

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 869**

51 Int. Cl.:

F01K 9/00 (2006.01)
F01K 25/08 (2006.01)
F22B 1/00 (2006.01)
F28B 1/06 (2006.01)
F28B 9/06 (2006.01)
F28D 20/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2015 PCT/IB2015/054260**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.12.2015 WO15186100**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2015 E 15732053 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3152410**

54 Título: **Instalación de conversión de calor en energía mecánica con sistema de refrigeración del fluido de trabajo mejorado**

30 Prioridad:

05.06.2014 FR 1455121

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

30.11.2020

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment, "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**BRUCH, ARNAUD y
COUTURIER, RAPHAËL**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 796 869 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

Instalación de conversión de calor en energía mecánica con sistema de refrigeración del fluido de trabajo mejorado

Ámbito técnico

5 La presente invención se refiere a un depósito de almacenado de frío que permite utilizar un intercambiador de calor (por ejemplo un aerocondensador seco (sin agua) o un aerorrefrigerante) en un sistema termodinámico con una eficacia mejorada por fuerte calor disminuyendo la temperatura del aire a la entrada del intercambiador.

10 Aunque la invención esté particularmente adaptada para una central solar de concentración, por su lugar de implantación potencial, como se describe a continuación, la misma puede también ser realizada en cualquier instalación de conversión del calor en energía mecánica y en particular después en electricidad, utilizando dicha instalación de conversión en electricidad una turbina de expansión y por consiguiente, un condensador correspondiente.

Estado de la técnica

15 La tecnología solar térmica de concentración consiste en concentrar la radiación solar con la ayuda de espejos para calentar un fluido caloportador que sirve de fuente caliente en un ciclo termodinámico. La concentración permite alcanzar temperaturas más o menos elevadas y así beneficiarse de rendimientos de conversión termodinámicos más o menos importantes.

Las tecnologías desarrolladas se distinguen por su método de concentración de los rayos solares, de transporte (y eventualmente de almacenado) del calor (fluidos caloportadores) y de conversión termodinámica (turbinas de vapor, turbinas de gas, motores Stirling).

20 Se distinguen típicamente cuatro grandes familias de centrales solares térmica de concentración (también llamadas centrales solares termodinámicas de concentración o centrales heliotermodinámicas, del acrónimo inglés CSP para «*Concentrating Solar Power Plant*»): los sistemas con colectores de forma cilindroparabólica de foco lineal, los de concentradores lineales de Fresnel, los sistemas de torre con receptor central y por último, los sistemas de parábolas con foco móvil.

25 Una central CSP es una central que concentra los rayos del sol con la ayuda de espejos para calentar un fluido caloportador. Este fluido sirve de fuente caliente a una turbina de expansión que acciona un alternador con el fin de producir electricidad.

Se describe ahora un ejemplo de una central CSP de tipo cilindroparabólica ya instalada, particularmente en España en Andasol con una potencia de 50MWe.

30 En esta central, el aceite térmico se calienta en una zona constituida por una pluralidad hileras de espejos de forma cilindroparabólica reagrupados en lo que corrientemente se llama un «campo solar». El calor del aceite, es bien sea almacenado en un fluido de almacenado que es típicamente en el caso de estas centrales de tipo cilindroparabólica una mezcla de sales de nitratos fundidos, o enviada a los intercambiadores de calor para producir directamente vapor. Este vapor se expande en una turbina para producir electricidad.

35 A la salida de la turbina de expansión, el vapor se condensa por un aerocondensador que utiliza como fuente fría el aire exterior o agua. El valor condensado retorna seguidamente a los intercambiadores para de nuevo ser evaporado y luego enviado a la turbina de expansión.

40 En una configuración de este tipo, pueden por consiguiente existir dos circuitos de fluido distintos, a saber el del fluido de trabajo que integra la turbina de expansión y conectado a través de intercambiadores de calor con el circuito principal de aceite térmico y el de refrigeración del condensador del circuito que integra la turbina de expansión.

El rendimiento de la turbina de expansión está directamente relacionado con la temperatura de entrada del vapor y la temperatura del punto bajo del ciclo, es decir la temperatura en el condensador.

45 La turbina de expansión, como órgano de conversión termodinámica, está limitada por el rendimiento teórico de Carnot según la ecuación $\eta = 1 - T_{fría} / T_{caliente}$ con T en Kelvin. Así, el rendimiento teórico de una turbina de expansión depende de la temperatura de la fuente caliente pero también del de la fuente fría.

Por consiguiente, para una temperatura caliente dada que dependa de los receptores solares, en el caso de una central CSP, o de una cámara de combustión en el caso de una central de gas o de carbón, cuanto más elevada es la temperatura fría (temperatura en el condensador), más baja el rendimiento de la turbina de expansión.

50 En el caso de una central CSP, la implantación se realiza preferentemente en una región con fuerte soleado que pueda por consiguiente presentar temperaturas elevadas en el día. Una solución sencilla para la fuente fría es sacar agua de un río o de la capa freática, pero es un recurso raro en las regiones desérticas o áridas. Las capas freáticas son por ejemplo cuaternarias en África. Además, incluso cuando existen, esta fuente fría es cada vez más difícil y cara de

explotar debido a las reglamentaciones medio ambientales. Además, el tratamiento del agua obtenida es costoso y necesita un aprovisionamiento regular de productos químicos.

5 La publicación [1] menciona ampliamente esta problemática. En particular, se investigan en esta publicación cuatro lugares de implantación posibles de centrales CSP en África con las temperaturas medias actuales y previstas en los años venideros. Se desprende de esta investigación que el recalentamiento anunciado del planeta afectará particularmente a las regiones ya consideradas calientes, particularmente los lugares de implantación considerados para las centrales CSP.

En estas condiciones, la necesidad de refrigeración de estas centrales CSP corre el riesgo de ser crucial.

10 Se puede hacer referencia a la publicación [2] en la cual se realiza una presentación de las diferentes tecnologías de refrigeración de centrales de producción eléctrica.

Cuatro tecnologías son mayoritariamente utilizadas de las cuales se describen brevemente el funcionamiento ahora.

15 Los sistemas de refrigeración húmeda llamados «abiertos» extraen de un río o de un mar, un volumen de agua que realiza la refrigeración del vapor en el condensador. El agua es seguidamente desechada río abajo de la extracción, a temperatura más elevada, directamente al río o al mar. A título indicativo, el orden de magnitud del volumen de agua requerido que se extrae es aproximadamente igual a 160 litros/kWhe (Kilovatio hora eléctrico), sin ninguna agua evaporada.

20 Los sistemas de refrigeración húmeda llamados «cerrados» permiten reducir de forma importante las extracciones de agua externa pues, la refrigeración del agua que circula por este circuito está del mismo modo asegurado por la presencia de torres refrigerantes. El agua consumida corresponde al aporte necesario para mantener el nivel del circuito cerrado constante mientras que una parte del agua se evapora a través de las torres refrigerantes. A título indicativo igualmente, el orden de magnitud del volumen de agua requerido es de 6 litros/kWhe de los cuales 2 litros/kWhe corresponden a la parte evaporada.

25 Los sistemas de refrigeración por aire comprenden un circuito suplementario, que se encuentra entre el condensador de la turbina de expansión y el intercambiador. La cantidad de agua consumida se disminuye un 95% con relación a los sistemas de refrigeración húmeda abierto, sirviendo el consumo residual para las purgas y para las fugas. A título de ejemplo, una central CSP cilindro-parabólica actualmente en servicio en el desierto de California con un sistema de refrigeración húmeda consume aproximadamente 3 litros/kWhe (Kilovatio hora eléctrico). Con un sistema de refrigeración por aire, el consumo se disminuye a un valor de 3 a 3,4 litros/kWhe, de los cuales 0,75 litros/kWhe son para la limpieza de los espejos.

30 Por el contrario, los inconvenientes de un sistema de refrigeración por aire son numerosos. En efecto, el coste de inversión es bastante superior al de los sistemas de refrigeración húmeda, el ruido generado es importante, el rendimiento es afectado de manera importante cuando hace calor, el consumo eléctrico es importante y por último, la influencia respecto al suelo es igualmente importante.

35 Los sistemas de refrigeración llamados «híbridos» combinan bajo diversas formas, un sistema de refrigeración por aire con aspersion de agua. La utilización de agua en aspersion permite mejorar la eficacia del aerocondensador cuando hace calor en el entorno exterior. El consumo de agua es inferior al de los sistemas de refrigeración húmeda.

40 En un sistema de refrigeración sin agua o con muy poco agua, se utiliza bien sea un aerocondensador llamado seco, en el cual el vapor procedente de la turbina de expansión se condensa, o bien un aerorrefrigerante llamado seco que refrigera un fluido de transferencia, a menudo agua glicolada, que asegura la condensación del vapor procedente de la turbina en el interior del condensador.

La arquitectura es la misma para los aerorrefrigerantes y los aerocondensadores con tuberías de alimentación y de retorno del vapor o del fluido de transferencia y ventiladores que hacen circular el aire ambiente. Los ventiladores están situados a algunos metros del suelo para dejar un paso de aire suficiente con el fin de no crear pérdida de carga y evitar aspirar polvo.

45 Una posibilidad para la refrigeración de una central CSP es por consiguiente utilizar un sistema de refrigeración que utilice directamente el aire ambiente como fuente fría a través de un aerocondensador seco. Así, en dicho sistema, se utiliza aire ambiente para disipar el calor residual de la turbina de expansión que corresponde a aproximadamente un 65 a un 85% del calor producido por los receptores solares según el rendimiento de conversión que va aproximadamente de un 15% para las turbinas de expansión de las máquinas térmicas de ciclo Rankine de pequeñas dimensiones, hasta aproximadamente un 35% para las turbinas de vapor de grandes dimensiones. Un sistema de refrigeración con aerocondensador seco es utilizado por ejemplo por la Sociedad Novatec en centrales CSP con concentradores lineales de Fresnel.

55 Como ya se ha mencionado, la ventaja principal de dicho sistema es la economía de agua. Los mayores inconvenientes son el coste de energía consumida que está dedicado al suministro eléctrico de los ventiladores y, la pérdida de rendimiento de la central cuando la temperatura del aire exterior sobrepasa los 30 a 35°C.

El paso de un sistema de refrigeración húmedo a un sistema de refrigeración por aire representa una pérdida equivalente al 3% de la energía eléctrica anual producida en España, y a un valor del 5 al 10% en África del Norte, según la publicación [1].

5 Otra fuente de información estima, en cuando a la misma, en un 10% el sobrecoste de producción eléctrica para un sistema de refrigeración por aire, y a un 7% de pérdida de la energía producida: publicación [3].

Un sistema de refrigeración híbrido permite limitar en un 1% la pérdida de energía producida para un consumo de agua del orden del 50% del de un sistema húmedo.

10 La penalidad inducida por un sistema de refrigeración con aerocondensador seco, es decir, la pérdida de energía producida debido a su funcionamiento, es la más importante al día cuando hace mucho calor en el exterior, lo cual corresponde desafortunadamente a los periodos de fuerte soleado, por consiguiente de fuertes producciones eléctricas, y por consiguiente de fuertes necesidades de refrigeración en el condensador de la turbina de expansión.

15 Una de las soluciones que se pueden considerar para evacuar la máxima potencia térmica en el condensador de la máquina térmica de conversión del calor en energía, en caso de temperatura exterior muy elevada, es sobredimensionar los aerocondensadores de aire, es decir instalar aparatos calibrados para evacuar esta máxima potencia térmica en el caso más extremo correspondiente a las temperaturas elevadas más extremas. Los inconvenientes principales de esta solución son el coste de inversión muy considerable y el consumo eléctrico de los ventiladores todo el año cuando los momentos en que hace mucho calor están limitados en tiempo.

20 Otros sistemas de refrigeración de los condensadores de las máquinas de conversión eléctrica de las centrales solares son actualmente considerados, incluso si se encuentran más hoy en día aún en fase de estudio y/o de prototipo. Se pueden citar el ejemplo de sistemas basados en la utilización de un fluido caloportador desecante entre el condensador y el aire ambiente: ver publicación [4]. Este tipo de sistema presenta rendimientos superiores a los de sistemas clásicos de refrigeración por aire y permite una función natural de almacenado basada en el principio de un fluido desecante y las variaciones de temperatura del aire exterior.

Por otro lado, otros sistemas de refrigeración han sido ya propuestos.

25 Así, la solicitud de patente US 2009/0158736 propone un sistema donde se utiliza el suelo como fuente fría, estando entonces un intercambiador hundido en el suelo. Los inconvenientes del sistema descrito son numerosos, y se pueden enumerarlos como sigue:

- son necesarias longitudes de tubería importantes para asegurar el intercambio de calor con el suelo, lo cual representa un coste financiero y energético y requiere un mantenimiento importante,
- 30 - la transferencia de calor da poco rendimiento,
- la regeneración térmica del suelo, es decir el retorno del suelo a una configuración térmica inicial, antes del intercambio de calor, no está asegurada debido a la baja conductividad térmica del suelo. En este caso, la eficacia de la fuente fría que representa el suelo tiende a degradarse a medida que se va produciendo su utilización.

35 La solicitud de patente US 2009/072537 describe un ciclo Rankine que utiliza la humedad ambiente para generar energía. En un modo de realización, se sugiere la utilización de intercambiadores por aire refrigerado por un lecho de roca con el fin de condensar y/o refrigerar el fluido que sale de la turbina.

Por la patente US4054246, se conocen además sistemas que almacenan el calor del sol durante el verano o el frío del suelo en un lecho de rocas dispuesto bajo una vivienda.

40 En lugar de realizar sistemas de refrigeración de los condensadores de las máquinas térmicas de conversión eléctrica, otras soluciones consisten más bien en evacuar una parte de la potencia térmica de la turbina de expansión, es decir, río arriba del condensador.

45 La publicación [5] considera así un sistema que combina una máquina de absorción para la producción de frío, un almacenado de fluido frío luego la restitución del frío almacenado por aire a la entrada del aerocondensador por mediación de un intercambiador. El sistema de refrigeración considerado presenta varios inconvenientes principales que se pueden resumir así:

- el sistema es particularmente complejo ya que conecta varios componentes y máquina,
- el consumo de energía eléctrica es particularmente elevado en la medida en que la máquina de absorción y los circuitos añadidos deben todos ser alimentados,
- 50 - la instalación de dicho sistema necesita un gran volumen de almacenado.

La publicación [6] propone en cuanto a la misma un almacenado por material con cambio de fase (del acrónimo MCP en francés o PCM en inglés) para decalar la evacuación de una parte de la potencia térmica de la turbina de expansión. El almacenado propuesto es caro de realización y complicado de poner en práctica, particularmente por el aporte de un intercambiador suplementario.

Así, existe una necesidad por mejorar el rendimiento del sistema de refrigeración del condensador de una instalación de conversión de calor en electricidad, en caso de temperaturas exteriores muy elevadas. En otras palabras, existe una necesidad por mantener los rendimientos nominales de un condensador de una instalación de conversión de calor en electricidad, en caso de temperaturas exteriores muy elevadas.

- 5 Más generalmente, existe una necesidad por mejorar el rendimiento de una instalación de conversión de calor en energía mecánica y en particular después en electricidad, en particular de una central solar termodinámica (CSP) que integra dicha instalación, en caso de temperaturas exteriores muy elevadas.

El fin general de la invención es responder al menos en parte a esta(s) necesidad(es).

Exposición de la invención

- 10 Para ello, la invención tiene primeramente por objeto, según un aspecto, una instalación de conversión de calor en energía mecánica que comprende:

- una máquina térmica apta para funcionar según un ciclo termodinámico, comprendiendo la máquina térmica una turbina de expansión de vapor y un condensador para la refrigeración del vapor expandido,
 - un sistema de refrigeración del vapor expandido del fluido de trabajo, es decir del condensador de la máquina térmica, que comprende un aerocondensador y/o un aerorrefrigerante y un depósito de material de almacenado térmico por calor sensible, como medio de almacenado del frío para el aerocondensador y/o el aerorrefrigerante, siendo el depósito apto para ser puesto en comunicación con el aire exterior durante las horas en que la temperatura exterior es la más fría con el fin de almacenar el frío del aire exterior.
- 15

- 20 El depósito es realizado en forma de una fosa en el suelo dispuesta por debajo del intercambiador de calor, estando la fosa conectada con el aire exterior por al menos un conducto.

El intercambio de calor entre el depósito y el aire exterior es realizado por circulación del aire a través del material de almacenado. Por este mecanismo, el frío puede ser almacenado por intercambio entre el aire y el material luego restituir en caso de necesidad.

- 25 Por «aerocondensador», se entiende aquí y en el marco de la invención, un intercambiador de calor en el cual un fluido en forma de vapor, circula y se condensa con el aire ambiente impulsado por un ventilador.

Por «aerorrefrigerante», se entiende un intercambiador de calor en el cual un fluido líquido o gaseoso es refrigerado por una corriente de aire exterior impulsado por un ventilador.

Según un modo de realización ventajoso, la máquina térmica es una máquina con ciclo orgánico de Rankine (ORC).

- 30 La invención consiste por consiguiente en la recuperación y el almacenado del frío de la noche en un depósito de material de almacenado para una utilización ulterior en un momento deseado por el explotador de la instalación, con el fin de refrigerar el aire que entra en el intercambiador de calor del sistema de refrigeración del fluido de trabajo de la máquina térmica.

- 35 Así, se pueden mantener los rendimientos nominales de un intercambiador de calor (en particular el aerocondensador o el aerorrefrigerante), incluso en caso de calores muy fuertes, y esto sin tener que sobredimensionar inicialmente el equipo correspondiente.

- 40 Dicho de otro modo, según la invención, se almacena en un depósito de material de almacenado térmico por calor sensible, el frío de la noche para una utilización ulterior (la utilización es preferentemente realizada para el día siguiente, pero una utilización varios días más tarde es posible) en algunas horas críticas donde la fuerte temperatura exterior penaliza el funcionamiento del intercambiador de calor, es decir su rendimiento por consiguiente, en cascada, el rendimiento de la turbina. Debido a una diferencia de temperatura entre el día y la noche que es importante, el volumen de almacenado a poner en práctica y por consiguiente el coste correspondiente es razonable.

Por consiguiente, la invención permite aumentar el rendimiento de conversión de una instalación de conversión de calor en electricidad, durante periodos de fuertes incluso muy fuertes calores, con un coste razonable.

- 45 La invención puede ponerse en práctica ventajosamente, en regiones de calores muy fuertes durante el día, generalmente zonas de clima árido, y con bajas temperaturas por la noche.

Más particularmente, las zonas potenciales de implantación de centrales solares CSP son aquellas, particularmente en los climas áridos semi desérticos de cielo mayoritariamente claro, en las cuales la diferencia de temperatura entre el día y la noche es importante en cualquier estación.

- 50 Por ejemplo, en la región de Ouarzazate, en la cual construcciones de centrales solares CSP han sido realizadas, se observa que la diferencia media de temperatura entre el día y la noche es de 15 a 20°C, y esta diferencia está presente incluso los días más calientes del año.

Según la invención, esta diferencia de temperatura entre el día y la noche puede ser aprovechada con el fin de almacenar la frescura de la noche y restituirla en las horas más calurosas del día en el intercambiador de calor refrigerado con el aire ambiente que se instalaría en el sistema de refrigeración de una máquina de conversión eléctrica, y más generalmente de una máquina de conversión de calor en energía mecánica.

5 La fosa a realizar para constituir el depósito de almacenado del frío según la invención puede ser realizada durante la construcción de una nueva instalación bajo el lugar de implantación del intercambiador de calor. La misma puede igualmente ser realizada por debajo de un intercambiador de calor de una instalación existente. Así, la realización de una fosa llena de rocas permite obtener un almacenado de volumen importante directamente horadado en el suelo y fácil de realizar.

10 El sistema de refrigeración según la invención se distingue claramente de las técnicas de pozos canadienses o de sonda geotérmica en las cuales el frío o el calor se obtiene directamente del suelo.

El sistema de refrigeración según la invención puede tanto ser realizado durante la realización de una nueva central solar CSP como ser realizado en una central existente cuyo rendimiento es menor por fuertes calores, con el fin de mejorar sus rendimientos.

15 Las ventajas proporcionadas por la invención son numerosas, y particularmente como las que son explicadas a continuación.

Primeramente, gracias a la invención, la gestión de dimensionamiento de un intercambiador de calor, en particular un aerocondensador o de un aerorrefrigerante según la invención es diferente de la de un aparato según el estado de la técnica. En efecto, no es necesario sobredimensionar el intercambiador de calor, es decir prever su funcionamiento nominal incluso para periodos de calores más grandes. En lugar de ello, estos periodos son tomados en cuenta por el almacenado del frío en el material de almacenado que puede ser restituído por un intercambiador de calor de dimensionamiento habitual, es decir un intercambiador de calor más pequeño que si hubiera sido dimensionado para los fuertes calores. El resto del año, el funcionamiento nominal es asegurado por el intercambiador de calor usual solo. Esto implica una disminución de la inversión y del consumo eléctrico de la instalación.

20 El sistema de refrigeración según la invención permite compensar lo que un experto en la materia denomina usualmente las «diferencias en las condiciones de dimensionamiento». Eso significa, que conservando el material ya instalado, la implantación del medio de almacenado de frío según la invención permite aumentar los rendimientos del intercambiador de calor para los periodos en que hubiera sido subdimensionado. Estas diferencias en las condiciones de dimensionado pueden deberse a diferentes motivos y por ejemplo:

- 30 - en la concepción de la instalación, los archivos que proporcionan la meteorología local pueden haber subevaluado la temperatura exterior real;
- año tras año, debido al recalentamiento climático global, puede producirse una subida de la temperatura exterior no planificada,
- 35 - una bajada observada de los rendimientos del intercambiador de calor, que puede deberse por ejemplo a su ensuciamiento;
- los cambios en los perfiles de demanda eléctrica para la instalación de conversión. Una demanda incrementada de climatización al comienzo del mediodía conduce en efecto a un consumo eléctrico más importante durante este periodo. Así, para un explotador de una central solar CSP, es entonces pertinente producir más específicamente en estos periodos de fuertes temperaturas exteriores para los cuales el intercambiador de calor no ha sido forzosamente dimensionado.

40 El sistema según la invención puede permitir compensar una baja de los rendimientos del intercambiador de calor, bajo el efecto de su ensuciamiento por ejemplo. El aporte de un depósito de almacenado del frío conforme a la invención permite no tener que cambiar el intercambiador y/o que añadir módulos suplementarios de intercambio de calor en el transcurso de la vida de la instalación.

45 Además, el sistema según la invención permite una cierta flexibilidad de utilización en caso de cambio de la máquina de producción eléctrica de ciclo Rankine. Así, si el cambio de una máquina requiere un ligero subdimensionamiento del aerocondensador/aerorrefrigerante ya instalado, entonces el aporte de un depósito de almacenado del frío conforme a la invención puede permitir compensar el subdimensionamiento inducido.

50 Por último, el sistema según la invención es sencillo de poner en práctica y manejable de utilizar, pues el depósito y su llenado por el material de almacenado es muy fácil de realizar y su control es fácil. En efecto, no es necesario controlar con precisión la circulación y el nivel hidráulico en el depósito de almacenado, pues se busca únicamente refrigerar el depósito por la noche y utilizar este frío durante el día.

55 Según un modo de realización particularmente ventajoso, el depósito es un lecho de rocas. La utilización de rocas como material de almacenado por calor sensible es ventajosa por simple y económica. Se puede bien entendido utilizar otro material, de preferencia de bajo coste. De preferencia, para el lecho de rocas según la invención, cada roca tiene individualmente un tamaño característico de algunos centímetros, lo cual es un compromiso satisfactorio entre el

almacenado térmico a realizar y las pérdidas de carga inducidas. Así, las rocas no deben ser demasiado gruesas para asegurar un funcionamiento térmico correcto y tampoco demasiado pequeñas con el fin de limitar las pérdidas de carga inducidas por el lecho de rocas, lo cual permite no tener que dimensionar demasiado grandes los ventiladores cuando se desea realizar una convección forzada.

- 5 Según una variante ventajosa, la fosa tiene forma de pirámide truncada con la base dispuesta lo más profunda en el suelo. Esta forma de pirámide truncada permite ventajosamente reducir la profundidad de la fosa para un mismo volumen.

De preferencia, está prevista una rejilla de distribución fluidica dispuesta por debajo de la fosa, siendo el(los) conducto(s) una(s) manguera(s) de traída de aire exterior por debajo de la rejilla de distribución. Una rejilla de este tipo permite mejorar la distribución fluidica y por consiguiente el reparto homogéneo del almacenado del frío.

10 Según una variante, se pueden prever uno o varios ventiladores adaptados para hacer circular el aire exterior en la fosa por el(los) conducto(s). Estos ventiladores se disponen a la entrada de las bocas de aire en comunicación con el almacenado, que puede ser subterráneo (fosa), con el fin de vencer las pérdidas de carga relacionadas con el paso del aire a través del lecho de roca. Así, estos ventiladores están previstos para que los que están integrados en el intercambiador de calor (aerocondensador o el aerorrefrigerante) no tengan que proporcionar trabajo suplementario en la puesta en comunicación con el depósito de almacenado del frío. La potencia eléctrica consumida por los ventiladores de circulación de aire exterior en la fosa es bastante menor que la pérdida de potencia de una central solar CSP cuando hace calor. En efecto, conforme a la invención, estos ventiladores están previstos para funcionar por la noche para cargar el depósito de almacenado y por el día solamente durante un período limitado, típicamente algunas horas, en el desalmacenado del depósito.

15 La puesta en circulación del aire exterior puede igualmente ser considerada por convección natural, lo cual representa una ganancia substancial de energía. La separación entre el aire caliente en la parte alta y el aire frío en la parte baja permite considerar técnicamente este tipo de solución.

20 Un dispositivo de cierre/apertura del almacenado permite no enviar aire frío almacenado hacia el intercambiador de calor más que a partir de una temperatura umbral de aire exterior predeterminada.

25 Así, de preferencia, el sistema comprende al menos una primera compuerta retráctil entre una posición cerrada en la cual cierra la fosa por la parte superior y una posición abierta en la cual abre la fosa por la parte superior.

De preferencia también, está prevista al menos una segunda compuerta que forma un faldón retráctil entre una posición cerrada en la cual conduce el aire procedente de la fosa hacia el intercambiador de calor y una posición abierta en la cual deja libre el espacio entre la fosa y el intercambiador de calor.

30 Para realizar el depósito de almacenado como tal, se pueden realizar ventajosamente las etapas siguientes:

- excavación para la realización de la fosa propiamente dicha;
- realización de al menos un conducto lateral para llevar el aire exterior hasta por debajo de la fosa;
- llegado el caso, refuerzo de las paredes por medio de hormigón;
- 35 - llegado el caso, colocación de una rejilla de distribución fluidica por debajo de la fosa;
- llenado de la fosa por un volumen de rocas;
- de preferencia, colocación de compuertas retráctiles;
- de preferencia, colocación de los ventiladores de circulación de aire exterior;
- 40 - llegado el caso, instalación de un sistema de drenaje en la parte inferior de la fosa de almacenado y eventualmente de una bomba de vaciado para la gestión y la evacuación de las aguas de lluvia y/o de la humedad que podrían acumularse en ella.

La invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de funcionamiento de la instalación que acaba de describirse, según el cual se realizan las etapas siguientes:

- i/ durante la noche, circulación de aire exterior en el depósito de almacenado térmico,
- 45 ii/ durante el día, en caso de temperatura exterior inferior a un valor umbral predeterminado, aislamiento fluidico del depósito,
- iii/ durante el día, en caso de temperatura exterior superior a un valor umbral predeterminado, puesta en circulación de aire exterior a través del depósito y luego alimentación del intercambiador de calor con aire que ha circulado por el depósito y por consiguiente refrigerado en contacto con el material.

50 Durante la fase de almacenado i/, el aire exterior refrigera el material de almacenado por transferencia convectiva.

Durante la fase de desalmacenado ii/, el aire caliente que circula desde el exterior por el depósito de almacenado se refrigera al contacto con el material y se vuelve así más frío que el aire exterior. Este aire más frío alimenta así el intercambiador de calor, lo cual permite un aumento de sus rendimientos térmicos.

Según una variante ventajosa, las etapas i/ y iii/ se realizan por convección forzada del aire exterior.

La invención se refiere igualmente a una central solar termodinámica (CSP), que comprende una instalación descrita anteriormente. Más generalmente, la invención se refiere, a cualquier instalación de producción eléctrica por conversión de calor y que funciona en países cálidos y cuyo rendimiento va en función de la temperatura exterior.

- 5 La invención se refiere por último a la utilización de una instalación descrita anteriormente en una región donde la diferencia de temperatura exterior entre la noche y el día es al menos igual a 10°C.

Descripción detallada

Otras ventajas y características de la invención se desprenderán mejor de la lectura de la descripción detallada de la invención realizada a título ilustrativo y no limitativo en referencia a las figuras siguientes entre las cuales:

- 10 - la figura 1 es una vista esquemática general de una central solar CSP ya explotada por la Firma solicitante;
 - la figura 2 es una vista esquemática simplificada de la central CSP según la figura 1;
 - la figura 3 es una vista esquemática del sistema de refrigeración del condensador de máquina térmica, según el estado de la técnica, tal como se utiliza en la central CSP de las figuras 1 y 2;
 15 - la figura 4 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de refrigeración del condensador de máquina térmica, según la invención;
 - la figura 5 es una vista esquemática simplificada de una central CSP con el sistema de refrigeración según la invención;
 - la figura 6 es un gráfico que indica las curvas características de potencia proporcionada por la central CSP según el estado de la técnica, ilustrado en las figuras 1 y 2, habiendo sido realizadas estas curvas en el transcurso de un día de otoño;
 20 - la figura 7 es un gráfico que indica las curvas características de la potencia suministrada por la central CSP según el estado de la técnica, ilustrada en las figuras 1 y 2, habiendo sido realizadas estas curvas en el transcurso de un día de verano y de mucho calor;
 - la figura 8 es un histograma comparativo de la producción eléctrica de una central CSP en el transcurso de un año, entre los datos reales de una central CSP ya explotada por la Firma solicitante, es decir con un sistema de refrigeración clásico y los calculados para la misma central CSP con un sistema de refrigeración según la invención;
 25 - la figura 9 es una curva que muestra la ganancia posible en electricidad producida con un sistema de refrigeración según la invención en función del volumen de almacenado del frío para el aerorrefrigerante;
 30 - la figura 10 es una vista esquemática de un ejemplo ventajoso de sistema de refrigeración del condensador de máquina térmica, según la invención.

En la descripción que sigue los términos «entrada», «salida», «río arriba», «río abajo», se utilizan en referencia con la dirección de circulación de los fluidos en el seno de una instalación según la invención.

- 35 Los términos «encima», «debajo», «inferior», «superior», son en cuanto a los mismos a considerar en referencia a la implantación en el suelo de un depósito de almacenado de frío según la invención.

En un intento de aportar claridad, los mismos elementos en una instalación 3 según el estado de la técnica y una instalación 3 según la invención están designados por las mismas referencias numéricas.

La central solar termodinámica (CSP) 1 que está representada esquemáticamente en la figura 1 es una central prototipo y es ya explotada por la Firma solicitante.

- 40 No se describirá aquí en detalle la parte 2 de la central 1 que realiza la producción de calor propiamente hablando. En resumen, esta parte 2 comprende dos grupos de pluralidades de espejos cilindro-parabólicos que forman lo que se designa usualmente por campos solares 20, 21. El fluido caloportador, que como se ha indicado en la figura 1 es el aceite, circula por un circuito 22 que aporta su energía a una instalación 3 de conversión del calor del aceite en electricidad al que se refiere más específicamente la invención.

- 45 Más precisamente, la máquina térmica 3 de conversión eléctrica es una máquina que funciona según un ciclo termodinámico llamado Ciclo Orgánico de Rankine (acrónimo inglés ORC).

- Esta máquina 3 comprende primeramente un circuito principal 3a con una turbina de expansión 30 que permite la producción eléctrica a partir de vapor, un evaporador 31 para recuperar calor procedente del circuito 22 y vaporizar el fluido de trabajo, que es un fluido frigorígeno en el ejemplo ilustrado de la figura 1, para enviarlo río arriba hacia la turbina 30 por mediación de una bomba 32 que pone en circulación el fluido de trabajo en el circuito 3a.
 50

Un condensador 33 está previsto río abajo de la turbina 30: su función es la de evacuar, por condensación, la energía no transformada por la turbina 30.

La condensación se hace posible en el condensador 33 por un circuito de refrigeración 3b expreso por el cual circula un líquido de refrigeración, también llamado fluido de transferencia, que es agua glicolada en el ejemplo ilustrado de

la figura 1. El agua glicolada es finalmente refrigerada por medio de un aerorrefrigerante seco 34 que integra un ventilador que le lleva aire del exterior. La circulación del líquido de refrigeración por el circuito 3b está asegurada por medio de una bomba 35.

5 En lugar de tener un circuito suplementario 3b con un fluido de transferencia expreso como se ha mostrado en la figura 1, se puede también tener un solo circuito de refrigeración 3a: constituyendo entonces el condensador 33 y el aerorrefrigerante 34 un solo y mismo componente, que es un aerocondensador seco, en el cual el vapor procedente de la turbina de expansión se condensa directamente.

10 Tras la consulta de los perfiles anuales típicos de temperatura en el lugar de implantación de esta central 1 CSP y de las necesidades usuales de refrigeración de la máquina térmica 3 ORC, el aerorrefrigerante 34 ha sido dimensionado durante la construcción para una potencia dada a una temperatura exterior de 25°C. Los casos de temperatura de aire exterior de 30°C y 35°C han sido respectivamente considerados como poco frecuentes y raros y no han sido por consiguiente inicialmente retenidos como dimensionante.

15 Ahora bien, finalmente, como han podido observar los inventores, la necesidad de refrigeración de la máquina térmica 3 ORC se ha mostrado superior a la inicialmente prevista y los casos de temperatura del aire exterior superior a los 30°C más importantes que se han considerado.

20 Así, por este motivo, ha sido observado que el aerorrefrigerante 34 instalado estaba subdimensionado para las horas más calientes en verano, cuando la máquina térmica 3 ORC gira a pleno régimen. En este caso, la potencia evacuable por el aerorrefrigerante disminuye, lo cual obliga a disminuir consecuentemente la potencia llevada al evaporador de la máquina de conversión eléctrica. Esto tiene por consecuencia fastidiosa obligar al equipo explotante a desfocalizar algunas líneas de espejos de los campos solares 20, 21, es decir a cambiar su orientación con el fin de no concentrar los rayos del sol sobre estas partes de campo solares 20, 21 en los periodos más calientes. Eso conduce por consiguiente a degradar el rendimiento de producción eléctrica de la central 1 ya que el pleno potencial de los campos solares 20, 21 no está disponible en estos momentos. La producción eléctrica efectiva de la máquina térmica 3 ORC es entonces reducida en comparación con la producción eléctrica teórica máxima, correspondiendo esta última al máximo de la producción eléctrica posible a la vista del único recurso solar disponible.

Para responder a esta problemática de pérdida de rendimiento de la central solar 1 CSP en las horas muy calurosas, que es inducida por la pérdida de rendimiento del aerorrefrigerante 34 directamente alimentado por el aire exterior, los inventores han pensado en realizar un depósito de almacenado del frío de la noche en un lecho de rocas 4, con el fin de restituirlo al aerorrefrigerante 34 en las horas de más calor.

30 Como se ha mostrado en la figura 4, el lecho de rocas se realiza en una fosa 40 dispuesta por debajo del aerorrefrigerante 34 que es alimentado en su parte inferior por aire exterior por al menos un conducto lateral. En esta figura 4, la forma preferida de la fosa 40 es igualmente mostrada: la fosa 40 tiene forma de pirámide truncada con la base dispuesta lo más profundo en el suelo.

35 Las figuras 6 y 7 ilustran dos situaciones típicas que son producidas respectivamente durante un día en otoño y durante un día de verano en el prototipo de central solar 1, tal como se ha ilustrado en las figuras 1 y 2.

En estas figuras, se representan las magnitudes siguientes:

- «Text»: temperatura del aire exterior, en °C;
- «P_CS»: potencia recuperable en el campo solar 20, 21 en un momento dado. Esta magnitud es independiente del funcionamiento de la máquina 3 ORC y del aerorrefrigerante 34;
- 40 - «Pelec ORC»: potencia eléctrica proporcionada por la máquina 3 ORC sobre la base de P_CS y de un aerorrefrigerante 34 no limitado. Este valor corresponde por consiguiente a la potencia eléctrica máxima que es posible generar en un momento dado;
- «P_{cond ORC}»: potencia que es necesario disipar en el condensador 33 de la máquina 3 ORC cuando esta es alimentada con P_CS en su evaporador 31;
- 45 - «Paéro max»: potencia máxima del aerorrefrigerante 34 en función de las condiciones de temperatura exterior.

Se precisa aquí que las potencias indicadas «P_CS», «Paéro max» y «P_{cond ORC}» han sido adimensionadas con el valor de la potencia máxima teórico recuperable en el campo solar 20, 21. La potencia «Pelec ORC» en cuanto a la misma ha sido adimensionada con el valor de la potencia eléctrica teórica máxima producida por la máquina 3 ORC.

50 Como se puede apreciar en la figura 6, para el día en otoño, la temperatura del aire exterior era de 28°C aproximadamente y el aerorrefrigerante 34 funcionaba ya en régimen degradado, lo cual corresponde a la potencia máxima disminuida. Sin embargo, la potencia llevada a la máquina 3 ORC y procedente de los campos solares 20, 21 es relativamente media, si bien la necesidad de refrigeración de la máquina 3 ORC (P_{cond ORC}) es inferior a las capacidades del aerorrefrigerante 34 (Paéromax). En estas condiciones, no hay necesidad de utilizar el almacenado del frío como según la invención.

Al contrario, como se ha mostrado en la figura 7, durante el día de verano, la temperatura exterior sobrepasa los 35°C al mediodía y la potencia llevada a la máquina 3 se aproxima al valor nominal. En estas condiciones, el aerorrefrigerante 34 que ha sido inicialmente instalado y que es alimentado directamente por el aire exterior es claramente insuficiente para responder a las necesidades de refrigeración de la máquina 3, pues Paéromax<PcondORC. Dicho de otro modo, durante el periodo D representado en la figura 7, la potencia que puede ser evacuada por el condensador 33 es inferior a la potencia efectivamente requerida, debido a las temperaturas demasiado elevadas. Como ya se ha mencionado, la única solución actual para evitar la parada de la máquina 3 como consecuencia de una refrigeración insuficiente del condensador 33 es desfocalizar los espejos de los campos solares 20, 21 para disminuir el aporte de calor Pcs en la máquina 3. Por este motivo, se observa que la producción eléctrica efectiva cae entonces al 59% de la producción eléctrica potencial.

El aporte de un volumen de almacenado frío según la invención permite disminuir la temperatura del aire a la entrada del aerorrefrigerante 34 durante las horas más calurosas y aumentar los rendimientos del aerorrefrigerante 34.

Para probar la eficacia del almacenado del frío y su restitución en el aerorrefrigerante 34 conforme a la invención, los inventores han realizado cálculos con las hipótesis siguientes:

- capacidad de almacenado de las rocas: $\rho \cdot C_p = 2500 \cdot 900$ en J/m³.K;
- diferencia de temperatura entre el día y la noche de 15°C aproximadamente durante 10 h de la noche. Estos valores proceden de archivos de medición meteorológicas realizados por la Firma solicitante en el lugar de la instalación de la central. Se considera por consiguiente que el lecho de rocas 4 puede ser refrigerado por la noche hasta una temperatura de 15°C inferior a la temperatura máxima del día;
- la puesta en servicio del almacenado del frío desde el lecho de rocas 4 es servomandada a una temperatura límite predeterminada del aire exterior y una previsión del rendimiento de los campos solares 20, 21. Por debajo de una temperatura del aire exterior inferior a este valor límite predeterminado, la restitución del frío almacenado en el lecho de rocas 4 no se pone en funcionamiento. Por encima de este valor predeterminado límite, la restitución se pone en funcionamiento, es decir el aire que alimenta el aerorrefrigerante 34 circula desde el exterior y es refrigerado pasando por el volumen 4.

Los inventores han calculado así que, para un día de verano como el ilustrado en la figura 7, un volumen de 107 m³ de rocas 4 para almacenar el frío permite subir la producción eléctrica efectiva al 82% de la producción eléctrica potencial, mientras que un volumen de 200 m³ permite hacerla subir al 92% y un volumen de 300 m³ permite hacerla subir al 100%.

La figura 8 muestra bajo la forma de un histograma comparativo la producción eléctrica en el prototipo de central 1 CSP respectivamente tal como actualmente (estado de la técnica) y con un volumen de rocas 4 como almacenado del frío de 107 m³. En esta figura 8, se representan las magnitudes siguientes:

- «E élec max» que corresponde a la producción eléctrica máxima posible durante un periodo de tiempo dado (aquí mensualmente). La misma se calcula a partir de la potencia llevada por los campos solares 20, 21 y sin limitación de la potencia del aerorrefrigerante 34;
- «E élec sin almacenado frío» que corresponde a la producción eléctrica efectiva procedente de la máquina 3 ORC durante un periodo de tiempo dado (aquí mensualmente). No existe almacenado del frío como según la invención y los rendimientos del aerorrefrigerante 34 están por consiguiente únicamente relacionados con la Text;
- «E élec con almacenado frío» que corresponde a la producción eléctrica efectiva procedente de la máquina 3 ORC durante un periodo de tiempo dado (aquí mensualmente) con el volumen de rocas para el almacenado del frío del orden de los 107 m³.

Se precisa que las energías eléctricas presentadas en la figura 8 han sido adimensionadas con el valor mensual máximo de la energía eléctrica producida mensualmente.

Se desprende de esta figura 8, que el almacenado del frío en el lecho de rocas 4 y su restitución muestra un interés para los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, correspondientes respectivamente a los meses indicados 6, 7, 8 y 9 en la figura 8.

Generalmente, sin volumen de almacenado del frío, la producción eléctrica anual es igual al 89% de la producción eléctrica anual máxima.

Con un volumen 4 de almacenado del frío de 107 m³ según la invención, este valor sube al 96%.

La figura 9 presenta la evolución de la producción eléctrica anual en función del volumen 4 de rocas que se dedica al almacenado del frío según la invención.

Un volumen 4 de 300 m³ aproximadamente permite subir al 100% la producción eléctrica máxima.

Un óptimo técnico-económico está por definir entre el volumen 4 de almacenado del frío y la ganancia en producción eléctrica. En general, un dimensionamiento al punto más elevado no hay que considerarlo, es decir que el

dimensionado acepta que el sistema esté subdimensionado para algunas horas anuales de temperaturas extremas. En el caso del prototipo de central 1, ilustrado en la figura 1 un volumen de 107 m³ parece ser un buen compromiso. Este dimensionado se realiza entonces para un día típico de mucho calor, pero no de calor extremo. En este último caso, la instalación 3 funcionará en régimen degradado, pero a pesar de todo menos degradado que en la ausencia de volumen 4 de almacenado del frío.

Como se muestra en la figura 4, una implantación ventajosa de la fosa 40 llena de rocas 4 ha sido calculada para el prototipo de central CSP 1.

Según estos cálculos, el lecho de rocas 4 está posicionado en una fosa 40 con una forma de pirámide truncada cuya sección de la parte alta es de 7,6 m² y la sección de la base es de 11,38 m². La altura del lecho de rocas 4 es de 11,4 m aproximadamente.

En la figura 10 se ha representado igualmente un ejemplo ventajoso de depósito 4 de almacenado del frío a partir de rocas que llenan una fosa 40 con la misma forma truncada hacia lo alto de la figura 4.

En este ejemplo, se prevé ventajosamente una rejilla de distribución 41 por debajo de la fosa 40 con el fin de mejorar la distribución fluidica a través de las rocas y por consiguiente mejorar el comportamiento térmico del almacenado.

En este ejemplo igualmente, se prevé una primera compuerta 5 retráctil entre una posición cerrada en la cual cierra la fosa 40 por la parte superior y una posición abierta en la cual abre la fosa por la parte superior.

Además, se prevé al menos una segunda compuerta 50 que forma un faldón retráctil entre una posición cerrada en la cual conduce el aire procedente de la fosa 40 hacia el aerorrefrigerante 4 y una posición abierta en la cual deja libre el espacio entre la fosa 4 y el aerorrefrigerante 34. Así, este sistema de compuerta 5 y faldón 50 retráctiles permite aislar el depósito 4 del aerorrefrigerante 34 o al contrario conectarlos entre sí.

Finalmente, se prevé ventajosamente al menos uno, de preferencia varios ventiladores 43 que asegura(n) la circulación del aire exterior en el lecho de rocas 4 de bajo en alto. Diferentes implantaciones del (de los) ventilador(es) se puede considerar: puede(n) ser por ejemplo posicionado(s) como se ha ilustrado en la figura 10, es decir al aire libre o bien enterrados.

En este ejemplo ventajoso, los modos de funcionamiento del aerorrefrigerante 34 son típicamente los siguientes:

1. Funcionamiento del aerorrefrigerante 34 en caso de temperatura exterior inferior al valor límite predeterminado:
 - a. ventilador de circulación 43 apagado;
 - b. compuerta 5 y faldón 50 en configuración para aislar el volumen 4 y permitir al aerorrefrigerante 34 bombear directamente el aire exterior.
2. Carga nocturna del volumen 4 de almacenado en frío;
 - a. Apertura de la compuerta retráctil 5 para permitir al aire circular por el lecho de rocas 4.
 - b. Puesta en funcionamiento de los ventiladores 43 que generan que generan una circulación del aire desde el exterior a través del lecho de rocas 4 de bajo en alto. Al término de esta etapa 2.b/, el almacenado frío está lleno. En esta etapa 2.b/, la velocidad del aire es típicamente de algunos cm por segundo. La carga se detiene típicamente cuando el depósito de almacenado está lleno, lo cual puede ser fácilmente realizado por medio de una instrumentación sencilla de medición de temperatura en el depósito (tipo termopar por ejemplo). Por ejemplo, cuando la medición de temperatura en la parte alta del depósito alcanza un valor de consigna predeterminado, el depósito puede ser considerado como lleno.
3. Descarga diurna del volumen frío en el lecho de rocas 4 en el aerorrefrigerante 34 en caso de temperatura exterior superior al valor límite predeterminado:
 - a. Compuerta 5 y faldón 50 en configuración para conexión del volumen 4 con el aerorrefrigerante 34.
 - b. Puesta en funcionamiento de los ventiladores 43.

Es evidente que durante las etapas 1, y 3, el aerorrefrigerante 34 funciona pues la central CSP está en funcionamiento, es decir produce electricidad por la turbina de la cual es preciso evacuar el calor.

Entre las etapas 2 y 3, es posible dejar un tiempo de espera de algunos días, si no hay necesidad de utilizar el almacenado del volumen frío 4.

Los inventores también han estudiado el caso de una central solar CSP de tamaño comercial que se instalaría en Marruecos en el lugar de Ouarzazate para evidenciar la eficacia de la solución según la invención.

Para este caso de estudio, una máquina 3 ORC de 5 MWe ha sido considerada. Esta máquina ORC es similar a una máquina comercializada bajo la denominación «Turboden 55HRS». En particular, se ha considerado una «temperatura de corte» de 40°C, es decir que eso vuelve a considerar que la máquina 3 ORC no funciona cuando la temperatura exterior sobrepasa los 40°C.

5 Por la publicación [1], el aerorrefrigerante está clásicamente dimensionado de tal modo que los 1% de las horas más calurosas del año no son tenidas en cuenta, es decir que el aerorrefrigerante está subdimensionado para éste 1% de horas más calurosas y que la central funcionará forzosamente en régimen degradado en estas horas. En el caso de estudio aquí considerado, eso corresponde a aproximadamente un dimensionamiento para una temperatura exterior de 35°C.

Para mostrar el interés de la invención, un caso particular con aerorrefrigerante dimensionado en funcionamiento nominal para una temperatura del aire exterior de 35° C ha sido considerado. En cuanto que la temperatura exterior sobrepasa los 35° C, los rendimientos del aerorrefrigerante se degradan y la producción eléctrica se reduce.

10 Los cálculos han sido realizados para el caso particular de un día de calor muy fuerte, incluso si el mismo no puede ser considerado como un día de calor excepcional.

Para este día, la producción eléctrica efectiva cae al 36% de la producción eléctrica máxima debido a una parada de la máquina 3 debido a las temperaturas exteriores demasiado elevadas.

15 Aprovechando una diferencia de 15° C entre el día y la noche durante un tiempo de noche de 8-10 h, la integración de un volumen 4 de 5300 m³ para el almacenado del frío de la noche, permite llevar de nuevo la producción eléctrica efectiva a cerca del 95% de la producción máxima.

Un mismo análisis ha sido realizado en un día caracterizado por temperaturas máximas más bajas. Para este día, los rendimientos degradados del aerorrefrigerante conducen a una degradación de la producción eléctrica. El aporte de un volumen 4 de almacenado frío de 2000 m³ permite subir la producción eléctrica del 84% al 100% de la producción máxima.

20 En este caso de estudio, parece por consiguiente que el aerorrefrigerante puede, si está acoplado con un depósito 4 de almacenado del frío de volumen suficiente, ser dimensionado para una temperatura exterior máxima más baja, lo cual induce una reducción significativa del tamaño y por consiguiente del coste.

25 En este caso de estudio, el lecho de rocas 4 tiene un volumen útil del orden de los 5300 m³, o sea una fosa cilíndrica 40 de superficie correspondiente a la de los aerotermos y de 9 m de altura aproximadamente. Se precisa de nuevo que este cálculo está basado en datos técnicos del constructor de aerorrefrigerante como consecuencia de las consultas por los inventores para aerorrefrigerantes para una central CSP de idéntico tamaño que el considerado en este ejemplo.

El paso de una diferencia de temperatura entre día y noche de 15°C a 20°C permite reducir los volúmenes 4 precedentes de almacenado del frío respectivamente de 5000 m³ a 3700 m³ y de 2000 m³ a 1500 m³.

30 Aunque descrita en relación con una central solar CSP, la invención puede aplicarse a cualquier instalación de conversión de calor en electricidad y más generalmente a cualquier instalación de conversión de calor en energía mecánica. Por ejemplo, se puede considerar aplicar la invención a un captador solar de forma parabólica en el foco del cual se coloca un motor tipo Stirling, permitiendo el sistema de refrigeración de la invención refrigerar el fluido de trabajo del motor en las horas más calurosas y por consiguiente aumentar su rendimiento. Otro ejemplo sería la
35 integración de la invención para la refrigeración de células fotovoltaicas de una central solar de tipo CPV (de concentración fotovoltaica) cuyos sistemas de refrigeración son sometidos a las mismas obligaciones que los de las centrales solares de tipo CSP. Otras variantes y mejoras pueden estar previstas sin salirse por ello del marco de la invención.

40 Así, si el material de almacenado preferido para la aplicación de la invención en una central solar es un lecho de rocas pues las rocas pueden estar presentes in situ en el lugar de la central y esto de forma abundante, otros materiales de almacenado por calor sensible pueden convenir. De forma general, se considerarán materiales poco costosos y disponibles, tales como desechos cerámicos, ladrillos, rodamientos de bolas usados.

La invención no está limitada a los ejemplos que acaban de describirse; se pueden particularmente combinar entre sí características de los ejemplos ilustrados dentro de variantes no ilustradas.

45 La expresión «que comprende uno» debe ser entendida como siendo sinónima de «que comprende al menos uno», salvo si se especifica lo contrario.

Referencias citadas

[1] Kevin Damerou and al. «Costs of reducing water use of concentrating solar power to sustainable levels: Scenarios for North Africa», Energy Policy, 2011

50 [2] «Comparison of alternate cooling technologies for California power plants, Economics, environmental and other tradeoffs», California Energy Commission, Febrero 2002

[3] «Realising the potential of concentrating solar power in Australia», IT power, Mayo 2012

[4] C. Martin and al. «*Novel Dry Cooling Technology for Power Plants*», SunShot Concentrating Solar Program Review 2013

[5] V. Gadhamshetty and al. «*Improving Air-Cooled Condenser Performance in Combined Cycle Power Plants*», Journal of Energy Engineering ASCE, Agosto 2006

5 [6] Lorenzo Pistocchini and al. «*Feasibility Study of and Innovative Dry-Cooling System with Phase-Change Material Storage for CSP Multi-MW Size Power Plant*», Journal of Solar Energy Engineering, Agosto 2011.

REIVINDICACIONES

1. Instalación de conversión de calor en energía mecánica que comprende:
 - una máquina térmica (3) apta para someter un fluido de trabajo a un ciclo termodinámico, comprendiendo la máquina térmica una turbina de expansión de vapor de fluido de trabajo;
 - 5 - un sistema de refrigeración del vapor expandido del fluido de trabajo de la máquina térmica, que comprende un aerocondensador (33) y/o un aerorrefrigerante (34) y un depósito de material de almacenado térmico por calor sensible (31), como medio de almacenado del frío para el aerocondensador y/o el aerorrefrigerante, siendo el depósito apto para ser puesto en comunicación con el aire exterior durante horas donde la temperatura exterior es la más fría con el fin de almacenar el frío del aire exterior por circulación de este último a través del material de almacenado,
 - 10 caracterizado por que el depósito se realiza en forma de una fosa (40) en el suelo dispuesta por debajo del intercambiador de calor, estando la fosa conectada con el aire exterior por al menos un conducto.
2. Instalación según la reivindicación 1, siendo la máquina térmica una máquina de ciclo orgánico de Rankine (ORC).
3. Instalación según una de las reivindicaciones 1 o 2, siendo el depósito un lecho de rocas (4).
4. Instalación según una de las reivindicaciones anteriores, siendo la fosa en forma de pirámide truncada con la base dispuesta lo más profundo en el suelo.
- 15 5. Instalación según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende una rejilla de distribución fluídica (41) dispuesta por debajo de la fosa, siendo el(los) conducto(s) una(s) manguera(s) de traída de aire exterior por debajo de la rejilla de distribución.
6. Instalación según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende uno o varios ventiladores adaptados para hacer circular el aire exterior en la fosa por el(los) conducto(s).
- 20 7. Instalación según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos una primera compuerta retráctil (5) entre una posición cerrada en la cual cierra la fosa por la parte superior y una posición abierta en la cual abre la fosa por la parte superior.
8. Instalación según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos una segunda compuerta (50) que forma un faldón retráctil entre una posición cerrada en la cual conduce el aire procedente de la fosa hacia el intercambiador de calor y una posición abierta en la cual deja libre el espacio entre la fosa y el intercambiador de calor.
- 25 9. Central solar (1) termodinámica (CSP), que comprende una instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 30 10. Utilización de una instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en una región donde la diferencia de temperatura exterior entre la noche y el día es al menos igual a 10°C.

Fig.1 (ESTADO DE LA TÉCNICA)

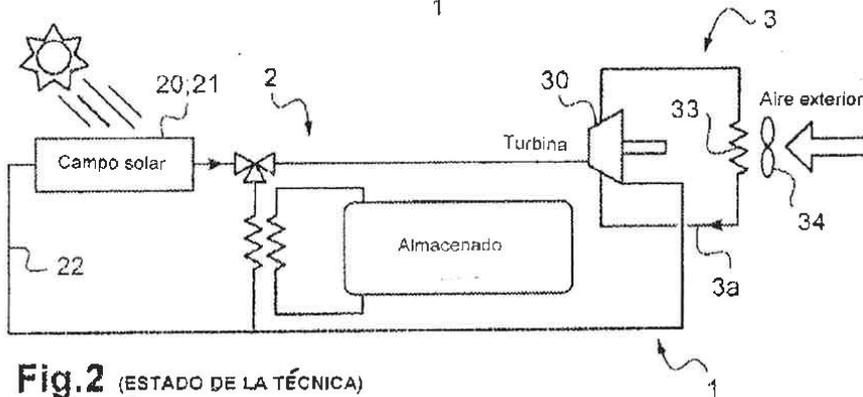
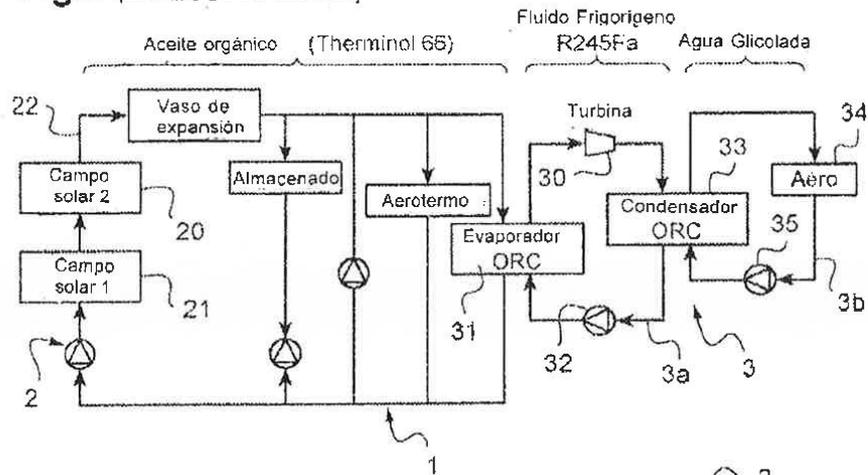


Fig.2 (ESTADO DE LA TÉCNICA)

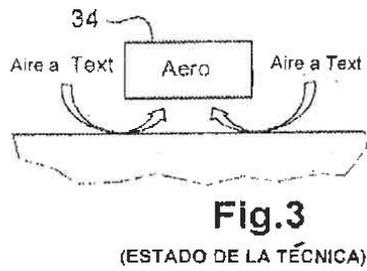
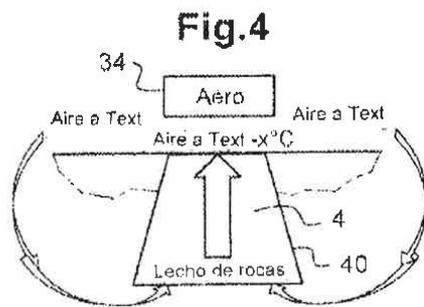


Fig.3
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

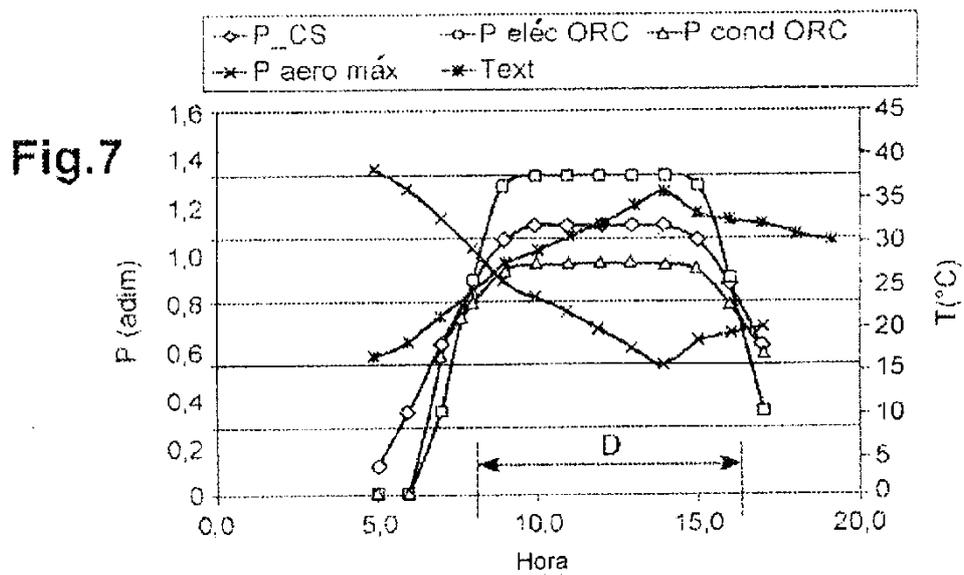
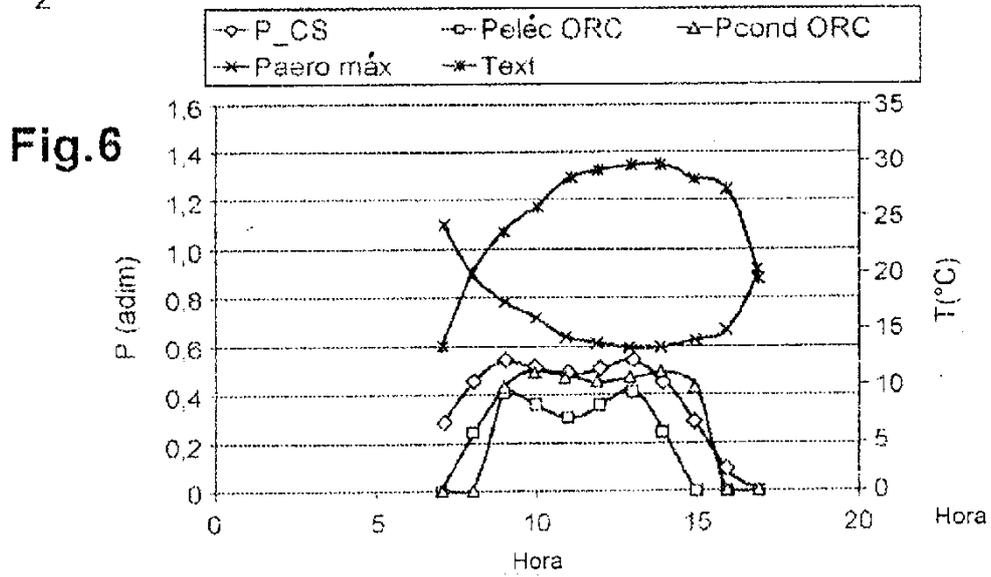
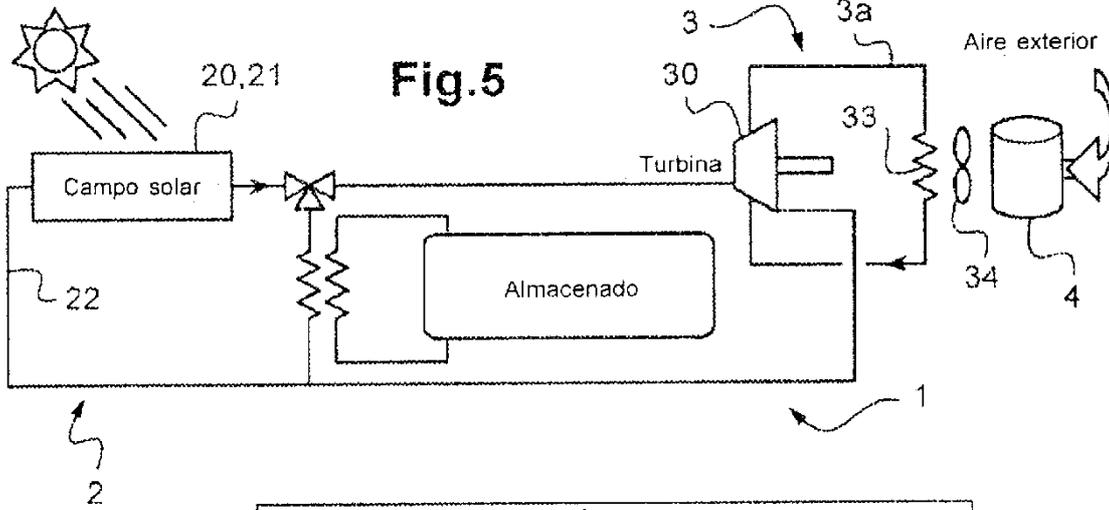


Fig.8

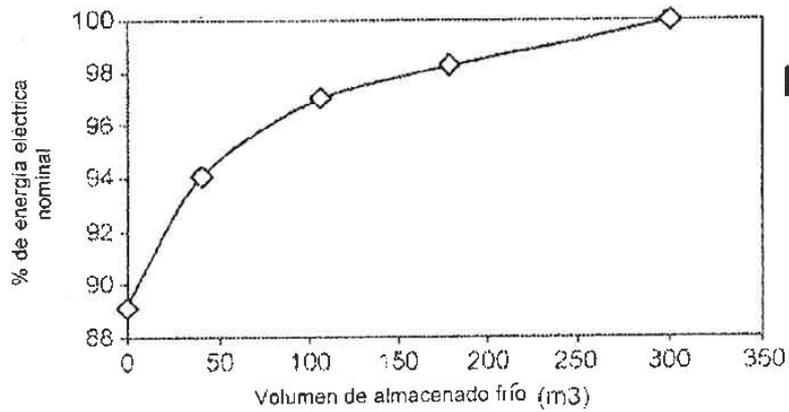
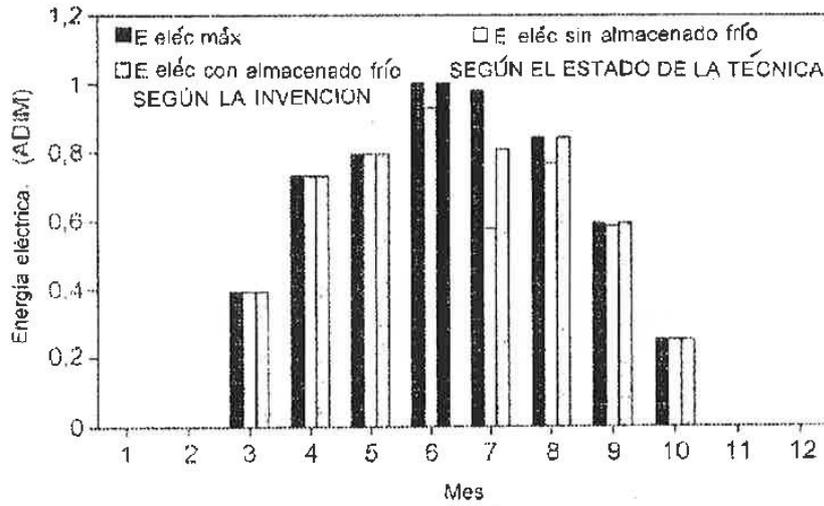


Fig.9

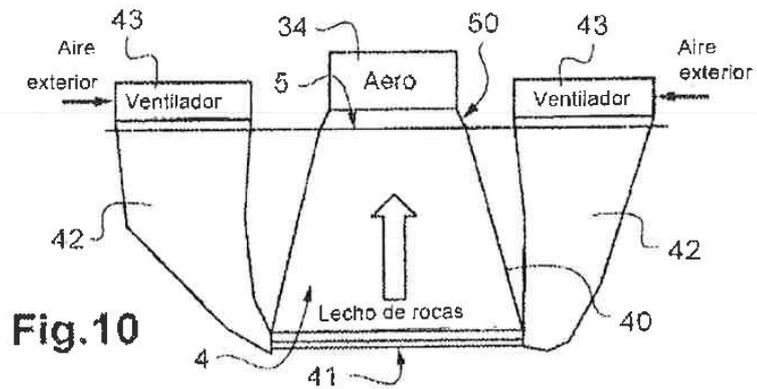


Fig.10