



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 364 311**

② Número de solicitud: 201100715

⑤ Int. Cl.:
F01K 3/12 (2006.01)
F01K 3/00 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **22.06.2011**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **31.08.2011**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
31.08.2011

⑦ Solicitante/s: **Universidad Politécnica de Madrid
c/ Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid, ES
UNED**

⑦ Inventor/es: **Martínez-Val Peñalosa, José María;
Valdés del Fresno, Manuel;
Abánades Velasco, Alberto;
Amengual Matas, Rubén;
Piera Carrete, Mireia;
Montes Pita, María José;
Rovira de Antonio, Antonio;
Ramos Millán, Alberto;
Muñoz Antón, Javier y
Abbas Cámara, Rubén**

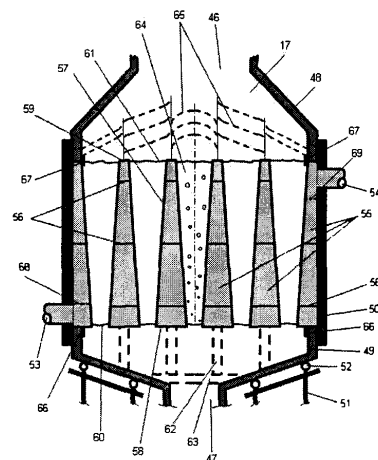
⑦ Agente: **No consta**

⑤ Título: **Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generator de vapor reversible.**

⑤ Resumen:

Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generator de vapor reversible.

Sistema de almacenamiento de energía térmica en plantas que producen vapor, generalmente a alta o muy alta presión, basado en la condensación del vapor a alta presión y alta temperatura, siendo el secundario un medio fluido seleccionado entre sal fundida, aceite térmico, u otro líquido de propiedades estables en esas condiciones, que pasa en tal operación del tanque de baja temperatura al de alta; de tal modo que la práctica totalidad del calor de condensación es extraído por dicho medio; el cual se recupera, aunque a temperatura algo inferior, cuando el intercambiador funciona como generador de vapor; siendo dicho intercambiador de tubos verticales troncocónicos, para mejorar sus prestaciones.



ES 2 364 311 A1

DESCRIPCIÓN

Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generador de vapor reversible.

5 Sector de la técnica

La invención se encuadra en el campo de la Ingeniería térmica, y más concretamente en las instalaciones en las que se genera un vapor de alta entalpía por cualquier medio, y dicho vapor no puede usarse en su totalidad en un momento dado, por lo que se ha de aliviar a la atmósfera, si no se puede almacenar. Un importante caso de este tipo es el de las centrales termo-solares, tanto si están destinadas para generación de electricidad como a usos térmicos directos, típicamente de tipo industrial.

Problema técnico a resolver y Antecedentes de la invención

Hay varios ámbitos industriales donde se dispone de una fuente de calor que no es totalmente regulable o gestionable por el operador de la planta, como es el caso, muy señalado dentro de las energías renovables, de las instalaciones termosolares de alta temperatura, especialmente si están destinadas a la generación de electricidad. En estas plantas, la turbina tiene una potencia máxima, normalmente no muy por encima de la potencia nominal, y de manera habitual no se puede exceder de ésta; mientras que la radiación solar recibida en el campo de colectores varía diurnamente y estacionalmente, de tal modo que sólo en contados momentos coincide la potencia térmica captada por los colectores con la que necesita la turbina para su funcionamiento nominal; y dicha potencia térmica colectada está, o bien por debajo, en cuyo caso hay que trabajar a potencia parcial, o bien está por encima, en cuyo caso se trabaja a la potencia nominal, o eventualmente a la máxima permitida, y queda un exceso de vapor que, si no se puede destinar a otro fin, se ha de evacuar a la atmósfera, salvo que se pueda almacenar, bien como tal vapor, bien indirectamente, transfiriendo su energía térmica a un medio que sea más eficiente en ese tipo de función térmica.

El problema que específicamente se quiere resolver es el del almacenamiento de energía térmica a partir de vapor (fundamentalmente, vapor de agua), y la ruta térmica que se va a proponer pasa por la condensación del vapor a alta presión, por transferencia térmica a un fluido secundario que va a adquirir a la salida del condensador una temperatura no muy lejana de la de condensación del agua, que ocurre en el lado primario del condensador.

Eso significa que habrá en realidad dos áreas técnicas a considerar: la del almacenamiento térmico en sí, en particular el que se produce con cambio de fase, y la de los condensadores de vapor.

Se han analizado invenciones en ambos campos, y particularmente en el primero de ellos es de señalar la invención solicitada en WO 2010085574 (A1) destinada al almacenamiento térmico compatible con vapor sobrecalentado. En concreto, la invención define un método para cada ámbito termodinámicamente diferenciado, como es el subenfriado, el bifásico, y el vapor sobrecalentado, de modo que a lo que atiende es a un sistema en su conjunto, más que a dispositivos concretos para materializar las ideas.

En algunos casos se propone, para almacenar energía térmica a alta temperatura, el uso de sistemas con cambio de fase en el medio secundario, que es donde se realiza el almacenamiento, y en tal sentido cabe mencionar la US 4696338 (A), que usa un tanque con líquido y vapor en equilibrio, a alta presión y temperatura, parecido a los presionadores de los reactores nucleares PWR; pero el sistema adolece de falta de capacidad, por almacenar vapor, con su consiguiente alto valor de volumen específico, lo que significa que la masa total de agua/vapor almacenada está muy acotada. También existe el precedente de que el medio secundario no cambie de sólido a líquido, como es el caso propuesto en WO 0212814 (A1). Como variante curiosa de ésta se emplean cristales de algunas sustancias, como son los clatratos, y en tal sentido cabe citar la US 4821794 (A).

Hay algunas invenciones propuestas para plantas solares, como el sistema de captación solar y almacenamiento presentado en CN 101846044, o el dispositivo Fresnel de reflexión con sales fundidas en su tubo focal, GR 20090100177 (a).

Y en el ámbito de los equipos en sí mismos, es de señalar el documento US 2010319879 (A1) sobre un condensador multi-presión, compuesto en realidad por dos cámaras de condensación consecutivas, y posible recirculación entre ellas. Como la mayor parte de las invenciones propuestas en este campo, se centran en mejorar las prestaciones de las turbinas, y no en aprovechar la condensación para almacenar energía térmica.

Como antecedentes más cercanos al equipamiento objeto de la invención, pero sin atisbarse de ninguna manera el condensador-generador reversible actuando a alta presión, cabe citar los documentos CN 101845973, que presenta un drenaje vertical de la turbina (ideado sobre todo para reacción ante emergencias), el documento CN 201191110 (Y) que presenta un condensador de tubos verticales, y el JP 2009174437 (A) que contiene un condensador en forma de torre, con tubos así mismo verticales.

En realidad, una amplia gama de intercambiadores de calor para diversos objetivos corresponde a la clase de tubos y carcasa, con paso simple o múltiple; tanto de disposición horizontal como vertical. Una guía práctica sobre estos intercambiadores son las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturer Association) pero aún siendo tan bien conocidos, aún parece haber sitio para la invención y el uso innovador de las invenciones en el mundo de los intercambiadores.

Respecto de las funciones en sí, también hay precedentes de uso alternativo de un intercambiador para condensar o para generar vapor. Una propuesta de este tipo es la del documento WO 2010013608 (A1), aunque se trata en su caso de un intercambiador de placas, de geometría totalmente distinta de la de tubos y carcasa, siendo además los de placas poco adecuados para trabajar con diferencias de presión altas, entre primario y secundario.

5

Descripción de la invención

La invención consiste en estructurar una planta de generación de vapor, para el uso que sea, con inclusión de un sistema central de almacenamiento térmico que comprende:

10

- un tambor de separación del vapor saturado, con tres posibles alternativas de salida, que corresponden a: la recirculación del líquido; al conducto de vapor hacia su aplicación o finalidad; y al conducto de vapor hacia un intercambiador específico, de flujo reversible;

15

- dicho intercambiador de calor, de flujo reversible tanto en su circuito primario como en el secundario, actuando como condensador cuando el fluido primario tiene una trayectoria descendente, o actuando como generador de vapor cuando el fluido primario va en trayectoria ascendente, teniendo estructuralmente una disposición vertical de carcasa y tubos, siendo los tubos troncocónicos, con la boca de menor diámetro abajo, y yendo dichos tubos desde una placa base inferior a una placa base superior, y siendo el fluido primario el que circula por dentro de los tubos;

20

- un subsistema del fluido secundario de dicho intercambiador reversible, consistente en dos tanques de almacenamiento del fluido térmico que se use, seleccionado este fluido entre aceite y sales fundidas, u otra sustancia que sea líquida en el nivel de temperaturas de operación que se fije en cada caso, estando unidos los tanques por un conducto o tubería que atraviesa el intercambiador reversible, actuando siempre uno de ellos como tanque de baja temperatura, y otro como tanque de alta temperatura, yendo el fluido secundario del tanque de baja al de alta cuando el intercambiador actúa como condensador, y yendo el fluido secundario del tanque de alta al de baja cuando el intercambiador actúa como generador de vapor; moviéndose el fluido secundario, seleccionado entre sal fundida, aceite industrial o cualquier otra sustancia estable como líquido a las temperaturas de operación, por la parte exterior de los tubos, entre éstos y la carcasa, siempre de forma predominantemente vertical;

25

30

- un conducto de evacuación desde el tambor de separación, a través del circuito primario intercambiador reversible, hasta el depósito de condensado a alta presión y alta temperatura, estando provisto este conducto de una válvula que sólo está abierta cuando el intercambiador actúa como condensador;

35

- un depósito de condensado a alta presión y alta temperatura;

40

- una bomba de evacuación del condensado en dicho conducto de evacuación, que estimula la tasa de fluido evacuado, y mantiene el nivel de la superficie libre de líquido, en dicho intercambiador reversible, a la altura de la placa base inferior del intercambiador, cuando éste actúa como condensador;

45

- un conducto de reposición del vapor, que toma líquido desde el depósito de condensado, lo inyecta en el circuito primario del intercambiador reversible, que actúa en el modo de generador de vapor, y del cual emerge hacia los usos ordinarios del vapor que haya en la planta, estando provisto este conducto de una válvula que sólo está abierta cuando el intercambiador actúa como generador de vapor;

50

- una bomba de inyección desde el depósito de condensado hasta el circuito primario del intercambiador reversible, que mantiene el nivel de la superficie libre de líquido, en el circuito primario de dicho intercambiador, a la altura de la placa base superior del intercambiador, cuando éste actúa como generador de vapor.

55

Cuando en la planta hay excedente de vapor, se abre el circuito de drenaje que desvía parte o todo el vapor producido al circuito primario del intercambiador de calor reversible, que en esos momentos actúa como condensador. Para ello, toda la superficie de los tubos troncocónicos por dentro de los cuales se produce la condensación, ha de estar prácticamente descubierta de líquido condensado, pues éste es una resistencia térmica para la transferencia de calor que implica la condensación. Para ello se lleva y mantiene la superficie del líquido condensado justo a la altura, o algunos centímetros por debajo, de la placa base inferior del intercambiador, lo cual se monitoriza con diversa técnicas, tanto termoeléctricas como electro-ópticas, como visuales (en un capilar de derivación con hendidura de cubierta transparente). Un elemento esencial para mantener el nivel es la bomba que impulsa el condensado desde la base del condensador hasta el depósito a presión del condensado. Si el líquido condensado se acumulase en el condensador porque no se evacua suficientemente rápido, subiría el nivel de líquido en el condensador, cubriría parte de la superficie de termo-transferencia y se dificultaría la condensación. Por ello, si la superficie libre del líquido sube por encima de la placa base inferior, la bomba de extracción del condensado ha de actuar con más potencia, extrayendo más caudal de líquido, y bajando el nivel de la superficie libre; y reduciendo la potencia de succión en caso contrario, extrayendo menos caudal de líquido cuando la superficie libre desciende de su nivel de consigna, que es la placa base inferior.

65

ES 2 364 311 A1

En caso necesario, pero esto no es parte de la invención, se puede relajar la presión de dicho depósito abriendo parcialmente la válvula de alivio que lo conecta con el tanque principal de condensado, que está a presión atmosférica, o cercana a ella.

5 Durante el funcionamiento del intercambiador como condensador, el calor recuperado en ese cambio de fase es captado por el fluido secundario, que actúa de refrigerante, alcanzando una temperatura muy elevada, sustancialmente 10°C por debajo de la temperatura de condensación del fluido primario, y pasa dicho fluido secundario del tanque de baja temperatura, o tanque frío, al tanque de alta temperatura, o tanque caliente, (por accionamiento de la bomba del tanque frío), absorbiendo el calor liberado por el fluido primario en su condensación; dejando al fluido primario
10 condensado a presión y temperatura iguales a las que tenía el vapor primario, o algo menores, con una reducción de hasta el 5% en valor relativo a la presión y temperatura del vapor. Eso significa que el almacenamiento térmico se hace verdaderamente en el aceite o en la sal fundida, aunque el fluido primario condensado se mantiene a presión y temperatura tan altas como sea posible y rentable, para hacer más fácil la generación de vapor, cuando éste se demanda en cantidad superior a lo que puede dar la planta en ese momento, por lo que se ha de recurrir a la energía térmica
15 almacenada.

En este último caso tiene lugar la operación contraria, y el intercambiador actúa de generador de vapor, activándose la bomba de inyección desde el depósito de condensado hasta el circuito primario del intercambiador y el fluido primario circula por su interior de abajo a arriba, siempre por dentro de los tubos troncocónicos; y se prescribe el criterio de que la superficie libre de líquido esté por encima de la placa base superior, lo cual se monitoriza, por
20 procedimientos termo eléctricos, o electro-ópticos o visuales. Es crucial aquí el papel de dicha bomba de inyección de líquido desde el depósito de condensado a alta presión, a la que se le proporciona mayor potencia de bombeo si se desea subir de nivel la superficie libre de líquido, o lo contrario, si se desea que el nivel baje, para estabilizarse en su referencia, que es la placa base superior. Por otro lado, y al mismo tiempo, se activa la descarga de fluido secundario desde el tanque caliente hasta el tanque de menor temperatura, pasando a través del circuito secundario del intercambiador, activándose la bomba de descarga de dicho tanque caliente.

En particular es recomendable la detección del nivel adecuado de protección contra la crisis de ebullición, mediante la aplicación de termopares activos para determinar los coeficientes de película locales a diversas alturas, que
30 serán muy elevados, por encima de 10.000 W/(m²·K) si se está en el régimen de ebullición nucleada, cayendo a 1.000 W/(m²·K) o menos en caso de estar bañada esa superficie sólo por vapor seco.

El vapor se separa de la superficie interior de los tubos, que es donde aparecen sus burbujas, que se van agrandando a medida que suben en el seno del líquido. Si se produce en exceso, la superficie libre del líquido descenderá, lo cual puede motivar un serio deterioro de los tubos en su parte descubierta. Para controlar este efecto, se dispone de
35 la bomba de inyección de líquido desde el depósito de condensado a alta presión, a la que se le proporciona mayor potencia de bombeo si se desea subir de nivel la superficie libre de líquido. Durante esta operación, se recupera una alta fracción del calor almacenado en el tanque caliente, pues desde éste pasa al frío, cediendo el calor necesario para la ebullición del líquido del primario, cuyo vapor hay que proporcionar desde el almacenamiento térmico.

En todos los casos, el fluido secundario, sea sal fundida, aceite industrial o cualquier otra sustancia, se mueve por la parte exterior de los tubos, entre éstos y la carcasa; y siempre se mueve en contracorriente. En la función de condensación, el primario desciende y el secundario asciende; y lo opuesto en la ebullición.

45 **Breve descripción de las figuras**

La figura 1 muestra el esquema de una planta de vapor, en este caso para ser usada su expansión en una turbina, y producir electricidad. Es posiblemente el mejor ejemplo para evidenciar las partes y funcionalidad de un sistema de almacenamiento térmico.

50 La figura 2 muestra el esquema de la sección recta vertical de un intercambiador reversible, que es el elemento central de la invención.

La figura 3 muestra la sección recta transversal del intercambiador reversible, a nivel de la embocadura, distinguiéndose los travesaños de refuerzo lateral que conviene poner entre tubos, desde el tubo central, para mantener su geometría a pesar de las diferencias de presión entre los fluidos primario y secundario.

Modos preferentes de realización de la invención

60 Para facilitar la comprensión de las materializaciones preferentes de la invención, a continuación se relacionan los elementos relevantes de la misma, que aparecen en las figuras:

1. Turbina.
- 65 2. Alternador.
3. Condensador del ciclo de Rankine.

ES 2 364 311 A1

4. Circuito de refrigeración del condensador del ciclo de Rankine.
5. Depósito de condensado a baja presión.
- 5 6. Válvula de regulación del flujo de condensado a baja presión.
7. Bomba del condensado a baja presión.
8. Aportación de calor para pre-calentamiento.
- 10 9. Aportación de calor para la ebullición del fluido de trabajo, que es además el fluido primario en el intercambiador de calor reversible.
- 10 10. Tambor de separación bifásica.
- 15 11. Tubería de recirculación de líquido en 9.
12. Válvula de regulación del flujo de recirculación 11.
- 20 13. Válvula de paso del vapor separado en el tambor 10.
14. Válvula de regulación del flujo de vapor que va al sobrecalentamiento.
15. Aportación de calor para el sobrecalentamiento.
- 25 16. Válvula de regulación del flujo de vapor que va al sistema de almacenamiento térmico.
17. Intercambiador de calor reversible, condensador/generador de vapor.
- 30 18. Tanque de fluido secundario, de baja temperatura relativa.
19. Tanque de fluido secundario, de alta temperatura relativa.
- 35 20. Circuito del fluido secundario del intercambiador 17, que conecta entre sí los tanques 18 y 19, y comprende el lado secundario del intercambiador 17, que es el espacio entre los tubos y la carcasa.
21. Bomba del tanque caliente.
22. Tubo de descarga de fluido en el tanque caliente.
- 40 23. Bomba del tanque frío.
24. Tubo de descarga de fluido en el tanque frío.
- 45 25. Válvula de regulación del flujo de condensado que va al depósito de alta presión del sistema de almacenamiento térmico.
26. Bomba del ramal de flujo de condensado que va al depósito de alta presión.
- 50 27. Depósito de condensado de alta presión del sistema de almacenamiento térmico.
28. Válvula de paso del depósito de alta presión (27) al de baja presión (5).
29. Boca de succión en el depósito del condensado de alta presión.
- 55 30. Válvula de regulación de flujo de condensado de alta presión.
31. Bomba de condensado de alta presión.
- 60 32. Válvula de cierre del circuito de inyección de condensado a alta presión.
33. Ramal reversible de la boca de líquido del intercambiador 17.
34. Ramal de descarga de la boca de vapor del intercambiador 17.
- 65 35. Válvula del ramal 34.

ES 2 364 311 A1

36. Ramal de descarga de vapor del intercambiador 17 en la aportación de calor para el sobrecalentamiento.
37. Válvula del ramal 36.
- 5 38. Ramal de descarga del depósito de alta presión al de baja presión.
39. Ramal de descarga de vapor del intercambiador 17 en la turbina 1.
40. Válvula del ramal 39.
- 10 41. Ramal de paso del depósito de condensado de baja presión al de alta.
42. Válvula del ramal 41.
- 15 43. Bomba del ramal 41.
44. Ramal de paso del vapor del tambor 10 a la aportación de calor para sobrecalentamiento.
45. Ramal de evacuación del vapor del tambor 10 al intercambiador 17.
- 20 46. Boca de vapor o superior del intercambiador 17.
47. Boca de líquido o inferior del intercambiador 17.
- 25 48. Cabezal superior del intercambiador 17.
49. Cabezal inferior del intercambiador 17.
50. Barrilete de presión del intercambiador 17.
- 30 51. Estructura soporte del intercambiador 17.
52. Rodillos de la estructura soporte del intercambiador 17.
- 35 53. Boca del fluido secundario que da al tanque de baja temperatura relativa.
54. Boca del fluido secundario que da al tanque de alta temperatura relativa.
55. Espacios de paso del fluido secundario dentro del intercambiador 17, que rellenan los huecos dejados por los tubos del primario.
- 40 56. Travesaños de refuerzo lateral de las paredes de los tubos troncocónicos.
57. Tubo troncocónico, por dentro del cual se mueve el fluido primario.
- 45 58. Placa base inferior, que cierra los espacios 55, y va soldada a las bocas inferiores de los tubos 57.
59. Placa base superior, que cierra los espacios 55, y va soldada a las bocas superiores de los tubos 57.
- 50 60. Nivel de la superficie libre del líquido primario en la modalidad de condensador.
61. Nivel de la superficie libre del líquido primario en la modalidad de generador de vapor.
62. Pilares internos del intercambiador 17 para soportar la placa base inferior.
- 55 63. Somier de soporte general de las estructuras internas del intercambiador 17.
64. Canal interior de un tubo 57, dentro del cual se produce la ebullición nucleada en el modo de generación de vapor.
- 60 65. Separadores de vapor,
66. Instrumentos de identificación de la superficie libre del líquido en la condensación, que son monitores o medidores de ese nivel.
- 65 67. Instrumentos de identificación de la superficie libre del líquido en la ebullición, que son monitores o medidores de ese nivel.

ES 2 364 311 A1

68. Deflector del flujo de la boca del tanque de baja T del secundario, para distribuir uniformemente su movimiento.
69. Deflector del flujo de la boca del tanque de alta T del secundario, para distribuir uniformemente su movimiento.
70. Compresor-circulador para hacer circular el vapor por el sistema de aportación de calor para el sobrecalentamiento, 15.

La invención se ha de encuadrar en una planta de generación de vapor para un fin útil, como puede ser la generación de electricidad, que es el caso presentado en la figura 1, y que reúne todos los elementos para explicar la invención claramente, comenzando por señalar que la invención en sí misma es el sistema de almacenamiento térmico constituido por:

- El ramal 45 que parte del tambor de fases 10, y contiene a la válvula 16.

- El intercambiador reversible 17, que es propiamente el componente ideado específicamente para esta invención, y que se describe más adelante con el detalle requerido. Su fluido primario es el vapor que le llega para condensarse, o que se genera en su seno cuando opera en el modo de generación.

- El circuito del fluido secundario del intercambiador 17, que está formado por el conducto 20 que atraviesa el intercambiador de la manera que se dirá, y los dos tanques existentes en sus extremos, el de baja T relativa, y el de alta T, que almacenan el fluido secundario.

- El ramal 33 de conexión de la boca inferior del intercambiador 17 con el depósito de fluido condensado primario a alta presión.

- El depósito de fluido condensado primario a alta presión, 27.

- La válvula 25 y la bomba 26 de descarga del condensado primario de alta presión en el depósito 27.

- Circuito de inyección de fluido primario líquido en el intercambiador 17 merced a la bomba 31.

Los elementos mencionados, a excepción del intercambiador reversible 17 son convencionales, pero no es convencional la forma en que se integran en un sistema bidireccional que funciona como almacenamiento de energía térmica y como generador auxiliar de vapor. Mediante la integración que se expone a continuación, junto con el uso prescrito del sistema, se logra que la entalpía del vapor saturado disponible se recoja en dos medios: el propio condensado del fluido primario, que se conserva a alta presión y temperatura; y el fluido secundario calentado, que se almacena en el tanque de alta T. Para ello, el vapor excedente del tambor 10 es condensado prácticamente a la presión que tiene, merced al fluido secundario, y a la transferencia de calor llevada a cabo en el intercambiador. En esa operación, el fluido secundario pasa del tanque de baja temperatura, o tanque frío, al tanque de alta temperatura, o tanque caliente, absorbiendo el calor liberado por el fluido primario en su condensación. Obviamente se pierde exergía en el proceso, pues la temperatura del medio secundario en el tanque caliente estará unos °C por debajo de la temperatura que tenía el vapor. A su vez, aunque el tanque esté muy bien aislado térmicamente, durante el período de almacenamiento perderá más temperatura, lo cual producirá otra pérdida exergética.

Cuando hay necesidad de producir más vapor en la planta, se activa el modo de generación, y el contenido del tanque caliente, 19, se descarga a través del circuito 20, que tiene como parte principal el secundario del intercambiador 17, para llegar, enfriado, al tanque de almacenamiento de baja T, 18. En ese paso, se transfiere calor al líquido inyectado en el primario del intercambiador 17 desde el depósito de condensado de alta presión, que es donde se recoge el fluido primario en el modo de condensación.

El intercambiador reversible 17 corresponde a una tipología general de carcasa y tubos, pero con una configuración especial, deducida de las funciones que ha de cumplir. En esa configuración son importantes los monitores de nivel, 66 y 67, respectivamente cercanos o ligeramente por debajo de la placa base inferior (58) para el modo de condensación, y cercanos o ligeramente por encima de la placa base superior (59) para el modo de ebullición. Estos medidores de nivel pueden ser del tipo de termopar activo, que miden el valor del coeficiente de película, que es en verdad la variable a vigilar, pues lo que se ha de evitar, particularmente en la ebullición, es que la aparición de una película de vapor seco en la superficie de contacto reduzca mucho el valor de ese coeficiente, y eso perjudique enormemente la transferencia de calor y se pierda eficiencia en el proceso; aunque conviene señalar que en este caso, en el que la aportación de calor procede de un fluido, el secundario, cuya temperatura está dada, no puede ocurrir el fenómeno de "dry out" temido en las vainas del combustible nuclear en los reactores LWR, pues en los reactores hay que extraer la potencia generada en el seno del combustible y la temperatura no está limitada. Habida cuenta de que hay que optimizar el intercambiador, por ser un componente caro, se ha de maximizar su coeficiente global de transferencia, U, cuyo valor viene dado por

$$U^{-1} = h_1^{-1} + (e/k_t) + h_2^{-1}$$

ES 2 364 311 A1

siendo h_1 el coeficiente de película del primario, que es el que se ha de vigilar; h_2 es el del secundario, que también se ha de precisar, y que al no comportar cambio de fase, será notoriamente menor que h_1 ; y k , es la conductividad del material de los tubos troncocónicos, y e su espesor. Tanto si se usa aceite como fluido secundario, como si se utiliza una sal fundida, el valor de h_2^{-1} , que es la resistencia térmica de la película del secundario, será el mayor de los tres sumandos del miembro de la derecha en la ecuación anterior, que definía U^{-1} , y por ende U . Eso significa que el valor U será cercano a h_2 , pero menor que él. A su vez el valor de U ha de hacerse tan alto como se pueda, pues interviene en la determinación del tamaño del intercambiador 17, dado que éste está condicionado al área A de termotransferencia que se define en función de la altura H entre ambas placas base, el número de tubos troncocónicos que hay, N , y los diámetros superior D_s e inferior D_i de dichos tubos, siendo

$$A = N \cdot H \cdot \pi (D_i + D_s) / 2$$

Como la potencia térmica a transferir es Q (W), que está definida por la aplicación en cuestión, se cumple

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

en la que la diferencia de temperatura logarítmica media ΔT_{lm} se define en función de la temperatura de condensación del primario T_c , la del fluido secundario en el tanque de alta T_{2a} y la del fluido secundario en el tanque de baja T_{2b}

$$\Delta T_{lm} = (T_{2a} - T_{2b}) / \ln((T_c - T_{2b}) / (T_c - T_{2a}))$$

y a su vez la potencia térmica Q cumple el balance de energía en el fluido secundario, en función de su caudal másico m_2' y el calor específico C_2 del fluido secundario

$$Q = m_2' \cdot C_2 \cdot (T_{2a} - T_{2b})$$

Como posteriormente el intercambiador tiene que trabajar como generador de vapor, la temperatura de ebullición del primario T_e será menor que T_{2b} , de la misma manera que en el modo de condensación, la temperatura T_c queda por encima de T_{2a} . Ello conduce a que la pérdida de exergía debido al proceso de carga y descarga del almacenamiento se pueda caracterizar por

$$T_c - T_e > T_{2a} - T_{2b} = Q / (m_2' \cdot C_2)$$

En principio, un alto valor de m_2' es esencial para reducir la pérdida de exergía; pero hay que tener en cuenta que ese valor también influye en el tamaño del intercambiador, particularmente en su sección recta, que es la suma de la sección recta de los tubos por los que circula el primario, más la sección recta del secundario S_2 . Esta última está ligada a m_2' por la ecuación en la que intervienen la densidad del secundario ρ_2 y su velocidad v_2

$$m_2' = S_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2$$

La opción de impulsar el secundario con una v_2 comporta el problema de una fuerte pérdida de carga manométrica, y por ende alta potencia de bombeo, de modo que la realización particular de un intercambiador tendrá que hacerse agregando algunos criterios de optimización, o efectuando un análisis coste beneficio entre coste de inversión y coste de operación, lo cual se escapa del alcance de una patente. Es sin embargo relevante para el diseño tener además en cuenta que el coeficiente de película h_2 no es uniforme, sino que depende de las condiciones hidráulicas en cada punto, en particular de la velocidad. Teniendo en cuenta que en las correlaciones de convección para flujo turbulento el valor del número de Nusselt es proporcional a la potencia 0,8 del Reynolds, y que m_2' es constante, para un diseño definido, resulta que el valor de h_2 es proporcional a $D_{he}^{-1,2}$, donde el D_{he} de una sección del tipo que sea es

$$D_{he} = 4 \cdot S / P_m$$

siendo S la sección de paso, y P_m su perímetro mojado. Con la configuración ideada, a medida que asciende el fluido secundario desde la placa base inferior a la placa base superior, la sección de paso del fluido secundario se va haciendo más pequeña, y su perímetro mojado más grande, por lo cual aumenta el valor de h_2 , lo cual es beneficioso, pues en el modo de condensador se tiene en la zona superior la menor diferencia de temperatura ($T_c - T_{2a}$) y por tanto se inhibe por esto último la transferencia de calor, lo cual se compensa con tener más área local de termotransferencia, y mayor valor de h_2 . Cuando está en modo de generador de vapor, el efecto de h_2 es relativamente secundario, y sin embargo es fundamental dar sección de paso suficiente a las burbujas, cuya fracción de volumen ocupado crece considerablemente al ascender. Ese doble efecto positivo, uno en cada modo, aconseja el montaje tal como se ha ideado en la invención, con tubos troncocónicos de sección recta mayor en su parte alta.

ES 2 364 311 A1

Cuestión fundamental es la presión a la que trabaje el fluido primario, P_1 , que será notablemente mayor que la del fluido secundario. Por ejemplo, si se pretende que la ebullición sea a 300°C, la presión ha de estar cerca de las 100 atmósferas (o 10 MPa). Sin embargo, el aceite estará como mucho a 15 bar, y las sales a menos. Para un depósito cilíndrico grueso (o una carcasa o barrilete) con una presión P_1 , la tensión de aro σ es

5

$$\sigma = P_1((r^2+1)/(r^2-1))$$

10 donde r es el cociente entre diámetros exterior e interior del depósito. Para valores altos de temperatura, la σ admisible es menor que la usual a temperatura ambiente, pues el período elástico se acorta y el riesgo de fluencia se acerca. Si P_1 es alto, próximo a 10 MPa, por ejemplo, el cociente σ/P_1 admisible es bajo, alrededor de 6. En este caso, el espesor del depósito ha de ser superior al 9% del diámetro interior. Si se acota la pared del depósito a 10 cm de espesor como mucho, el diámetro interior sería aproximadamente de 1 metro. Esto quiere decir que el intercambiador debe ser esbelto, lo cual es una realidad bien conocida. Un caso emblemático es el de los generadores de vapor de los reactores nucleares PWR, en los cuales la presión está en el entorno de 7 MPa (y no tienen ninguna otra función, ni son reversibles).

15

20 Una vez descrita de forma clara la invención, se hace constar que las realizaciones particulares anteriormente descritas son susceptibles de modificaciones de detalle siempre que no alteren el principio fundamental y la esencia de la invención.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 364 311 A1

REIVINDICACIONES

1. Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generador de vapor reversible, ubicado en una planta de generación de vapor, **caracterizado** por que el sistema de almacenamiento térmico comprende:

- un tambor de separación (10) del vapor saturado, con tres posibles alternativas de salida, que corresponden a: la recirculación del líquido; al conducto de vapor hacia su aplicación o finalidad; y al conducto de vapor hacia un intercambiador específico (17), de flujo reversible;
- dicho intercambiador de calor (17), de flujo reversible tanto en su circuito primario como en el secundario, actuando como condensador cuando el fluido primario tiene una trayectoria descendente, o actuando como generador de vapor cuando el fluido primario va en trayectoria ascendente, teniendo estructuralmente una disposición vertical de carcasa (48, 56, 49) y tubos (57), siendo los tubos troncocónicos, con la boca de menor diámetro abajo, y yendo dichos tubos desde una placa base inferior (58) a una placa base superior (59), y siendo el fluido primario el que circula por dentro de los tubos;
- un subsistema del fluido secundario de dicho intercambiador reversible, consistente en dos tanques de almacenamiento del fluido térmico que se use, seleccionado este fluido entre aceite y sales fundidas, u otra sustancia que sea líquida en el nivel de temperaturas de operación que se fije en cada caso, estando unidos los tanques por un conducto o tubería (20) que atraviesa el intercambiador reversible (17), actuando siempre uno de ellos como tanque de baja temperatura (18), y otro como tanque de alta temperatura (19), yendo el fluido secundario del tanque de baja al de alta cuando el intercambiador actúa como condensador, y yendo el fluido secundario del tanque de alta al de baja cuando el intercambiador actúa como generador de vapor; moviéndose el fluido secundario, seleccionado entre sal fundida, aceite industrial o cualquier otra sustancia estable como líquido a las temperaturas de operación, por la parte exterior (55) de los tubos, entre éstos y la carcasa, siempre de forma predominantemente vertical;
- un conducto (45) de evacuación desde el tambor de separación, a través del circuito primario intercambiador reversible (17), hasta el depósito de condensado a alta presión y alta temperatura (27), estando provisto este conducto en su parte final (33) de una válvula (25) que sólo está abierta cuando el intercambiador actúa como condensador;
- un depósito de condensado a alta presión y alta temperatura (27);
- una bomba de evacuación del condensado (26) en dicho conducto de evacuación, que estimula la tasa de fluido evacuado, y mantiene el nivel de la superficie libre de líquido, en dicho intercambiador (17) reversible, a la altura de la placa base inferior (58) del intercambiador, cuando éste actúa como condensador;
- un conducto de reposición del vapor, que toma líquido (29) desde el depósito de condensado, lo inyecta en el circuito primario del intercambiador reversible, que actúa en el modo de generador de vapor, y del cual emerge hacia los usos ordinarios del vapor que haya en la planta, estando provisto este conducto de una válvula (30) que sólo está abierta cuando el intercambiador actúa como generador de vapor;
- una bomba de inyección (31) desde el depósito de condensado (27) hasta el circuito primario del intercambiador reversible (17), que mantiene el nivel de la superficie libre de líquido, en el circuito primario de dicho intercambiador, a la altura de la placa base superior (59) del intercambiador, cuando éste actúa como generador de vapor.

2. Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generador de vapor reversible, según la reivindicación primera, **caracterizado** por que cuando en la planta hay excedente de vapor, se abre el circuito de evacuación que desvía parte o todo el vapor producido al circuito primario del intercambiador de calor reversible, 17, que en esos momentos actúa como condensador, y se mantiene la superficie libre del líquido condensado justo a la altura, o algunos centímetros por debajo, de la placa base inferior (58) del intercambiador, lo cual se monitoriza con diversa técnicas, tanto termoelectrónicas como electro-ópticas, como visuales, y se ejecuta merced a la bomba (26) que impulsa el condensado desde la boca inferior del intercambiador (47) hasta el depósito a presión del condensado (27); activándose esta bomba a mayor potencia si la superficie libre del líquido sube por encima de la placa base inferior, extrayendo más caudal de líquido, y bajando el nivel de la superficie libre; y reduciendo la potencia de succión en caso contrario, extrayendo menos caudal de líquido cuando la superficie libre desciende de su nivel de consigna, que es la placa base inferior (58).

3. Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generador de vapor reversible, según reivindicación anterior, **caracterizado** por que durante el funcionamiento del intercambiador (17) como condensador, el calor recuperado es ese cambio de fase es captado por el fluido secundario, que actúa de refrigerante, alcanzando una temperatura muy elevada, en torno a 10°C por debajo de la temperatura de condensación del fluido primario, y pasa dicho fluido secundario del tanque de baja temperatura, o tanque frío (18), al tanque de alta temperatura, o tanque caliente (19), por

ES 2 364 311 A1

accionamiento de la bomba del tanque frío (23), absorbiendo el calor liberado por el fluido primario en su condensación; dejando al fluido primario condensado a presión y temperatura iguales a las que tenía el vapor primario, o algo menores, con una reducción de hasta el 5% en valor relativo a la presión y temperatura del vapor.

- 5 4. Almacenamiento de energía térmica mediante condensador-generador de vapor reversible, según la reivindicación primera, **caracterizado** por que cuando el sistema de almacenamiento ha de proporcionar vapor de fluido primario, a partir de la energía térmica almacenada, el intercambiador (17) actúa de generador de vapor, activándose la bomba de inyección (31) desde el depósito de condensado (27) hasta el circuito primario del intercambiador y el fluido primario circula por su interior de abajo a arriba, siempre por dentro de los tubos troncocónicos (64); y se prescribe el
- 10 criterio de que la superficie libre de líquido (61) esté por encima de la placa base superior (59), lo cual se monitoriza, por procedimientos termo eléctricos, o electro-ópticos o visuales; y se dispone de dicha bomba de inyección (31) de líquido desde el depósito de condensado a alta presión, a la que se le proporciona mayor potencia de bombeo si se desea subir de nivel la superficie libre de líquido, o lo contrario, si se desea que el nivel baje, para estabilizarse en su
- 15 referencia, que es la placa base superior; y al mismo tiempo se activa la descarga de fluido secundario desde el tanque caliente (19) hasta el tanque de menor temperatura (18), pasando a través del circuito secundario del intercambiador, activándose la bomba de descarga (21) de dicho tanque caliente.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

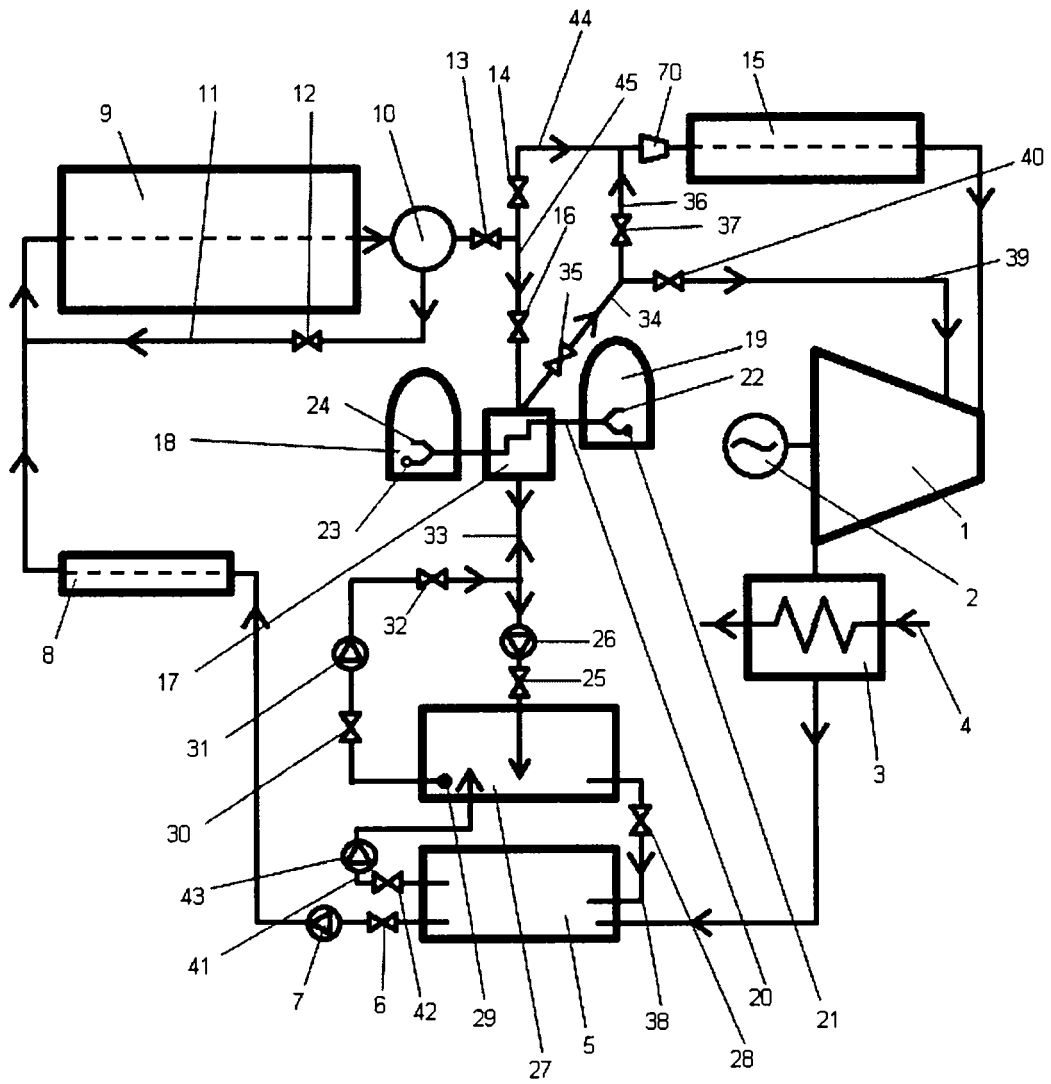


Figura 1

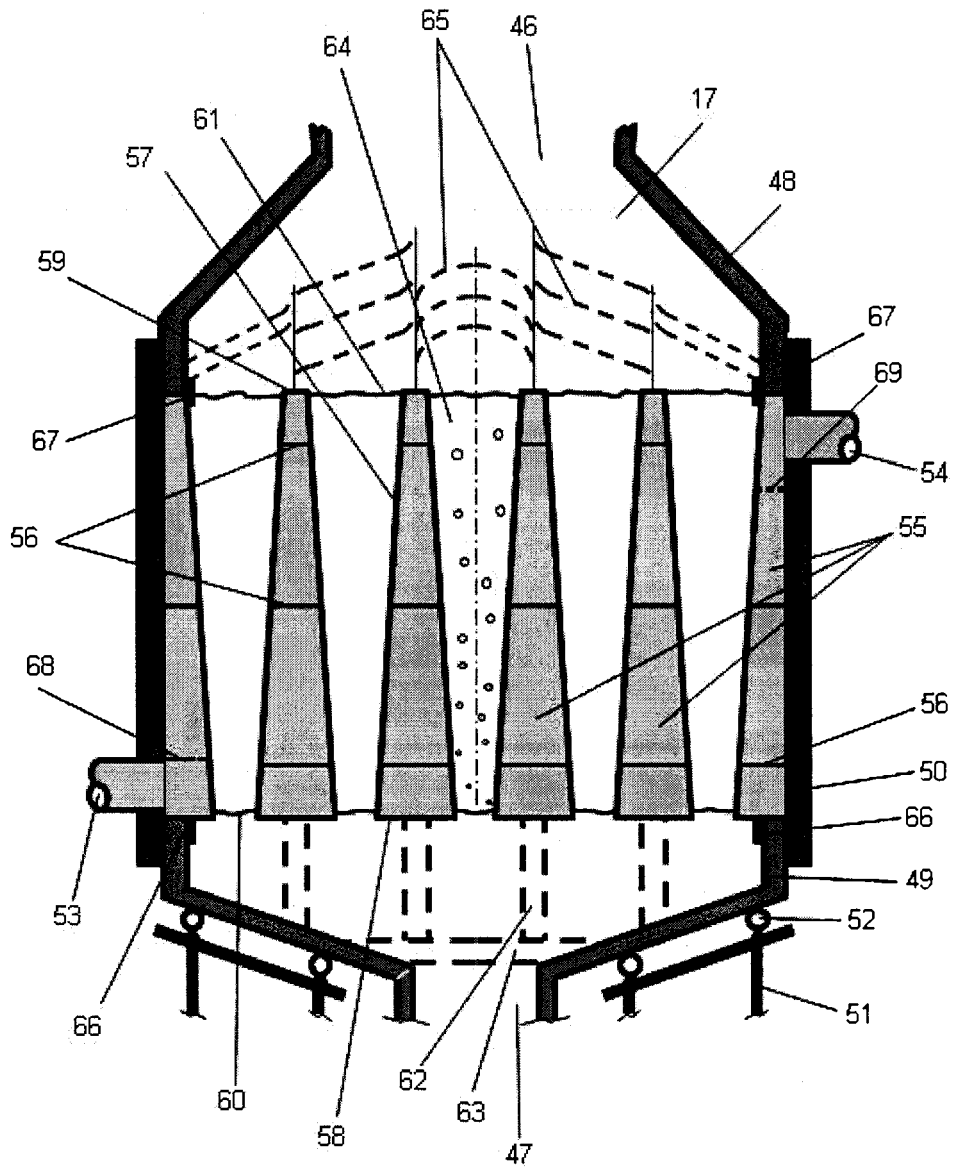


Figura 2

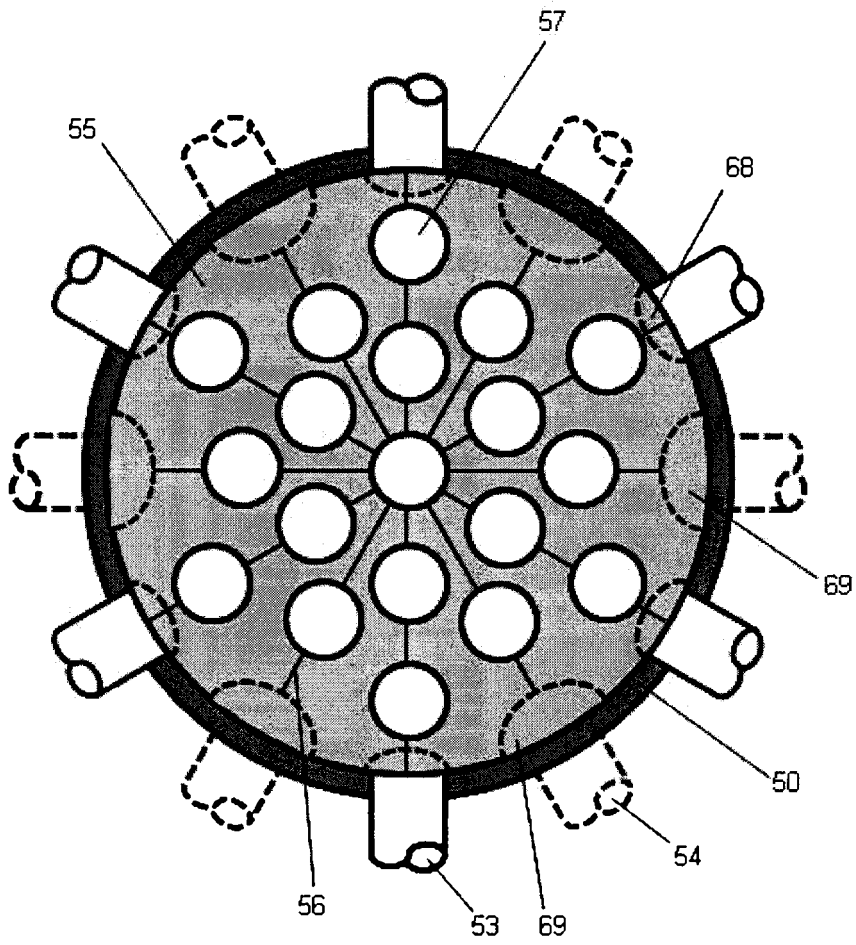


Figura 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 201100715

②² Fecha de presentación de la solicitud: 22.06.2011

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **F01K3/12** (2006.01)
F01K3/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 2157317 A2 (ABB RESEARCH LTD) 24.02.2010, todo el documento.	1
A	US 2011100611 A1 (OHLER CHRISTIAN et al.) 05.05.2011, todo el documento.	1
A	US 4089744 A (CAHN ROBERT P) 16.05.1978, todo el documento.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe
18.08.2011

Examinador
J. Celemín Ortiz-Villajos

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F01K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.08.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-4	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-4	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 2157317 A2 (ABB RESEARCH LTD)	24.02.2010

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

En el estado de la técnica se no se han encontrado documentos que anulen la novedad ni la actividad inventiva de la solicitud presentada. Únicamente se han encontrado algunos documentos que reflejan el estado de la técnica. A continuación, se pasa a explicar el documento más cercano.

En D01 se difunde un sistema de almacenamiento de energía en un ciclo de Rankine, similar al de la invención solicitada. En el párrafo 8 de D01 (y figura 1) se habla de que el sistema de almacenamiento de energía consistente en un fluido de trabajo que intercambia calor con el fluido térmico enfriando o calentando dicho fluido térmico, es conocido. En el caso concreto de D01, sistema posee un intercambiador de calor (30) donde se intercambia calor entre el fluido térmico y un fluido de trabajo. Cuando no se necesita consumir toda la energía generada, el fluido de trabajo circula entre un tanque de almacenamiento frío (a baja temperatura) (32) y un tanque de almacenamiento caliente (a alta temperatura) (34), almacenando, de esta forma, energía. Cuando se necesita aportar energía al ciclo, el fluido de trabajo circula entre el foco caliente (34) y el frío (32).

Como puede verse, D01 difunde el principio básico de funcionamiento en el que se basa la invención solicitada, esto es, dispositivo de almacenamiento de energía utilizando fluido de trabajo que se enfría o calienta dependiendo si se quiere aportar calor o extraer calor del sistema. Sin embargo, los detalles técnicos concretos de la invención solicitada no se encuentran en D01, como son, entre otros el tambor de separación de vapor saturado con tres posibles alternativas de salida, el intercambiador de calor con los tubos troncocónicos, etc.

Por todo lo anterior, se puede afirmar que no se han encontrado documentos que contengan todas las características técnicas del objeto de la invención solicitada o que en vista de dichos documentos se deduzcan dichas características técnicas de una manera evidente para un experto en la materia, por lo que la invención solicitada posee novedad y actividad inventiva, según los artículos 6 y 8 de la ley 11/1986 de Patentes.