

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 861 437**

51 Int. Cl.:

F03G 6/00 (2006.01)
F01K 7/22 (2006.01)
F01K 27/02 (2006.01)
F22G 5/12 (2006.01)
F01K 13/02 (2006.01)
F22B 1/00 (2006.01)
F22G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.10.2016** **PCT/JP2016/004668**
87 Fecha y número de publicación internacional: **04.05.2017** **WO17073040**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2016** **E 16859278 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.03.2021** **EP 3369926**

54 Título: **Sistema para la generación de energía térmica solar y método de control del mismo**

30 Prioridad:

28.10.2015 JP 2015211799

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.10.2021

73 Titular/es:

CHIYODA CORPORATION (100.0%)
4-6-2 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama-shi
Kanagawa 220-8765, JP

72 Inventor/es:

KAMBARA, MASASHI;
SHEN, LUJIE;
DOI, NORIHIKO;
ARIMA, DAISUKE y
OZAKI, YUHI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 861 437 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

Sistema para la generación de energía térmica solar y método de control del mismo

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a un sistema de generación de energía térmica solar y a un método de control del mismo. Más específicamente, la presente invención se refiere a un sistema de generación de energía térmica solar que emplea sal fundida como medio de almacenamiento térmico solar y como medio de calentamiento para la generación de calor para generar energía eléctrica por medio de vapor generado, y también a un método de control de tal sistema de generación de energía.

Técnica anterior

Muchas investigaciones científicas y tecnológicas se han realizado en los años recientes para la generación de energía utilizando energías renovables como fuentes de energía, debido a la preocupación creciente sobre el agotamiento de combustibles fósiles. De las muchas fuentes de energías renovables, los generadores de energía solar y los generadores de energía térmica solar, que utilizan energía solar como fuente de energía, ya están funcionando sobre una base comercial y se espera que el alcance de la utilización de la energía solar se expanda en el futuro.

Sin embargo, la cantidad de radiación solar no satisface la demanda de energía solar en días lluviosos y en días nublados. En otras palabras, la generación de energía solar no puede satisfacer la demanda de energía eléctrica que fluctúa incesantemente. Incluso en días soleados, la radiación solar puede ser interceptada temporalmente por nubes y, por lo tanto, la radiación solar difícilmente puede estar disponible constantemente, lo que hace, a su vez, que la generación de energía solar sea inestable.

La generación de energía térmica solar ha sido concebida para abordar el problema identificado anteriormente. Con la generación de energía térmica solar, la luz solar es transformada una vez en calor antes de que sea empleada para la generación de energía. Más específicamente, se emplean sistemas de almacenamiento térmico para la generación de energía térmica solar y el exceso de calor obtenido cuando la radiación de la luz solar es excesiva es almacenado y el calor almacenado es utilizado cuando la radiación de la luz solar es insuficiente para realizar una generación de energía solar suave y plana.

La generación de energía térmica solar utilizando sal fundida como medio de almacenamiento térmico tiene dos corrientes principales. Una consiste en utilizar un medio de calefacción distinto a la sal fundida y el otro consiste en hacer circular sal fundida tanto como medio de almacenamiento térmico como también como medio de calefacción.

En el caso de la generación de energía térmica solar del primer tipo, debe instalarse un intercambiador de calor entre el medio de calefacción (distinto a la sal fundida) y el medio de almacenamiento térmico (sal fundida) y, por lo tanto, los sistemas de generación de energía térmica solar del primer tipo tienen una configuración del sistema que es más compleja que los sistemas de generación de energía térmica solar del último tipo. Por el contrario, los sistemas de generación de energía térmica solar del último tipo pueden producir vapor, que es más caliente si se compara con los sistemas de generación de energía térmica solar que utilizan petróleo y similares como medio de calefacción y, por lo tanto, pueden conseguir una eficiencia más alta y realizar una configuración más sencilla del sistema.

Por ejemplo, PTL 1 describe un sistema de generación de energía térmica solar que emplea sal fundida a base de nitrato como medio de calefacción y como medio de almacenamiento térmico y puede funcionar continuamente a alta temperatura.

El documento US 2015/0128594 A1 describe un sistema de regulación de la temperatura y del caudal de flujo para fluido de transferencia de calor en un sistema híbrido de generación de vapor.

El documento US 2013/0269682 A1 describe un proceso para producir calor supercalentado a partir de una planta solar de concentración.

Lista de citas

60 Bibliografía de patentes

PTL 1: Publicación Nacional Japonesa PCT N° 2015-520250.

Sumario de la invención

Problema técnico

Sin embargo, un sistema de generación de energía térmica solar que emplea sal fundida como medio de calentamiento va acompañado por el problema de que la temperatura del gas de escape de la turbina de baja presión se eleva excesivamente alta en operaciones de carga baja. Tal temperatura alta del gas de escape puede dañar las palas de la turbina de baja presión. Aunque los daños a las palas de la turbina pueden prevenirse a través de la suspensión de la operación de generación de energía, la eficiencia de la generación de energía de un sistema de generación de energía térmica solar cae considerablemente cuando se suspende la operación de generación de energía.

Mientras tanto, técnicas conocidas para reducir la temperatura del gas de escape de turbinas de baja presión incluyen una técnica de pulverización de agua a la carcasa de la turbina de baja presión y una técnica de reducción de la temperatura del vapor que está siendo suministrado reduciendo la temperatura de la sal fundida que está siendo suministrada.

Sin embargo, la técnica de pulverización de agua a la carcasa de la turbina de baja presión va acompañada por el problema de que difícilmente se puede conseguir un efecto de refrigeración satisfactoria debido a que las palas de la turbina de baja presión no son refrigeradas directamente y el uso de la técnica requiere un coste de inversión de capital adicional para instalar un mecanismo de refrigeración. La técnica de reducir la temperatura de la sal fundida, por otra parte, no puede resolver el problema de reducción de la eficiente de la generación de energía, debido a que puede reducir la temperatura del gas de escape de la turbina de baja temperatura, pero reduce también la temperatura del calor supercalentado que está siendo suministrado a la turbina de alta presión.

A la vista de los problemas identificados anteriormente de la técnica anterior, por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de generación de energía térmica solar y un método de control de un sistema de generación de energía térmica solar que pueden mejorar la durabilidad de la turbina de baja presión suprimiendo la subida de la temperatura del gas de escape de la turbina de baja presión sin implicar ningún incremento de coste y, al mismo tiempo, realizar una generación de energía con eficiencia más alta.

Solución del problema

Un método de control de un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención es un método de control del sistema de generación de energía térmica solar que comprende un generador de vapor para generar vapor mediante el calentamiento de agua con sal fundida, un supercalentador para producir calor supercalentado por medio del calentamiento adicional del vapor generada por el generador de vapor con sal fundida, una turbina de alta presión accionada por el vapor supercalentado suministrado desde el supercalentador, un re-calentador para producir vapor recalentado por re-calentamiento de la corriente de escape intermedia que procede desde la turbina de alta presión con sal fundida, una turbina de baja presión accionada por el vapor re-calentado suministrado desde el re-calentador, un condensador para condensar el vapor de escape que proviene desde la turbina de baja presión en agua que debe suministrarse al generador de vapor y un detector de la temperatura del vapor re-calentado para detectar la temperatura del vapor re-calentado que debe suministrarse a la turbina de baja presión, en donde el método comprende un proceso de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador de control de la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador y la cantidad Mr de la sal fundida es controlada en el proceso de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador para hacer que la temperatura del vapor recalentado no sea inferior a 370°C y no mayor que 430°C como se detectan por el detector de la temperatura del vapor recalentado en una operación de carga baja con una relación de carga no superior a una relación de carga predeterminada con relación a la carga de régimen del sistema de generación de energía térmica solar.

Un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención comprende un generador de vapor para generar vapor por medio del calentamiento del agua con sal fundida, un supercalentador para producir calor supercalentado por medio del calentamiento adicional del vapor generada por el generador de vapor con sal fundida, una turbina de alta presión accionada por el vapor supercalentado suministrado desde el supercalentador, un re-calentador para producir vapor recalentado por re-calentamiento de la corriente de escape intermedia que procede desde la turbina de alta presión con sal fundida, una turbina de baja presión accionada por el vapor re-calentado suministrado desde el re-calentador, un condensador para condensar el vapor de escape que proviene desde la turbina de baja presión en agua que debe suministrarse al generador de vapor, un detector de la temperatura del vapor re-calentado para detectar la temperatura del vapor re-calentado que debe suministrarse a la turbina de baja presión, y una sección de control de la cantidad de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador para controlar la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador, en donde la sección de control de la cantidad de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador controla la cantidad Mr de la sal fundida para hacer que la temperatura del vapor recalentado no sea inferior a 370°C y no mayor que 430°C como se detectan por el detector de la temperatura del vapor recalentado en una operación de carga baja con una relación de carga no superior a una relación de carga predeterminada con relación a la carga de régimen del sistema

de generación de energía térmica solar.

Efectos ventajosos de la invención

- 5 La presente invención proporciona un sistema de generación de energía térmica solar y un método de control de un sistema de generación de energía térmica solar que pueden mejorar la durabilidad de la turbina de baja presión suprimiendo la subida de la temperatura del gas de escape de la turbina de baja presión sin implicar ningún incremento en el coste y, al mismo tiempo, realizar generación de energía con eficiencia más elevada.

10 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una ilustración esquemática de la configuración de un sistema de generación de energía térmica solar que puede utilizarse para una forma de realización del método de control de un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención.

15 Descripción de ejemplos

Ahora se describirán un método de control de un sistema de generación de energía térmica solar y un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención con más detalle con referencia a los dibujos que se acompañan.

Debería indicarse que la forma de realización que se describe a continuación está sujeta a varias limitaciones técnicamente preferibles debido a que la forma de realización es una forma de realización actualmente preferible, aunque el alcance de la presente invención no está limitada de ninguna manera al modo de realización de la invención, como se describe a continuación, a no ser que se indique otra cosa en la siguiente descripción de la presente invención.

La figura 1 es una ilustración esquemática de la configuración de un sistema de generación de energía térmica solar que puede utilizarse para una forma de realización del método de control de un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención.

El sistema de generación de energía térmica solar de esta forma de realización es un llamado sistema de generación de energía térmica solar directa del tipo de dos depósitos que emplea sal fundida comúnmente como medio de almacenamiento térmico y como medio de calefacción.

Ahora se describirá a continuación la configuración del sistema de generación de energía térmica solar de esta forma de realización siguiendo el proceso de generación de energía térmica solar.

(Sección de calefacción)

Puesto que la densidad de la energía de la luz solar es baja, se está adoptando ampliamente la técnica de generación de energía solar concentrada (SP) de condensación de luz solar y conversión de la luz solar condensada en calor. El sistema de generación de energía térmica solar de esta forma de realización adopta también la generación de CSP.

Por lo tanto, se prefiere que la sección de calefacción 10 para calentar sal fundida condense luz solar para calentar sal fundida.

La sección de calefacción 10 de esta forma de realización es del tipo de cubeta parabólica e incluye condensadores/reflectores 10a que se extienden linealmente en forma de canalón, que tienen una sección transversal parabólica y ramificaciones del conducto 19b, cada una de las cuales se extiende a lo largo o cerca de los puntos focales de las parábolas (que se extienden linealmente a través de los puntos focales de las secciones transversales parabólicas) de uno correspondiente de los condensadores/reflectores 10a en forma de canalón. Los rayos de luz solar reflejados por los condensadores/reflectores 10a son condensados en las posiciones continuas de las ramificaciones del conducto 10b y se transforman en calor, cuyo calor calienta, a su vez la sal fundida que fluye a través de las ramificaciones del conducto 10b.

La sección de calefacción 10 del tipo de canalón parabólico tiene una estructura sencilla y, por lo tanto, se puede proporcionar a coste relativamente bajo y, al mismo tiempo, ni requiere ninguna técnica de condensación de luz sofisticada. En otras palabras, la sección de calefacción 10 del tipo de canalón parabólico puede funcionar de manera excelente con fácil condensación de luz solar. Debido a estas ventajas, los sistemas de generación de energía térmica solar, que tienen una sección de calefacción del tipo de cubeta parabólica, tienen un registro de vía probado y son excelentes en términos de fiabilidad.

No obstante, debería indicarse aquí que la sección de calentamiento 10 de esta forma de realización no está limitada de ninguna manera al tipo de canalón parabólico y se puede adoptar una sección de calefacción de cualquier otro tipo para esta forma de realización, con tal que pueda calentar de forma satisfactoria sal fundida por medio de energía térmica. Por lo tanto, una sección de calefacción de cualquier otro tipo popular conocido, tal como un tipo de Fresnel lineal, el tipo de tope o el tipo de disco, se puede emplear para sustituir la sección de calefacción del tipo de canalón parabólico para la finalidad de la presente invención. Todavía de forma alternativa, dos o más de dos de los tipos listados anteriormente se pueden emplear en combinación.

La sección de calefacción 10 de esta forma de realización como se muestra en la figura 1 incluye un total de ocho condensadores colectores/reflectores 10a y un circuito común 10b que está ramificado hasta los ocho colectores/reflectores 10a. No obstante, hay que indicar que, para la finalidad de la presente invención, la sección de calefacción del tipo de canalón parabólico no está limitada de ninguna manera a la disposición descrita anteriormente y puede incluir un número seleccionado arbitrariamente de colectores/reflectores solares y/o el conducto de la sección de calefacción puede tener cualquier disposición de conductos seleccionada arbitrariamente.

La sección de calefacción 10 calienta sal fundida hasta un nivel de temperatura más alto que 400°C, que es la temperatura límite superior cuando se emplea convencionalmente petróleo como medio de calefacción. Aunque la temperatura a la que se calienta la sal fundida en la sección de calefacción 10 de esta forma de realización no está sometida a limitaciones, con tal que la temperatura no se eleva hasta la descomposición térmica o similar de la sal fundida de la sección de calefacción 10, que da como resultado, por consiguiente, un cambio irreversible de la sal fundida y degrada la actuación de la sal fundida, aunque es preferible una temperatura más alta desde el punto de vista de la generación de potencia de alta eficiencia. Sin embargo, la temperatura de calentamiento tiene que determinarse teniendo en consideración la resistencia térmica de todo el sistema incluyendo el conducto 10b, la eficiencia de la generación de energía, el coste y otros factores.

La sección de calentamiento 10 de esta forma de realización calienta sal fundida hasta no por debajo de 500°C, preferiblemente no por debajo de 500°C y no por encima de 600°C, más preferiblemente no por debajo de 540°C y no por encima de 560°C.

El conducto 10b conecta un depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 y un depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22 por medio de los sitios de condensación de luz solar de la sección de calefacción 10. El conducto 10b puede conducir la sal fundida almacenada en el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 y conducir la sal fundida circulando hasta el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22.

(Sal fundida)

Para los sistemas de generación de energía térmica solar, el uso de sal fundida a base de nitrato es ventajoso desde el punto de vista de la seguridad, la estabilidad y el coste y, por lo tanto, se emplea popularmente sal fundida a base de nitrato. Cuando se emplea sal fundida a base de nitrato como medio de calefacción, se puede calentar hasta un nivel de temperatura más alto que el nivel de temperatura que se obtiene cuando se emplea petróleo como medio de calefacción convencional. Entonces, se puede obtener vapor a la temperatura para realizar la generación de energía térmica solar de alta eficiencia. Cuando se emplea petróleo como medio de calefacción para la generación de energía térmica solar y se calienta hasta un nivel de temperatura más alto que 400°C durante un periodo largo de tiempo, se puede descomponer el petróleo para degradar su actuación. Cuando, por otra parte, se emplea sal fundida a base de nitrato como medio de calefacción y se calienta hasta un nivel de temperatura más alto que 400°C durante un periodo largo de tiempo, la sal fundida no se descompone en absoluto y, por lo tanto, no se produce ninguna degradación de su actuación.

Para esta forma de realización, se emplea una mezcla de nitrato sódico y nitrato potásico como sal fundida. Debería indicarse, sin embargo, que la presente invención no está limitada de ninguna manera al uso de tal mezcla. En otras palabras, se puede utilizar cualquier sal fundida para la finalidad de la presente invención con tal que esté disponible como medio de almacenamiento térmico y como medio de calefacción para sistemas de generación de potencia térmica solar.

Como sal fundida a base de nitrato no sólo se conoce hasta ahora la mezcla de dos componentes de nitrato sólido y nitrato potásico, sino también cualquier mezcla de tres componentes de nitrato sódico, nitrato potásico y nitrato de litio o similar o una mezcla de cuatro componentes y cualquiera de estas mezclas se puede emplear selectivamente para la finalidad de la presente invención.

La mezcla de dos componentes de nitrato sódico y nitrato potásico muestra un punto de fusión de aproximadamente 230°C y el sistema de calentamiento está controlado para calentar la mezcla de sal fundida hasta un nivel de temperatura más alto que el punto de fusión en 40 a 50°C en el entorno operativo actual con el fin de prevenir que la sal fundida se solidifique. El punto de fusión de la mezcla de sal fundida es preferiblemente bajo desde el punto de

vista de reducir el nivel de consumo de energía térmica para la finalidad de la prevención de la solidificación, particularmente durante la noche en invierno. No obstante, debería indicarse que la sal fundida debe seleccionarse teniendo en cuenta la seguridad, la estabilidad, la viscosidad a la temperatura operativa, el coste y otros factores relevantes.

(Depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura, depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura)

El sistema de generación de energía térmica solar 100 de esta forma de realización comprende un depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 y un depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22. Más específicamente, el sistema de generación de energía térmica solar 100 de esta forma de realización comprende una sección de almacenamiento térmico del tipo de dos depósitos y una sal fundida a baja temperatura y una sal fundida a alta temperatura son separadas y almacenadas, respectivamente, en el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 y el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22. No obstante, hay que indicar que la sección de almacenamiento térmico de la presente invención no está limitada de ninguna manera al tipo de dos depósitos y se puede emplear de manera alternativa cualquier otra disposición para la finalidad de la presente invención, con tal de que se puedan suministrar de manera separada e independiente al fundida a baja temperatura y sal fundida a alta temperatura.

Por ejemplo, se conocen secciones de almacenamiento térmico del tipo de un solo depósito, además de las secciones de almacenamiento térmico del tipo de dos depósitos. Con una sección de almacenamiento térmico del tipo de un solo depósito, la sal fundida a alta temperatura es almacenada en una parte superior de un depósito individual, mientras que la sal fundida a baja temperatura es almacenada en una parte inferior del depósito individual. Entonces, la sal fundida a alta temperatura y la sal fundida a baja temperatura se pueden suministrar de manera separada e independiente desde el depósito individual.

En esta forma de realización, se almacena sal fundida en el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 cuando se temperatura es baja. La sal fundida almacenada en el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 recibe energía solar desde los condensadores/reflectores 10a para calentarlo a medida que se coloca en las ramificaciones del conducto 10b. Entonces a medida que se calienta la sal fundida, toda la sal fundida calentada a alta temperatura es almacenada entonces en el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22 en esta forma de realización.

Tanto el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 como también el depósito de almacenamiento térmico a balta temperatura 22 no están sujetos a limitaciones particulares, con tal de que puedan almacenar sal fundida. El depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 y el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22 de esta forma de realización pueden almacenar sal fundida, cuya temperatura se desviará de un nivel de baja temperatura de aproximadamente 270°C a un nivel de alta temperatura no inferior a 500°C y viceversa y tienen una propiedad de aislamiento térmico, una propiedad de resistencia térmica y durabilidad. Adicionalmente, es particularmente preferible que tanto el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20 como también el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22 tengan alta resistencia mecánica y no se dañen si la sal fundida que contienen se solidifica de una manera inesperada,

(Supercalentador)

El supercalentador 32 genera vapor supercalentado por medio de intercambio de calor entre medio de calentamiento (sal fundida) y vapor y suministra el vapor supercalentado a la turbina de alta presión 36, que se describirá en detalle a continuación.

Sal fundida a alta temperatura es suministrada al supercalentador 32 desde el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22. Como se ha indicado anteriormente, esta forma de realización está diseñada para que sal fundida a alta temperatura sea suministrada al supercalentador 32 desde el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22.

Adicionalmente, se suministra también vapor (vapor de agua) generado en el generador de vapor 30 al supercalentador 32.

Ento9nces, el vapor suministrado es calentado por medio de intercambio de calor entre sal fundida a alta temperatura y el vapor para obtener vapor supercalentado. Por otra parte, la sal fundida que ha descargado calor como resultado del intercambio de calor es alimentada al generador de vapor 30.

(Generador de vapor)

El generador de vapor 30 calienta el agua suministrada desde el condensador 40, que se describirá en detalle a continuación, para generar vapor. Entonces, suministra el vapor que genera al supercalentador 32.

En el generador de vapor 30, el agua suministrada desde el condensador 40 es calentada para obtener vapor medio de intercambio de calor entre la sal fundida descargada desde el supercalentador 32 y la sal fundida descargada desde el recalentador 34, que se describirá en detalle a continuación.

Por otra parte, la sal fundida que es refrigerada para convertirla en sal fundida a baja temperatura como resultado de la descarga de calor en el intercambiador de calor es alimentada al depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura 20.

(Turbina de alta presión)

La turbina de alta presión 36 es impulsada a funcionar por el vapor supercalentado suministrado desde el supercalentador 32. Más específicamente, las palas de la turbina de alta presión 36 son giradas por el trabajo del vapor supercalentado y el generador G genera potencia eléctrica. El vapor supercalentado que ha hecho su trabajo es descargado al recalentador 34, que se describirá en detalle a continuación, como vapor de escape intermedio.

El vapor en la turbina de alta presión 36 de esta forma de realización es parcialmente extraído y descargado a un precalentador (no mostrado). La eficiencia de generación de energía de esta forma de realización puede elevarse a medida que el vapor extraído es utilizado por el precalentador.

(Recalentador)

El recalentador 34 produce vapor recalentado por medio de intercambio de calor entre medio de calentamiento (sal fundida) y vapor de escape intermedio y suministra el vapor recalentado producido a la turbina de baja presión 38, que se describirá en detalle a continuación.

Sal fundida a alta temperatura es suministrada al recalentador 34 desde el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22. Como se ha indicado anteriormente, esta forma de realización está diseñada para que se suministre sal fundida a alta temperatura al recalentador 34 desde el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22.

El vapor de escape intermedio descargado desde la turbina de alta presión 36 es suministrado al recalentador 34.

Entonces, el vapor de escape intermedio suministrado desde la turbina de alta presión 36 es calentado por intercambio de calor entre él mismo y la sal fundida a alta temperatura para convertirse en el vapor recalentado. Por otra parte, el vapor fundido que ha descargado calor como resultado del intercambio de calor es alimentado entonces al generador de vapor 30.

Hay que indicar que la sal fundida suministrada desde el depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura 22 está dividido en dos partes, una de las cuales es suministrada entonces al supercalentador 32, mientras la otra es suministrada al recalentador 34.

(Turbina de baja presión)

La turbina de baja presión 38 es accionada para funcionar por el vapor recalentado suministrado desde el recalentador 34. Más específicamente, las palas de la turbina de baja presión 38 son accionadas giratorias por el trabajo del vapor recalentado y el generador G genera energía eléctrica. El vapor recalentado que ha realizado su trabajo es descargado al condensador 40, que se describirá en detalle a continuación, como vapor de escape.

Desde el interior de la turbina de baja presión 38 de esta forma de realización, parte del vapor es extraído paso a paso (en cuatro etapas) y es descargado típicamente a un intercambiador de calor (no mostrado) o similar. La eficiencia de generación de energía de esta forma de realización puede mejorarse a medida que el calor del vapor extraído es utilizado por el intercambiador de calor o similar.

(Condensador)

El condensador 40 está previsto para enfriar y condensar el vapor de escape descargado desde la turbina de baja presión 38 en agua, reduciendo de esta manera la contrapresión y elevando el rendimiento. El agua obtenida es suministrada al generador de vapor 30 para servir de nuevo para la generación de energía.

(Medios de circulación)

El agua y el vapor descritos anteriormente, incluyendo el vapor supercalentado, el vapor recalentado, etc. son forzados a circular en el sistema de generación de energía térmica solar por medios de circulación (no mostrados),

que incluyen bombas que están dispuestas de una manera adecuada en la trayectoria de circulación de agua/vapor.

Por otra parte, la sal fundida es forzada a circular en el sistema de generación de energía térmica solar por medios de circulación (no mostrados), que incluyen bombas que están dispuestas de una manera adecuada en la trayectoria de circulación de la sal fundida

(Detector de temperatura de vapor recalentado)

El detector de temperatura del vapor recalentado (no mostrado) detecta la temperatura del vapor recalentado que es descargado desde el recalentador 34 y suministrado a la turbina de baja presión 38. Por lo tanto, el detector de temperatura del vapor recalentado está dispuesto en la trayectoria de flujo de vapor entre la salida del recalentador 34 y la entrada de la turbina de baja presión 38.

El detector de temperatura del vapor recalentado puede estar dispuesto en cualquier posición en la trayectoria de flujo de vapor entre la salida del recalentador 34 y la entrada de la turbina de baja presión 38 con tal que la posición sea buena para detectar con exactitud la temperatura del vapor recalentado. En esta forma de realización, una pluralidad de detectores de temperatura de vapor recalentado están dispuestos cerca de la entrada de la turbina de baja presión 38 y cada uno de ellos detecta la temperatura del vapor recalentado.

El detector de temperatura del vapor recalentado no está sujeto a limitaciones particulares con tal que pueda detectar la temperatura del vapor recalentado. En otras palabras, se puede adoptar cualquier mecanismo de detección de la temperatura para el detector de temperatura del vapor recalentado.

Aunque no existen limitaciones particulares al instante de la detección de la temperatura del calor recalentado por medio del detector de temperatura del vapor recalentado, el detector de temperatura del vapor recalentado de esta forma de realización está dispuesto para detectar constantemente (continuamente) la temperatura del vapor recalentado, para que cualquier situación anormal que pueda aparecer en el sistema de generación de energía térmica solar 100 pueda ser detectada inmediatamente. No obstante, hay que indicar que la presente invención no está limitada de ninguna manera por tal disposición y puede estar dispuesta de manera alternativa de tal forma que la temperatura del calor recalentado sólo es detectada durante una operación de carga baja del sistema de generación de energía térmica solar.

(Operación de baja carga)

El sistema de generación de energía térmica solar está diseñado para funcionar normalmente por debajo de 100% de carga con relación a la carga de régimen.

No obstante, siempre que sea necesario, se reduce la carga para que el sistema de generación de energía térmica solar funcione con carga baja. Tales casos incluyen aquéllos en los que la cantidad de radiación solar no cumple el nivel de requerimientos y se acaba de suministrar sal fundida a alta temperatura y aquellos en los que la demanda de energía térmica es pequeña y no se permite que el sistema de generación de energía térmica solar transmita satisfactoriamente energía eléctrica hacia el exterior.

Si la cantidad de radiación solar no satisface el nivel de requerimientos debido al tiempo lluvioso o nublado o durante la noche, donde la sal fundida a alta temperatura es insuficiente en cantidad, pero el sistema de generación de energía térmica solar es forzado a funcionar para una operación normal, la temperatura de la sal fundida a alta temperatura almacenada cae y la sal fundida se puede solidificar finalmente en el sistema de generación de energía térmica solar. En tal caso, se reduce la carga para hacer que el sistema de generación de energía térmica solar funcione a carga baja con el fin de suprimir el consumo de sal fundida a alta temperatura y prevenir la solidificación de la sal fundida hasta que se eleve la radiación solar.

Cuando no se permite que el sistema de generación de energía térmica solar transmita satisfactoriamente energía eléctrica hacia el exterior, particularmente de madrugada y tarde por la noche debido a que la tasa de consumo de energía es baja, el sistema de generación de energía térmica solar no puede funcionar para una operación normal y, por lo tanto, es forzado a funcionar con carga baja hasta que se eleve la tasa de consumo de energía.

Generalmente, los sistemas de generación de energía térmica solar están diseñados para funcionar en operaciones normales y operaciones de carga baja de una manera conmutada.

Mientras tanto, el sistema de generación de energía térmica solar 100 puede conseguir la máxima eficiencia de generación de energía y puede funcionar bien para la generación de potencia sin causar que la temperatura del vapor de escape se salga de la turbina de baja presión 38 para elevarse hasta un nivel indeseablemente alto cuando se hace funcionar bajo carga de régimen (o 100% de carga). Sin embargo, puesto que el sistema de generación de energía térmica solar 100 está diseñado para circular sal fundida que se puede calentar mucho como medio de

calefacción, la temperatura del vapor de escape que sale desde la turbina de baja presión 38 se eleva de manera que pueden surgir problemas tales como daños en las palas de la turbina cuando el sistema de generación de energía térmica solar 100 está hecho para funcionar con carga baja.

A la vista de tales problemas posibles, esta forma de realización está diseñada para que, cuando se fuerza a funcionar en una condición de carga baja, donde la carga no es mayor que una relación predeterminada de la carta de régimen, la cantidad Mr de la sal fundida a suministrar al recalentador 34 es controlada por medio de un proceso de control de la cantidad de sal fundida que debe suministrarse al recalentador (sección de control de la cantidad de sal fundida al recalentador) para prevenir que la temperatura del vapor de escape que sale desde la turbina de baja presión 38 se eleve excesivamente en un estado de operación de carga baja, donde el sistema de generación de energía térmica solar 100 está realizado para funcionar con una carga no mayor que una relación predeterminada de la carga de régimen.

La expresión de “un estado de operación de carga baja” cuando se utiliza en la descripción de esta forma de realización se refiere a un estado operativo en el que la carga del sistema de generación de energía térmica solar 100 no es mayor que 25% de la carga de régimen. No obstante, hay que indicar que, cuando la carga es demasiado baja, se puede perturbar la operación del sistema de generación de energía térmica solar 100. Por lo tanto, incluso en un caso en el que se requiere que el sistema de generación de energía térmica solar 100 funcione con carga baja, el sistema 100 debe funcionar con una carga no inferior a la carga mínima permitida. La expresión de la carga mínima permitida cuando se utiliza aquí se refiere a la carga mínima necesaria para el funcionamiento del sistema de generación de energía térmica solar.

Esta forma de realización está hecha para funcionar en una operación de carga baja con una carga que es preferiblemente no inferior a 5% y no mayor de 25%, más preferiblemente no inferior a 5% y no mayor de 20%, más preferible no inferior a 7% y no mayor de 15%.

No obstante, hay que indicar que la presente invención no está limitada de ninguna manera al rango de carga descrito anteriormente. Puesto que la carga de régimen y la carga mínima permitida están especificadas para cada sistema de generación de energía térmica solar, cualquier sistema de generación de energía térmica solar está realizado más preferiblemente para funcionar en un estado de funcionamiento de carga baja con una carga que es igual a la relación predeterminada de la carga de régimen del sistema de generación de energía térmica solar que está especificada para el sistema.

(Sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador, proceso de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador)

La sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador obtiene la salida de la temperatura del vapor recalentado a partir del detector de la temperatura del vapor recalentado en una operación de carga baja y controla la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 para hacer que la temperatura del calor recalentado no sea mayor de 430°C. Cuando la temperatura del calor recalentado excede de 450°C en la operación de carga baja, la sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador de esta forma de realización reduce la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 para hacer que la temperatura del vapor recalentado no sea mayor de 450°C. La temperatura del vapor recalentado no es inferior a 370°C y no es mayor de 430°C.

A medida que la temperatura del vapor recalentado que debe suministrarse a la turbina de baja presión 38 cae para no ser mayor de 450°C durante la operación de carga baja, el interior de la turbina de baja presión 38 nunca se calienta excesivamente y, por lo tanto, se previene que se dañen las palas de la turbina de baja presión 38. Adicionalmente, puesto que la temperatura de la sal fundida que debe suministrarse al supercalentador 32 y al recalentador 34 no cae, la temperatura del vapor supercalentado se mantiene para que no sea inferior a 500°C, de manera que se previene que la eficiencia de generación de energía del sistema de generación de energía térmica solar 100 caiga y, por lo tanto, el sistema 100 puede funcionar para la generación de energía de alta eficiencia.

Hay que indicar que la eficiencia de generación de energía de la turbina de baja presión 38 cae de una manera indeseable si la temperatura del vapor recalentado se reduce de una manera innecesaria. Por otra parte, la temperatura del vapor de escape descargado desde la turbina de baja presión 38 tiene que reducirse para reducir de una manera satisfactoria el riesgo de daño de las palas de la turbina de baja presión 38. Por lo tanto, es particularmente deseable mantener la temperatura del vapor recalentado hasta un nivel alto desde el punto de vista de conseguir alta eficiencia de generación de energía, aunque la temperatura del vapor recalentado no tiene que estar por encima de 450°C. Más específicamente, es particularmente deseable controlar la cantidad Mr de sal fundida para mantener la temperatura del vapor recalentado hasta un nivel que es bueno para conseguir alta eficiencia de generación de energía, tomando al mismo tiempo en consideración el modelo del sistema de generación de energía térmica solar 100, de la turbina de baja presión 38 y la relación de la carga del sistema de generación de energía térmica solar 100 en funcionamiento con respecto a la carga de régimen y evitando el riesgo de daño de las palas de la turbina de baja presión 38.

La sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador puede estar dispuesta para controlar la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 obteniendo no sólo la temperatura de la salida del vapor recalentado desde el detector de temperatura del vapor recalentado, sino también una o más de una de otras temperaturas. Por ejemplo, la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 puede ser controlada adquiriendo la salida de la temperatura desde un detector de temperatura que puede detectar la temperatura del vapor descargado desde la salida de la turbina de baja presión y utilizándola como factor de control para controlar la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 junto con la temperatura de la salida del vapor recalentado desde el detector de temperatura del vapor recalentado.

(Control de la cantidad de sal fundida en el sistema general de generación de energía térmica solar 100)

La cantidad de vapor que debe utilizarse por unidad de tiempo por el sistema de generación de energía térmica solar 100 se determina sobre la base de su capacidad de generación de potencia eléctrica. Cuando se determina la cantidad de vapor que debe utilizarse por unidad de tiempo, se determina la cantidad requerida de sal fundida a alta temperatura, que es la cantidad total M_t de sal fundida que debe suministrarse al supercalentador 32 y al recalentador 34.

Adicionalmente, como se ha indicado anteriormente, la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 durante una operación de carga baja se determina por la sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador.

Por lo tanto, la diferencia ($M_t - M_r$) entre la cantidad total M_t de sal fundida que debe suministrarse al supercalentador 32 y al recalentador 34 y la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 32 es igual a la cantidad M_s de sal fundida que debe suministrarse al supercalentador 32. De esta manera, es posible determinar y controlar la cantidad de sal fundida que debe suministrarse (circular) para todo el sistema de generación de energía térmica solar 100 para una operación de carga baja.

Por otra parte, la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 para una operación normal se puede determinar teóricamente. En otras palabras, no es necesario controlar la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 por medio de la sección de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador para la operación normal.

(Otras disposiciones)

Además de las disposiciones descritas anteriormente para un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención, cualquiera de las disposiciones convencionales que están previstas para el sistema de generación de energía térmica solar puede preverse también para un sistema de generación de energía térmica solar 100 de acuerdo con la presente invención.

Ejemplos

Ahora se describirá la presente invención con más detalle por medio de ejemplos de simulación, aunque la presente invención no está limitada de ninguna manera por los ejemplos.

(Ejemplo 1, Ejemplos comparativos 1-2, Ejemplo de referencia 1)

La generación de energía solar del sistema de generación de energía térmica solar como se muestra en la figura 1 fue simulada por ordenador en cada uno del Ejemplo 1, Ejemplos comparativos 1-2, Ejemplo de referencia 1.

En el Ejemplo comparativo 1 se simuló por ordenador una operación de carga baja, donde el sistema de generación de energía térmica solar 100 accionó con 10% de carga de la carga de régimen. En el Ejemplo comparativo 1, la temperatura (del vapor supercalentado) en la entrada de la turbina de alta presión y la temperatura (del vapor recalentado) en la entrada de la turbina de baja presión se redujeron bajo control reduciendo la temperatura de la propia sal fundida.

En el Ejemplo comparativo 1, la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 38 era 53,83°. Adicionalmente, la eficiencia de generación de energía eléctrica del Ejemplo comparativo 1 se empleó como valor de referencia para evaluar la eficiencia de generación de energía eléctrica del Ejemplo comparativo 2 y la del Ejemplo 1, como se describirá con más detalle a continuación.

En el Ejemplo comparativo 2, se simuló por ordenador una operación de carga baja, donde el sistema de generación de energía térmica solar 100 se accionó con 10% de carga de la carga de régimen. Sin embargo, en el Ejemplo comparativo 2, la temperatura de la sal fundida no se redujo a diferencia del Ejemplo comparativo 1, pero la cantidad M_r de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 se controló de la manera convencional de uso del

caudal de flujo de vapor objetivo como índice.

En el Ejemplo comparativo 2, aunque la eficiencia de generación de energía eléctrica se elevó en aproximadamente 2,95 % comparada con la eficiencia de generación de energía eléctrica del Ejemplo comparativo 1, la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 38 era 126,80°C, que era mucho más alta que la temperatura que la turbina de baja presión 38 puede resistir en operaciones reales.

En el Ejemplo 1, la cantidad Mr de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 fue controlada de acuerdo con el proceso de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador utilizando la temperatura del vapor recalentado como índice. Más específicamente, la cantidad Mr de sal fundida que debe suministrarse al recalentador 34 se controló para hacer que la temperatura del vapor recalentado en la entrada de la turbina de baja presión 38 sea igual a 400°C.

En el Ejemplo 1, la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 35 era 53,53°C. Puesto que la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 38 era razonablemente baja como se ha indicado anteriormente, no existía ningún riesgo de daño de las palas de la turbina, incluso si la turbina de baja presión 38 funcionase durante un periodo largo de tiempo. Adicionalmente, la eficiencia de generación de energía eléctrica del Ejemplo 1 era aproximadamente 0,91 % más alta que la eficiencia de generación de energía eléctrica del Ejemplo comparativo 1. Por lo tanto, se podría conseguir una alta eficiencia de generación de energía eléctrica con el Ejemplo 1.

En el Ejemplo de referencia 1, el sistema de generación de energía térmica solar 100 fue accionado con la carga de régimen (100%) de carga. En otras palabras, el sistema de generación de energía térmica solar 100 estaba en un estado de funcionamiento normal en el Ejemplo de referencia 1.

En el Ejemplo de referencia 1, la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 38 era 41,07°C. Puesto que la temperatura del vapor en la salida de la turbina de baja presión 38 era baja en el Ejemplo de referencia 1, en el que el sistema de generación de energía térmica solar 100 estaba en un estado de funcionamiento normal, no existía ningún riesgo de daño de las palas de la turbina, incluso si la turbina de baja presión 38 fuese accionada durante un periodo largo de tiempo.

Como se ha descrito anteriormente, con el método de control de un sistema de generación de energía térmica solar y también con un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención, se puede prevenir que se produzca cualquier subida no deseable de la temperatura del vapor de escape descargado desde la turbina de baja presión controlando la cantidad de sal fundida que debe suministrarse al recalentador, utilizando la temperatura del vapor recalentado como índice en la operación de carga baja. Adicionalmente, se puede prevenir también que se produzca cualquier caída no deseable de la temperatura del vapor supercalentado que debe suministrarse a la turbina de alta presión. Por lo tanto, con el método de control del sistema de generación de energía térmica solar y también de un sistema de generación de energía térmica solar de acuerdo con la presente invención, se puede mejorar la durabilidad del sistema de generación de energía térmica solar sin elevar el coste de instalación del sistema, suprimiendo al mismo tiempo cualquier subida no deseable de la temperatura del vapor de escape, de manera que se puede conseguir la generación de energía de alta eficiencia.

Lista de signos de referencia

10	Sección de calefacción
20	Depósito de almacenamiento térmico de baja temperatura
30	Depósito de almacenamiento térmico de alta temperatura
32	Supercalentador
34	Recalentador
36	Turbina de alta presión
38	Turbina de baja presión
40	Condensador
100	Sistema de generación de energía térmica solar
G	Generador

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de un sistema de generación de energía térmica solar (100) que comprende:

5 un generador de vapor para generar vapor mediante el calentamiento de agua con sal fundida;
un supercalentador (32) para producir calor supercalentado por medio del calentamiento adicional del vapor
generada por el generador de vapor con sal fundida;
una turbina de alta presión (36) accionada por el vapor supercalentado suministrado desde el
supercalentador (32);
10 un re-calentador (34) para producir vapor recalentado por re-calentamiento de la corriente de escape
intermedia que procede desde la turbina de alta presión (36) con sal fundida;
una turbina de baja presión (38) accionada por el vapor re-calentado suministrado desde el re-calentador
(34),
un condensador (40) para condensar el vapor de escape que proviene desde la turbina de baja presión (38)
15 en agua que debe suministrarse al generador de vapor; en donde
el método comprende un proceso de control de la cantidad de sal fundida para el recalentador de control de
la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador (34); **caracterizado** porque el
sistema de generación de energía térmica solar comprende, además, un detector de la temperatura del
vapor re-calentado para detectar la temperatura del vapor re-calentado que debe suministrarse a la turbina
20 de baja presión (38), y
porque la cantidad Mr de la sal fundida es controlada en el proceso de control de la cantidad de sal fundida
para el recalentador para hacer que la temperatura del vapor recalentado no sea inferior a 370°C y no
mayor que 430°C como se detectan por el detector de la temperatura del vapor recalentado en una
operación de carga baja con una relación de carga no superior a una relación de carga predeterminada con
25 relación a la carga de régimen del sistema de generación de energía térmica solar.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la carga de la operación de carga baja con una relación
de carga no superior a una relación de carga predeterminada con relación a la carga de régimen del sistema de
generación de potencia no es inferior a la carga mínima admisible del sistema de generación de potencia.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la sal fundida contiene nitrato sódico y nitrato
potásico.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema de generación de potencia comprende,
además:

un depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura (20) para almacenar sal fundida;
una sección de calefacción (10) para calentar la sal fundida suministrada desde el depósito de
almacenamiento térmico a baja temperatura (20) con luz solar; y
40 un depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura (30) para recibir al menos parte de la sal fundida
suministrada allí y almacenar la sal fundida suministrada.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la sección de calefacción (10) es del tipo de cubeta
parabólica.

6. Un sistema de generación de energía térmica solar (100) que comprende:

un generador de vapor para generar vapor por medio del calentamiento del agua con sal fundida;
un supercalentador (32) para producir calor supercalentado por medio del calentamiento adicional del vapor
50 generada por el generador de vapor con sal fundida;
una turbina de alta presión (36) accionada por el vapor supercalentado suministrado desde el
supercalentador (32);
un re-calentador (34) para producir vapor recalentado por re-calentamiento de la corriente de escape
intermedia que procede desde la turbina de alta presión (36) con sal fundida;
55 una turbina de baja presión (38) accionada por el vapor re-calentado suministrado desde el re-calentador
(32);
un condensador (40) para condensar el vapor de escape que proviene desde la turbina de baja presión (38)
en agua que debe suministrarse al generador de vapor; y
una sección de control de la cantidad de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador para
60 controlar la cantidad Mr de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador (34), **caracterizado** porque
el sistema de generación de energía térmica solar (100) comprende, además,
un detector de la temperatura del vapor recalentado para detectar la temperatura del vapor recalentado que
debe suministrarse a la turbina de baja presión (38) y
porque la sección de control de la cantidad de la sal fundida que debe suministrarse al recalentador está

5 configurada para controlar la cantidad M_r de la sal fundida para hacer que la temperatura del vapor recalentado no sea inferior a 370°C y no mayor que 430°C como se detectan por el detector de la temperatura del vapor recalentado en una operación de carga baja con una relación de carga no superior a una relación de carga predeterminada con relación a la carga de régimen del sistema de generación de energía térmica solar.

7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el sistema comprende, además:

10 depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura (20) para almacenar sal fundida;
una sección de calefacción (10) para calentar la sal fundida suministrada desde el depósito de almacenamiento térmico a baja temperatura (20) con luz solar; y
un depósito de almacenamiento térmico a alta temperatura (30) para recibir al menos parte de la sal fundida suministrada allí y almacenar la sal fundida suministrada.

FIG. 1

