

RECEPTOR DE RADIACIÓN SOLAR

DESCRIPCIÓN

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención divulga un receptor de la radiación solar, de aplicación en la conversión de energía solar en energía térmica y eléctrica. Su uso resulta de interés relevante en la industria de producción de energía.

10 PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER. ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente existen tres grandes tecnologías de aprovechamiento de la energía solar para su conversión en energía térmica y eléctrica: receptores cilíndrico-parabólicos, sistemas de torre con campo de heliostatos, y discos parabólicos. La presente invención se centra en esta última tecnología, en la que la radiación solar incide en un paraboloide (un “disco parabólico”, que normalmente es un paraboloide de sección circular), en cuyo foco se sitúa una máquina térmica. Esa máquina térmica es, habitualmente, un motor Stirling perfeccionado (descrito inicialmente por Robert Stirling en su patente de 1816, véase el documento GB 4081 A.D. 1816) que trabaja entre un foco caliente (un receptor de la radiación solar) y un foco frío. La energía mecánica que produce el motor Stirling o equivalente acciona un alternador que genera energía eléctrica.

Como ya se ha indicado, en los sistemas con discos parabólicos la radiación solar se recibe en el receptor. Dicho receptor calienta un gas de trabajo que acciona el motor térmico. Para una energía térmica determinada, aumentar el rendimiento del receptor supone incrementar la temperatura del gas de trabajo y, consecuentemente, acrecentar el rendimiento del motor. Ello hace que el rendimiento total de la máquina sea mayor.

Los motores Stirling que se han utilizado en estas aplicaciones solares han empleado receptores formados por un haz tubular, que se ubica enfrentado al eje del paraboloide. Sin embargo, en esta configuración la superficie mojada por la energía térmica procedente del concentrador (el disco parabólico) es solamente un porcentaje de la proyección del concentrador. Además, los haces tubulares que se utilizan en el estado de la técnica son dispositivos que se componen de múltiples piezas, que están soldadas entre sí y al colector. Este

tipo de construcción con soldadura genera con cierta frecuencia problemas de tensión mecánica cuando el dispositivo se somete a ciclos térmicos, lo que se traduce en numerosas ocasiones en fatiga del material y su posterior rotura. Por otro lado, es habitual que estos dispositivos que siguen el ciclo Stirling
5 utilicen hidrógeno como fluido de trabajo para mejorar su rendimiento. Dado que el H_2 arde en contacto con el aire, las configuraciones que se dan en el estado de la técnica actual implican un riesgo de incendio y explosión.

Para resolver los problemas anteriormente señalados, la presente invención propone un receptor solar (que en algunas configuraciones es plano
10 y en otras no), que aprovecha la totalidad de la superficie proyectada del concentrador, con lo que el área mojada es máxima. Además, su construcción es más robusta y segura que la del haz tubular que se viene empleando hasta ahora como solución habitual, pues se evitan los problemas asociados a las uniones por soldadura de los distintos componentes que en la actualidad se
15 presentan.

En el estado de la técnica actual se conocen diversas configuraciones de receptores solares asociados a motores de Stirling. Así, el documento GB 2296047 A1 describe un motor Stirling con un cigüeñal sobre el que se monta una estructura que lleva asociada una serie de diafragmas flexibles que definen
20 cámaras de trabajo, frías y calientes, en las que evoluciona el fluido de trabajo. El documento CN 201433829 Y divulga un absorbedor de calor en cavidad para el motor Stirling de un dispositivo solar, con canales en forma de U. Sin embargo, no se conoce dispositivo alguno con las características específicas que posee la presente invención.

25

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención que se describe divulga un receptor de radiación solar, que tiene unos colectores de entrada y salida, y una serie de conductos que van del colector de entrada al de salida por los que circula un fluido de trabajo que se
30 calienta al recibir la radiación solar. El receptor comprende: a) un estrato superior sobre la que incide la radiación solar; b) al menos un estrato intermedio, situado bajo el estrato superior, en el que se encuentran los conductos por los que circula el fluido de trabajo; y c) un estrato inferior, situado bajo el, al menos, estrato intermedio, en el que se acoplan los colectores de
35 entrada y de salida del fluido de trabajo. La construcción del dispositivo se

realiza de manera que el estrato superior, el al menos un estrato intermedio y el estrato inferior, forman una sola pieza.

Los conductos por los que circula el fluido de trabajo tienen bien una sección triangular, o rectangular con los extremos redondeados, o elíptica, o poligonal regular, o circular, o bien combinaciones de dos de las anteriores geometrías citadas.

Cuando en el receptor existe más de un estrato intermedio, cada uno dichos estratos intermedios dispone en su interior de conductos por los que circula el fluido de trabajo.

Los conductos que se encuentran en el(los) estrato(s) intermedio(s) se disponen trazados como un laberinto, recorriendo toda la superficie mojada de el(los) estrato(s) intermedio(s) del receptor.

La dicha pieza de la que está hecha el receptor es una aleación que soporta altas temperaturas, superiores a 600 °C, del tipo acero, acero inoxidable o aleaciones tipo Inconel® o Hastelloy®.

El receptor puede configurarse en distintas configuraciones geométricas. Algunas de estas configuraciones son: una geometría circular o de sector circular, de semicono hueco, de semiesfera hueca, o como la mitad de un poliedro hueco.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La invención se comprende fácilmente a la vista del contenido de la descripción considerada conjuntamente con las figuras, en las que se emplean referencias numéricas para reflejar los distintos elementos que integran la invención.

- La figura 1 es una vista esquemática de un motor térmico de combustión externa de aplicación en dispositivos heliotérmicos con discos parabólicos.
- La figura 2 es una vista en perspectiva de un receptor, en su configuración plana, con una sección parcial en la que se aprecian los conductos por donde circula el fluido de trabajo.
- La figura 3 es un detalle de la sección del receptor, en la que se representan las distintas configuraciones de los conductos.
- La figura 4 muestra otras configuraciones alternativas a un receptor plano, como un receptor en forma de semicono (figura 4A), en forma de

semiesfera (figura 4B) o en forma de la mitad de un poliedro regular (figura 4C) como puede ser un dodecaedro.

A continuación se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las figuras que integran la invención: 1 = radiación solar (directa o reflejada); 2 = receptor; 3 = motor térmico acoplado al disco parabólico; 4 = alternador; 5 = estrato superior; 6 = estrato intermedio; 7 = estrato inferior; 8 = conductos; 9 = colectores de entrada y de salida del fluido de trabajo; a = semieje menor de la elipse; b = semieje mayor de la elipse; c = radio; d = espesor del estrato superior; e = espesor del estrato intermedio; f = espesor del estrato inferior; m = lado del polígono; r = radio del círculo; t = base del conducto; l = lados del conducto; v = vértice del conducto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Como ya se ha indicado, y tal y como puede apreciarse en la figura 1, la invención consiste en receptor solar de aplicación en discos parabólicos heliotérmicos que emplean motores de combustión externa. Un motor Stirling o equivalente (3) se ubica en el foco de un disco parabólico (no representado); el motor térmico (3) cuenta con un receptor (2) de la radiación solar (1), con una serie de canalizaciones por los que evoluciona un fluido de trabajo (habitualmente H_2) y un conjunto de enfriadores-regeneradores. Todos estos elementos están montados sobre una base del motor tal y como se conoce en el estado de la técnica, por lo que no han sido representados en la figura 1. Habitualmente cada conjunto cilindro del motor térmico (3) tiene asociado un enfriador, un regenerador y un receptor (2); en este caso, el receptor (2) tiene una configuración "plana" en forma de disco o círculo, si bien también son posibles otras configuraciones como se describe a lo largo de la memoria.

El fluido de trabajo que evoluciona en el motor térmico (3) llega al receptor solar (2) cuando se ha completado un ciclo del motor térmico (3); así, y debido a los procesos de transmisión de calor que se dan en el receptor (2) al recibir la radiación solar (1), el fluido de trabajo aumenta su entalpía y pasa a evolucionar a continuación en el motor térmico (3) Stirling. El fluido de trabajo se expande en el motor térmico (3), proporcionando el movimiento del cigüeñal u otro mecanismo equivalente (no representando), que acciona un alternador (4) produciendo de este modo energía eléctrica. Por tanto, la finalidad del receptor (2) es aumentar la entalpía del fluido de trabajo que

evoluciona cíclicamente en el motor térmico (3) para producir electricidad a través del alternador (4).

El receptor (2) recibe la radiación solar (1) por reflexión en la superficie interior de la parábola, puesto que dicho receptor (2) queda ubicado en el foco del disco parabólico (no representado), y orientado hacia el paraboloide. Por tanto, la radiación solar (1) que llega al disco parabólico se concentra en su foco, calentado al receptor (2) de forma uniforme. Alternativamente, la radiación puede llegar al receptor a través de lentes de concentración tipo Fresnel o similar.

La figura 2 representa una vista del receptor (2), al que se ha hecho una sección en uno de sus cuartos, sección que a su vez ha sido cortada a lo largo de un plano AA para visualizar así unos conductos (8) por los que circula el fluido de trabajo que se calienta en el receptor (2) y que luego evoluciona en el motor térmico (3) tipo Stirling o equivalente. El receptor (2) dispone de una serie de colectores (9) por los que entra y sale el fluido de trabajo. Inicialmente, el fluido de trabajo procedente del motor Stirling (3) llega a uno de los colectores de entrada (9), circula por los conductos (8) del receptor (2), calentándose debido a la incidencia de la radiación solar (1) sobre el receptor (2). Una vez que ha recorrido la trayectoria que describe el conducto (8), el fluido de trabajo abandona el receptor (2) dirigiéndose al motor Stirling (3) a través del correspondiente colector (9) de salida, evolucionando dicho fluido de trabajo en el motor (3).

El receptor (2) es un elemento de una sola pieza, si bien dada su estructura es posible hacer una hipotética discretización en tres capas o estratos, tal y como se aprecia en la figura 2 y, con mayor detalle, en la figura 3. Hay un primer estrato superior (5) cuya parte exterior es la que recibe la radiación solar (1), ya que dicha parte exterior es la superficie del receptor (2). Dicho estrato superior (5) tiene un espesor "d". Bajo el primer estrato superior (5) hay, al menos, un estrato intermedio (6), de espesor "e", aunque otras formas de realización pueden incluir más de uno de dichos estratos intermedios (6). En cualquier caso, todos y cada uno de los estratos intermedios (6) disponen de conductos (8) por los que evoluciona el fluido de trabajo que se dirige al motor Stirling (3). Con objeto de proporcionar una mayor claridad a la invención, en las figuras 2 y 3 sólo se ha representado un único estrato intermedio (6). Bajo el estrato intermedio (6) se dispone finalmente un estrato

inferior (7), de espesor "f".

Esquemáticamente, el procedimiento de transmisión de calor es el siguiente. La radiación solar (1), al incidir sobre la superficie del receptor (2), hace que éste se caliente; así, se produce una transmisión de calor por conducción a lo largo del estrato superior (5). Dicha transmisión por conducción se realiza seguidamente hacia el resto de los elementos del receptor (2): a lo largo de los estratos intermedios existentes (6), al estrato inferior (7), y hacia los conductos (8). Por tanto, el fluido de trabajo que evoluciona en los conductos (8) aumenta su entalpía por la transferencia de calor que ahora recibe por convección y, en menor parte, también por radiación. La forma de los conductos (8) a lo largo del estrato(s) intermedio(s) (6) es de tipo laberíntico, para aumentar su recorrido respecto la superficie mojada del receptor (2) y así optimizar la transferencia de calor. Por tanto, la mayor parte de la transferencia de calor se produce desde todos los estratos (5, 6, 7) hacia el fluido que circula por los conductos (8). Aún así, parte del calor se sigue transmitiendo hacia la zona del estrato inferior (7). Como saben los expertos en la materia, se producen otros fenómenos de transmisión de calor por radiación y convección a la atmósfera a lo largo de toda la superficie del receptor (2), si bien dichos procesos pueden considerarse menos relevantes que la transmisión de calor desde los diferentes estratos (5, 6, 7) al fluido que circula por los conductos (8).

Las figuras 2 y 3 muestran (ésta con más detalle que aquella) las posibles formas de realización de la geometría de los conductos (8). Con idea de hacer una descripción simplificada se han representado (figura 3) cinco formas de realización de la sección de los conductos (8). Estas formas son: A, triangular; B, rectangular con los extremos redondeados; C, elíptica; D, poligonal regular; y E, circular. La sección A presenta forma de triángulo (normalmente isósceles), con una base (t) y unos lados (l) que convergen en un vértice (v), apuntando hacia el estrato inferior (7). La sección B tiene forma rectangular, de lado "e", el espesor del estrato intermedio (6), si bien los extremos aparecen rematados con un semicírculo de radio "c". La sección C es una elipse de semieje menor "a" y semieje mayor "b". La sección D es un polígono regular de lado "m"; en el caso de la figura 3, se ha representado un octógono regular. La sección E es un círculo de radio "r". La experiencia ha demostrado que estas geometrías de los conductos (8) son las más apropiadas

en función de diversos parámetros físicos del fluido de trabajo, como el número de Reynolds, la velocidad, su presión y su temperatura.

En los dispositivos realizados sólo se da alguna de las cinco configuraciones (A, B, C, D, ó E) que aparecen en las figuras 2 y 3, o combinaciones de ellas, por ejemplo, medio conducto poligonal y medio circular, u otras posibles combinaciones basadas en las configuraciones A, B, C, D, ó E. En la figura 3 se han representado todas las configuraciones de partida sobre un mismo receptor para mostrar las posibles alternativas, pero debe entenderse que para un receptor (2) dado, la geometría de los conductos (8) es sólo una de las opciones A a E expuestas (o combinaciones de ellas).

Experimentalmente se ha comprobado que la mejor opción para fabricar el receptor (2) es mediante un proceso de fabricación aditiva. De esta manera se consigue que el estrato superior (5), el(los) estrato(s) intermedio(s) (6) y el estrato inferior (7) estén fabricados en una sola pieza; dicha pieza es, preferentemente, de una aleación que soporta altas temperaturas, superiores a 600 °C. Experimentalmente se ha comprobado que materiales adecuados para soportar estas cargas térmicas son el acero, acero inoxidable o aleaciones tipo Inconel® o Hastelloy®.

Es posible realizar distintas configuraciones del receptor solar (2) que se ha descrito, en algunas ocasiones manteniendo la geometría de disco explicada, o bien con otras formas geométricas como se describe más tarde. Si se utiliza una geometría de disco, es posible configurar el receptor solar (2) bien como un círculo completo o bien como sectores circulares, tipo un cuarto de sector circular, un octavo de sector circular u otros submúltiplos. Así, el receptor solar que se ve en la figura 2 puede ser válido en su conjunto para un motor Stirling (3), o bien puede ser que el cuarto de círculo seccionado de dicha figura 2 sirva para alimentar un cilindro del mencionado motor Stirling (3). En cualquier caso, tal y como puede entender cualquier experto en la materia, la forma de realización seguida no afecta a la configuración aquí explicada ni a la esencia de la invención.

La figura 4 muestra otras posibles configuraciones del receptor (2) con geometrías distintas al disco mostrado en la figura 2. Así, la figura 4A muestra un receptor con forma de semicono hueco, de manera que la radiación solar (1) incide en el interior del semicono, reflejándose dicha radiación (1) a lo largo de la superficie del semicono. En el interior de las paredes del semicono se repite

la estructura de los conductos (8) descrita para el receptor de la figura 2, que no han sido representados en la figura 4 para una mayor claridad. Otras configuraciones geométricas también son posibles, como una semiesfera hueca como se representa en la figura 4B, en la que igualmente la radiación solar (1) incide en la superficie interna de la semiesfera, calentándola y, después, calentando el fluido de trabajo que evoluciona en los conductos interiores (no representados). La figura 4C muestra una última forma de realización del receptor (2), en la configuración de un poliedro regular hueco, como puede ser un octaedro, un dodecaedro, un icosaedro u otros poliedros. Similarmente a los casos anteriores, al radiación solar (1) incide en las paredes internas del poliedro, sufriendo procesos de reflexión sucesiva y calentando la superficie interna del poliedro. Al calentarse, estas paredes realizan la transferencia de calor al fluido que circula por su interior, en los conductos correspondientes ya explicados (y no representados en la figura 4).

Cualquier experto en la materia comprenderá el alcance de la invención y las ventajas que se derivan de la misma. Los términos en los que se ha descrito la invención deben ser tomados en sentido amplio y no limitativo, quedando descritas las principales características distintivas de esta invención en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1 – Receptor (2) de radiación solar (1), que tiene unos colectores (9) de entrada y salida, una serie de conductos (8) que van del colector de entrada al de salida por los que circula un fluido de trabajo que se calienta al recibir la radiación solar (1), **caracterizado** por que el receptor (2) comprende:

- un estrato superior (5) sobre la que incide la radiación solar (1);
- al menos un estrato intermedio (6), situado bajo el estrato superior (5), en el que se encuentran los conductos (8) por los que circula el fluido de trabajo;
- un estrato inferior (7), situado bajo el, al menos, estrato intermedio (6), en el que se acoplan los colectores (9) de entrada y de salida del fluido de trabajo;

de manera que el estrato superior (5), el al menos un estrato intermedio (6) y el estrato inferior (7), forman una sola pieza.

2 – Receptor (2) de radiación solar (1) según la reivindicación 1 **caracterizado** por que los conductos (8) por los que circula el fluido de trabajo tienen bien una sección triangular, o rectangular con los extremos redondeados, o elíptica, o poligonal regular, o circular, o bien combinaciones de dos de las anteriores geometrías citadas.

3 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que cuando existe más de un estrato intermedio (6), cada uno dichos estratos intermedios (6) dispone en su interior de conductos (8) por los que circula el fluido de trabajo.

4 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que los conductos (8) que se encuentran en el(los) estrato(s) intermedio(s) (6) se disponen trazados como un laberinto, recorriendo toda la superficie mojada de el(los) estrato(s) intermedio(s) (6) del receptor (2).

5 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que la dicha pieza de la que está

hecha el receptor (2) es una aleación que soporta altas temperaturas, superiores a 600 °C, del tipo acero, acero inoxidable o aleaciones tipo Inconel® o Hastelloy®.

5 6 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** por que el receptor (2) se configura en una geometría circular o de sector circular.

10 7 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado** por que el receptor (2) se configura en una geometría de semicono hueco.

15 8 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado** por que el receptor (2) se configura en una geometría de semiesfera hueca.

20 9 – Receptor (2) de radiación solar (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado** por que el receptor (2) se configura en una geometría de la mitad de un poliedro hueco.