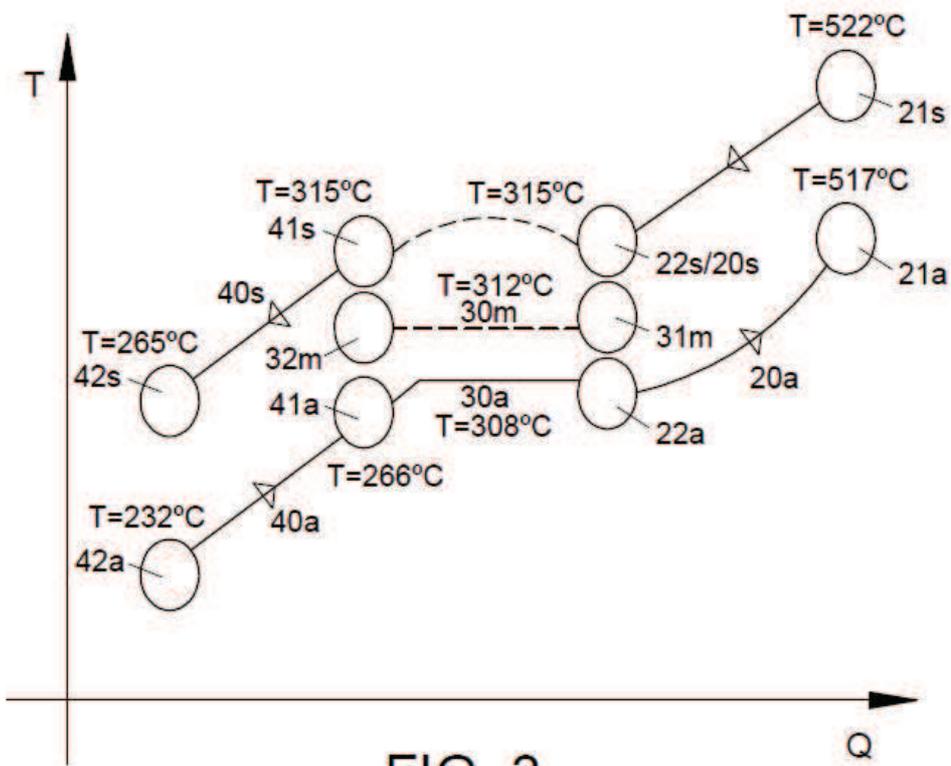


FIG. 3