

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 911 108**

21 Número de solicitud: 202131189

51 Int. Cl.:

F24S 10/50 (2008.01)
F24S 10/55 (2008.01)
F24S 20/20 (2008.01)
F24S 70/60 (2008.01)
F24S 70/65 (2008.01)
F28F 13/08 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

22.12.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.05.2022

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A
DISTANCIA (UNED) (90.0%)
C/ Bravo Murillo 38, 3º Planta
28015 Madrid (Madrid) ES y
FUNDACIÓN IMDEA ENERGÍA (10.0%)**

72 Inventor/es:

**MONTES PITA, María José;
ROVIRA DE ANTONIO, Antonio José;
GONZÁLEZ AGUILAR, José y
ROMERO ÁLVAREZ, Manuel**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **RECEPTOR SOLAR CONSTITUIDO POR PANELES ABSORBEDORES BASADOS EN ESTRUCTURAS COMPACTAS**

57 Resumen:

Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), de compacidad gradual y creciente en el sentido de avance y calentamiento del fluido térmico, que coincide con el gradiente creciente de flujo de calor neto absorbido por el panel absorbedor (1); de esta manera, el fluido térmico realiza varios pasos completos por el panel absorbedor (1), siendo la compacidad constante en cada paso, y creciente respecto al paso anterior, mediante una disminución del diámetro hidráulico que caracteriza la estructura compacta (2) en ese paso.

Los paneles absorbedores (1) que constituyen el receptor solar están dispuestos de forma que el flujo de radiación solar concentrada (4) incide sobre ambos lados del panel absorbedor (1), con el objetivo de disminuir el gradiente térmico a través del espesor (13) de la estructura compacta (2) que compone el panel absorbedor (1).

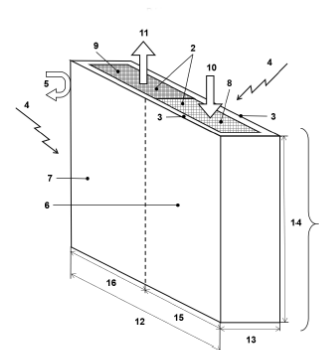


FIG. 1.

ES 2 911 108 A1

DESCRIPCIÓN

RECEPTOR SOLAR CONSTITUIDO POR PANELES ABSORBEDORES BASADOS EN ESTRUCTURAS COMPACTAS

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se encuadra dentro de los receptores de colectores solares de concentración. Por colector solar de concentración se entiende aquel en el que existe un elemento concentrador que refleja o refracta la radiación solar sobre un receptor, que se encuentra normalmente en el foco del elemento concentrador. Dicho foco puede ser una línea, en el caso de colectores solares de concentración lineales, como son los sistemas lineales Fresnel o los colectores cilindro-parabólicos; o puede ser un punto, en el caso de colectores solares de concentración puntuales, como son los sistemas de torre central o los discos parabólicos. El receptor solar que se define en esta patente es válido para ambos tipos de colectores solares de concentración, lineales y puntuales.

Más concretamente, la presente invención se enmarca dentro de los diseños de receptores solares térmicos, en los que la radiación solar se transforma en energía térmica de un fluido. Dentro de las diferentes configuraciones de receptores solares, el receptor que se presenta es de absorción indirecta a través de una superficie, lo cual quiere decir que el fluido térmico circula por el interior de una superficie sobre la que incide la radiación solar concentrada.

Respecto al fluido térmico empleado, el receptor solar que se define está especialmente indicado para fluidos gaseosos presurizados y fases supercríticas. Para ello, dicho receptor solar está basado en estructuras compactas similares a las que se emplean en los intercambiadores de calor compactos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

30

Desde el punto de vista de la transmisión de calor, los receptores solares admiten tres configuraciones distintas:

- Receptor de absorción indirecta a través de superficie: este tipo de receptores se caracterizan porque el fluido térmico circula por el interior de una superficie primaria, sobre la

35

que incide la radiación solar concentrada, produciéndose una transmisión de calor por conducción y posteriormente por convección al fluido de trabajo.

• Receptor volumétrico: estos receptores se caracterizan porque la radiación solar concentrada incide directamente sobre una malla porosa de material metálico o cerámico, que se calienta, cediendo a su vez el calor por convección al fluido gaseoso refrigerante (generalmente aire). Pueden ser atmosféricos y presurizados.

• Receptor de partículas: la radiación solar concentrada incide directamente sobre partículas en suspensión. Aunque este tipo de receptores ha sido empleado tradicionalmente para reacciones termoquímicas (hidrógeno), existen nuevos proyectos enfocados a producción de electricidad.

Existen diferentes configuraciones de receptores solares de absorción indirecta, dependiendo de cuál sea la superficie primaria sobre la que incide la radiación solar concentrada. Tradicionalmente, la configuración más extendida ha sido la de receptor tubular, en la que la superficie primaria son tubos.

Los receptores tubulares son los más empleados en colectores solares de concentración lineales, ya que los tubos se pueden situar a lo largo de la línea focal de este tipo de colectores, consiguiendo de esta forma un buen acoplamiento óptico - térmico. Dentro de esta tipología, se distinguen receptores mono-tubo, formados por un único tubo, y receptores multi-tubo, en los que existen varios tubos.

Para el caso de colectores solares de concentración puntuales y, más concretamente, para sistemas de torre central, los tubos en los receptores tubulares se disponen de manera contigua y paralela formando los paneles absorbedores. Según cómo sea la disposición de estos paneles absorbedores se distinguen las siguientes configuraciones más convencionales:

• Receptor multi-tubular de cavidad: los tubos se disponen conformando las paredes de una cavidad.

• Receptor multi-tubular externo: los tubos se disponen conformando la superficie lateral de un cilindro o prisma.

En esta tipología cabe citar la patente internacional WO2015/086880 “Configuración de receptor solar de torre y torre con dicha configuración”, en la que se presenta un diseño mixto

de receptor solar central formado por varias cavidades integradas en el área comprendida por el perímetro de la torre, de tal forma que combina las ventajas de los receptores de cavidad (menores pérdidas por convección y radiación) y de los receptores externos (menores pérdidas por desbordamiento). En dicha patente se prescribe que las cavidades están
5 formadas por paneles absorbedores, pero no se define el diseño de dichos paneles ni se caracteriza la circulación del fluido térmico por el interior de los mismos.

Es importante citar que, para los receptores multi-tubulares externos, existen diseños actuales que minimizan las pérdidas de radiación (*light-trapping geometries* o trampas solares). En este
10 sentido destaca la patente US 2019/0107311 A1 "*Bladed Solar Thermal Receivers for concentrating solar power*", que define una configuración de los paneles absorbedores en modo de palas, con disposición radial o paralela. En dicha patente se prescribe que los paneles absorbedores están formados por tubos, pudiendo a su vez estar formados por sub-paneles o pasos, aunque no se prescribe el modo de circulación del fluido por el interior de dichos
15 paneles.

Dentro de los receptores de absorción indirecta, se ha desarrollado un diseño en el que los paneles absorbedores son estructuras compactas, especialmente indicadas para fluidos gaseosos y fases supercríticas. Esta configuración consiste en emplear canales de diámetro
20 hidráulico sensiblemente inferior al de los receptores tubulares, consiguiendo una alta compacidad, entendiéndose como tal la razón entre el área de transferencia del calor de la estructura respecto a su volumen total. De este modo, se favorece la transmisión de calor al fluido térmico, lo que es especialmente importante cuando dicho fluido térmico no es un buen transmisor del calor, como es el caso de los fluidos gaseosos y de las fases supercríticas.
25 Respecto a estructuras compactas, existen de muchos tipos, tal y como se describe en US 5193611.

Dentro de los receptores solares compactos, destacan los diseños propuestos por NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) y por CERC (*Clean Energy Research Center*); en el
30 primer diseño, las estructuras compactas que forman los paneles absorbedores se disponen en forma de receptor externo (Sullivan et al., 2016. <https://doi.org/10.2172/1333813>); mientras que, en el segundo diseño, las estructuras compactas constituyen las paredes de un receptor de cavidad (Besarati et al., 2015. <https://doi.org/10.1115/1.4029861>). Para reducir las pérdidas térmicas, sobre todo cuando se trabaja a alta temperatura, en el primer diseño se recurre a
35 un arreglo de pequeños tubos de cuarzo adosados perpendicularmente a la superficie primaria

expuesta a la radiación (patentado en US 2018/0195768 A1 “*Systems and methods for direct thermal receivers using near blackbody configurations*”); mientras que, en el segundo caso, se recurre a una cavidad.

5 Existen otros diseños de receptores solares compactos, observándose en todos ellos que la estructura compacta está radiada únicamente por uno de sus lados, estando el lado opuesto aislado, para minimizar pérdidas térmicas (pared adiabática); además, la estructura presenta un aspecto uniforme en toda la extensión del panel absorbedor, siendo los canales de sección constante.

10

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La invención consiste en un receptor solar constituido por paneles absorbedores basados en estructuras compactas, de compacidad gradual y creciente en el sentido de avance y calentamiento del fluido térmico, que coincide con el gradiente creciente de flujo de calor neto absorbido por el panel, entendiéndose como tal la diferencia entre el flujo de radiación solar concentrada incidente en el panel absorbedor y las pérdidas de calor desde la superficie de dicho panel absorbedor, de tal manera que el fluido realiza varios pasos completos por el panel absorbedor, siendo la compacidad constante en cada paso, y creciente respecto al paso anterior, mediante una disminución del diámetro hidráulico que caracteriza la estructura compacta en ese paso.

20

Por tanto, frente a los receptores solares anteriormente citados en los antecedentes de la invención, en esta patente se define un receptor solar basado en estructuras compactas, en el que existe una modificación gradual de los parámetros geométricos de dichas estructuras compactas de un paso a otro dentro de un mismo panel absorbedor, entendiéndose por paso cada una de las veces en que el fluido térmico recorre el panel absorbedor completo en una determinada dirección.

25

30 El diámetro hidráulico es un parámetro fundamental para describir la compacidad de una estructura, y normalmente se define como sigue:

$$dh = \frac{4 \cdot A_c \cdot L}{A_s}$$

(1)

En la anterior definición, A_c es el área de paso del fluido y L es la longitud de paso del fluido;

A_s es el área superficial de transferencia de calor correspondiente a la longitud de paso del fluido, L .

La compacidad de una estructura se mide mediante la densidad de área superficial, β , que se define como la razón entre el área superficial de transferencia de calor y el volumen total de la estructura:

$$\beta = \frac{A_s}{V} = \frac{4 \cdot \sigma}{dh} \quad (2)$$

Como se observa en la ecuación anterior, si se introduce el término de porosidad superficial, σ , la densidad de área superficial, β , y el diámetro hidráulico, dh , están inversamente relacionados, por lo que una disminución del diámetro hidráulico provoca un aumento de la compacidad, y a la inversa.

La invención fija un valor mínimo de aumento de la compacidad de un paso respecto al paso anterior. La disminución del diámetro hidráulico para aumentar la compacidad en los sucesivos pasos del fluido térmico a través del panel absorbedor se realiza de tal forma que, el coeficiente de transmisión de calor por convección entre la estructura compacta y el fluido térmico aumenta, como mínimo, en la misma proporción en que aumenta, para ese paso, el flujo de calor neto, referido a la superficie del panel absorbedor correspondiente a dicho paso del fluido térmico.

Este límite es un valor mínimo que se fija con el objetivo de que la diferencia de temperatura entre la pared irradiada del panel absorbedor y el fluido térmico que circula por la fila de canales adyacente a la pared irradiada, se mantenga constante en todo el panel, aunque la temperatura vaya aumentando según aumenta el gradiente de flujo de calor neto en el panel absorbedor.

De acuerdo con la ley de enfriamiento de Newton, si se supone que la pared irradiada es lo suficientemente delgada para poder caracterizarse por una única temperatura, se tiene que el flujo de calor neto $\dot{q}_{net,paso,i}$ absorbido por el panel absorbedor, para un paso del fluido térmico, se transmite al fluido térmico de la siguiente manera:

$$\dot{q}_{net,paso,i} = \frac{\dot{Q}_{net,paso,i}}{A_{paso,i}} \cong h_{conv,paso,i} \cdot (T_{pared,paso,i} - T_{fluido,paso,i}) \quad (3)$$

En la ecuación anterior se observa que el coeficiente de convección $h_{conv,paso,i}$ es, aproximadamente, la constante de proporcionalidad entre el flujo de calor neto y la diferencia de temperaturas entre la pared irradiada y el fluido térmico que circula por la fila de canales adyacente a dicha pared irradiada. Por tanto, para mantener esta diferencia constante, en la
5 patente se define que el coeficiente de convección aumenta, de un paso respecto al paso anterior, en la misma proporción en que aumenta el flujo de calor neto entre esos dos pasos consecutivos. El hecho de que el aumento de la compacidad sea gradual, presenta una doble ventaja:

- 10 • Permite una mejor refrigeración del panel absorbedor en su zona más irradiada, mejorando la transmisión de calor al fluido y soslayando el hecho de que, al aumentar su temperatura, disminuye su capacidad para absorber calor.
- Permite mantener una velocidad más moderada en la zona del panel absorbedor menos irradiada, es decir, la zona que precisa una refrigeración menor. Con esto se consigue
15 no aumentar excesivamente la pérdida de presión del fluido térmico, que depende del cuadrado de su velocidad.

Frente a los receptores solares basados en estructuras compactas que se han citado en los antecedentes de la invención, en esta patente se prescribe, asimismo, que los paneles
20 absorbedores se disponen de forma que el flujo de radiación solar concentrada incide sobre ambos lados del panel absorbedor, con el objetivo de disminuir el gradiente térmico a través del espesor de la estructura compacta que compone el panel absorbedor. Esto, que no es tan importante en receptores tubulares, resulta crucial para paneles absorbedores basados en estructuras compactas, ya que se reduce el gradiente térmico entre canales paralelos a lo
25 largo del espesor de la estructura compacta, comparado con un panel absorbedor en el que la radiación solar concentrada incidiera sólo por uno de sus lados.

Esta disposición es válida tanto cuando el panel absorbedor se sitúa a lo largo de la línea focal de concentradores solares lineales, como cuando los paneles absorbedores se disponen en
30 el punto focal de concentradores solares puntuales. Aunque no es un factor limitante el tipo de concentrador solar, lineal o puntual, la invención se adapta muy bien a los concentradores lineales tipo sistema lineal Fresnel y a los concentradores puntuales tipo sistema de torre central.

35 La invención tiene además en cuenta las condiciones de contorno que afectan a los paneles

absorbedores, y prescribe que el flujo neto de calor sobre cada uno de los paneles tiene un gradiente creciente en el sentido de avance y de calentamiento del fluido térmico.

5 En los sistemas lineales Fresnel, la invención define un diseño en el que existen dos paneles absorbentes convergentes en la línea focal, y formando entre ellos un ángulo de 180°, prescribiendo que cada panel absorbente presenta un gradiente creciente del flujo de calor neto desde la zona exterior del panel, por donde entra el fluido térmico, hacia la zona del panel próxima a la línea focal, por donde sale el fluido térmico, a la temperatura de consigna, después de haber realizado un número de pasos determinado a lo largo del panel absorbente.

10 En los sistemas de torre central, la invención define un diseño en el que existen dos o más paneles absorbentes convergentes en el eje de la torre, de tal forma que los dos lados de los paneles absorbentes reciben radiación solar concentrada, procedente de un campo de helióstatos circular, prescribiendo que cada panel absorbente presenta un gradiente creciente del flujo de calor neto desde la zona del panel próxima al perímetro de la torre, por donde entra el fluido térmico, hacia la zona del panel próxima al eje de la torre, por donde sale el fluido térmico, a la temperatura de consigna, después de haber realizado un número de pasos determinado a lo largo del panel absorbente. Aunque la patente especifica que el número mínimo de paneles absorbentes es dos, si se quiere crear un efecto de cavidad para reducir las pérdidas térmicas, el número mínimo de paneles absorbentes es igual a tres, ya que, en este caso, por cada dos paneles absorbentes consecutivos y convergentes, se conforma una cavidad triangular.

25 El receptor solar que se define está formado por paneles absorbentes basados en estructuras compactas, similares a las que se emplean en los intercambiadores de calor compactos. Es válida para cualquier geometría compacta, con la condición de que su compacidad sea creciente en los sucesivos pasos por los que pasa el fluido térmico dentro de un mismo panel absorbente.

30 En la patente se especifica que las estructuras compactas están especialmente indicadas para gases presurizados y fases supercríticas, ya que consiguen una mejora importante de la transmisión de calor al fluido térmico, a la vez que, con un diseño adecuado, permiten trabajar a elevadas presiones del fluido térmico. En concreto, se cita la estructura compacta tipo PFHE (*Plate Fin Heat Exchanger*), formada por capas alternas de placas y arreglos de aletas; si las capas de dicha estructura se unen por difusión, las presiones de trabajo pueden ser elevadas,

incluso presiones supercríticas. Además, se especifica que se pueden combinar diferentes diseños del arreglo de aletas para los diferentes pasos que componen un mismo panel absorbedor, siendo los más comunes: aletas lisas, dentadas o perforadas; con disposición triangular o rectangular; de canal recto o en zig-zag.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

• Figura 1. Panel absorbedor basado en estructura compacta de compacidad gradual y creciente en el sentido de avance y calentamiento del fluido térmico, coincidente con un gradiente creciente de flujo neto de calor absorbido por dicho panel, estando el panel dispuesto de forma que recibe radiación solar concentrada por ambos lados (caso 2 pasos).

• Figura 2. Receptor solar para sistema lineal Fresnel, compuesto por 2 paneles absorbedores de compacidad gradual, convergentes en la línea focal y formando un ángulo de 180°, de tal forma que dichos paneles absorbedores reciben radiación solar concentrada por ambos lados (caso 2 pasos).

• Figura 3. Receptor solar para sistema de torre central, compuesto por 2 paneles absorbedores de compacidad gradual, convergentes en el eje de la torre, de tal forma que dichos paneles absorbedores reciben radiación solar concentrada por ambos lados.

• Figura 4. Vista en perspectiva de receptor solar para sistema de torre central, compuesto por paneles absorbedores de compacidad gradual, de tal forma que los paneles absorbedores reciben radiación solar concentrada por ambos lados, para lo que se disponen en configuración radial (caso: 5 paneles absorbedores y 2 pasos).

• Figura 5. Vista superior de receptor solar para sistema de torre central, compuesto por paneles absorbedores de compacidad gradual, de tal forma que los paneles absorbedores reciben radiación solar concentrada por ambos lados, para lo que se disponen en configuración radial (caso: 5 paneles absorbedores y 2 pasos).

- Figura 6. Vista superior de una de las cavidades triangulares formadas por 2 paneles consecutivos y convergentes, distinguiendo en un mismo panel absorbedor diferentes pasos con compacidad creciente hacia el interior de la cavidad (caso: 2 pasos).

5

- Figura 7. Vista proyectada de una de las cavidades triangulares formadas por 2 paneles consecutivos y convergentes, distinguiendo en un mismo panel absorbedor diferentes pasos con compacidad creciente hacia el interior de la cavidad (caso: 2 pasos).

- Figura 8. Vista superior y dimensiones de cada uno de los canales en cada uno de los pasos por los que circula el fluido por el panel con compacidad gradual (caso: 5 paneles absorbedores, 2 pasos y canales cuadrangulares).

Para facilitar la comprensión de las figuras de la invención, y de su descripción detallada, se relacionan a continuación los elementos más relevantes que intervienen en la misma y que están representados en las figuras que integran la invención.

- 1 = Panel absorbedor
- 2 = Estructura compacta
- 20 3 = Paredes del panel absorbedor sobre las que incide la radiación solar concentrada
- 4 = Radiación solar concentrada
- 5 = Pérdidas térmicas (por radiación, convección y reflexión)
- 6 = Paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (caso 2 pasos)
- 7 = Paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (caso 2 pasos)
- 25 8 = Estructura compacta del paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (caso 2 pasos)
- 9 = Estructura compacta del paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (caso 2 pasos)
- 10 = Entrada del fluido térmico al panel absorbedor, a la temperatura más fría
- 30 11 = Salida del fluido térmico del panel absorbedor, a la temperatura de consigna
- 12 = Anchura del panel absorbedor
- 13 = Espesor del panel absorbedor
- 14 = Altura del panel absorbedor
- 15 = Anchura del panel absorbedor correspondiente al paso 1 del fluido térmico (caso 2
- 35 pasos)

- 16 = Anchura del panel absorbedor correspondiente al paso 2 del fluido térmico (caso 2 pasos)
- 17 = Concentrador solar lineal (caso sistema lineal Fresnel)
- 18 = Campo de espejos primarios en concentrador solar lineal
- 5 19 = Concentrador solar puntual (caso sistema de torre central)
- 20 = Campo de espejos primarios en concentrador solar puntual
- 21 = Apertura de la cavidad
- 22 = Modo de circulación del fluido térmico por cada uno de los paneles (caso 2 pasos)
- 23 = Lado del canal cuadrangular por el que circula el fluido térmico por el paso 1 (caso 2 pasos y canales cuadrangulares)
- 10 24 = Lado del canal cuadrangular por el que circula el fluido térmico por el paso 2 (caso 2 pasos y canales cuadrangulares)

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

15 La presente invención se ilustra adicionalmente mediante el siguiente ejemplo, el cual no pretende ser limitativo de su alcance.

20 Se considera un receptor solar central, formado por 5 paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), de compacidad gradual, dispuestos de modo que la radiación solar concentrada (4) incida sobre ambos lados (3) del panel absorbedor (1), siendo la configuración preferente a modo de radios de una circunferencia cuyo diámetro coincida con el diámetro de la torre central, de tal forma que los paneles absorbedores (1) unen el centro de la circunferencia con los vértices de un pentágono regular, tal y como se ilustra en la figura 4,

25 formándose cavidades triangulares entre dos paneles absorbedores (1) consecutivos y convergentes.

Dentro de un mismo panel absorbedor (1), se considera el caso más sencillo en el que el fluido térmico realiza únicamente dos pasos, denominándose paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6) y paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), en el sentido de avance del fluido desde la zona externa del panel absorbedor (1), próxima al perímetro de la torre, hacia la zona interna del panel absorbedor (1) próxima al eje de la torre, de tal forma que el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) tiene una compacidad mayor que el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6), entrando el fluido más frío (10) por el paso 1

30 (6) y saliendo del receptor a la temperatura de consigna (11) por el paso 2 del fluido térmico

35

por el panel absorbedor (7). Se especifica que dichos pasos tienen la misma altura vertical (14), y el mismo espesor (13), que coincide con la altura (14) y el espesor (13) del panel absorbedor (1), pero no tienen por qué tener la misma anchura (15 y 16), ya que está dependerá de cómo se haga el diseño concreto de cada paso para adaptarlo a la compacidad gradual que se requiere en la invención. Estas dimensiones quedan especificadas en las figuras 6 y 7, en las que se muestra, respectivamente, la vista en superior y la vista proyectada de la cavidad triangular formada por dos paneles absorbedores (1) consecutivos y convergentes.

Como se ha definido en la descripción breve de la invención, con una adecuada estrategia de apunte hacia el centro de la cavidad triangular, el mapa de radiación solar concentrada (4) tiene una gradiente creciente desde el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6) hacia el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), es decir, en el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), la radiación solar concentrada (4) integrada para toda la superficie de panel correspondiente a dicho paso 2 es mayor que la radiación solar concentrada (4) integrada para toda la superficie de panel correspondiente al paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6).

Respecto a las pérdidas térmicas (5), la cavidad triangular presenta una peculiaridad favorable si se compara con cavidades convencionales de mayor número de paneles absorbedores; para el caso concreto de 2 pasos definido anteriormente, el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) presenta mayor atenuación de las pérdidas térmicas por radiación a través de un menor factor de visión, F_{view} , respecto al paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6). El factor de visión se calcula por relaciones geométricas complejas y es una medida de la cantidad de radiación térmica que abandona una superficie y es captada por otra, por lo que, intuitivamente, las pérdidas térmicas por radiación de cada superficie estarán afectadas por el factor de visión de dicha superficie con la apertura de la cavidad (21), siendo este mayor si la superficie está más enfrentada a dicha apertura. En la figura 6 se observa que el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) está menos enfrentado a la apertura de la cavidad (21) que el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6).

Respecto a la estructura compacta (2), aunque la patente es válida para cualquier tipo de estructura compacta, se considera el caso más sencillo dentro del tipo PFHE (*plate-fin heat exchanger*): una estructura formada por arreglos de aletas lisas rectangulares entre dos placas, de tal forma que resultan canales de paso para el fluido térmico con forma cuadrangular. Los principales parámetros geométricos de dicha estructura compacta con

canales cuadrangulares quedan especificados en la figura 8.

De acuerdo con la compacidad gradual definida en la patente, el área de paso del fluido térmico en los canales del paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), en adelante A_{c2} , es más pequeña que en el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6), en adelante A_{c1} , por lo que el lado del canal cuadrangular por el que circula el fluido térmico por el paso 2 (24), en adelante l_{c2} , será más pequeño que el lado del canal cuadrangular por el que circula el fluido térmico por el paso 1 (23), en adelante l_{c1} . Para los cálculos termo-hidráulicos posteriores se utiliza el diámetro hidráulico, definido en la descripción breve de la invención, ecuación (1). Como en este caso concreto se trata de canales rectos, el diámetro hidráulico se puede simplificar de la siguiente manera:

$$dh = \frac{4 \cdot A_c \cdot L}{A_s} = \frac{4 \cdot A_c \cdot L}{P_m \cdot L} = \frac{4 \cdot A_c}{P_m} \quad (1bis)$$

En la anterior definición, P_m es el perímetro mojado del canal.

Para el caso concreto de canales cuadrangulares, el diámetro hidráulico coincide con el lado del canal, tal y como se observa en las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} A_{c1} &= l_{c1}^2 \\ A_{c2} &= l_{c2}^2 \\ A_{c2} &< A_{c1} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} dh_{c1} &= \frac{4 \cdot A_{c1}}{P_{m1}} = \frac{4 \cdot l_{c1}^2}{4 \cdot l_{c1}} = l_{c1} \\ dh_{c2} &= \frac{4 \cdot A_{c2}}{P_{m2}} = \frac{4 \cdot l_{c2}^2}{4 \cdot l_{c2}} = l_{c2} \\ dh_{c2} &< dh_{c1} \end{aligned} \quad (4)$$

Se considera que el receptor solar de compacidad gradual está integrado en una planta termosolar acoplada a un ciclo de potencia que demanda una potencia térmica en condiciones nominales, en adelante $\dot{Q}_{th,PB}$. Dicho ciclo condiciona las temperaturas del fluido térmico a la entrada y salida del receptor, en adelante $T_{fluid,inlet}$ y $T_{fluid,outlet}$, y su presión a la salida del receptor, $P_{fluid,outlet}$, en caso de un acoplamiento directo. Se considera además que la planta termosolar tiene un múltiplo solar SM , que se define como la razón entre la potencia térmica

que produce el campo solar en condiciones de diseño, y la potencia térmica que requiere el ciclo de potencia en condiciones nominales. Este múltiplo solar suele ser mayor que uno y próximo a dos, de tal forma que el exceso de energía térmica producida es almacenada, para su posterior utilización, dotando a la planta de una cierta gestionabilidad.

5

Por tanto, el calor neto que debe aportar el receptor solar en condiciones de diseño, $\dot{Q}_{net,rec}$ queda definido de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{net,rec} = SM \cdot \dot{Q}_{th,PB} \quad (5)$$

10

Se considera que, con una adecuada estrategia de apunte, se puede conseguir que el 40% del calor neto sea absorbido por el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6), mientras que el 60% del calor neto sea absorbido por el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), lo que equivale a decir que el ratio de aumento del calor neto del paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) respecto al paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6) es igual a 1.5.

15

$$\dot{Q}_{net,paso1} = 0.4 \cdot \dot{Q}_{net,receptor}$$

$$\dot{Q}_{net,paso2} = 0.6 \cdot \dot{Q}_{net,receptor}$$

20

$$\frac{\dot{Q}_{net,paso2}}{\dot{Q}_{net,paso1}} = \frac{0.6}{0.4} = 1.5 \quad (6)$$

25

El caudal másico total de fluido térmico que circula por el receptor solar en condiciones de diseño, \dot{m}_{fluid} , queda definido una vez se hayan fijados las condiciones anteriores de potencia térmica y las propiedades termodinámicas del fluido a la entrada y salida del receptor solar central, que deben coincidir con las de entrada y salida en cada uno de los paneles absorbedores (1) que conforman el receptor solar. En general, dichas propiedades son temperatura y presión a la entrada ($T_{fluid,inlet}$ y $P_{fluid,inlet}$) y salida ($T_{fluid,outlet}$ y $P_{fluid,outlet}$) del panel absorbedor (1), para poder definir el resto de las variables termodinámicas: entalpía del fluido a la entrada y a la salida del panel absorbedor (1): $h_{fluid,inlet}$ y $h_{fluid,outlet}$; calor específico del fluido a la entrada y salida del panel absorbedor (1): $cp_{fluid,inlet}$ y $cp_{fluid,outlet}$; conductividad térmica del fluido a la entrada y salida del panel absorbedor (1): $k_{fluid,inlet}$ y $k_{fluid,outlet}$; y viscosidad dinámica del fluido a la entrada y salida del panel absorbedor (1): $\mu_{fluid,inlet}$ y $\mu_{fluid,outlet}$. De esta forma, el caudal másico total de fluido térmico que circula por

30

el receptor solar en condiciones de diseño es:

$$\dot{m}_{fluid} = \frac{SM \cdot \dot{Q}_{th,PB}}{(h_{fluid,outlet} - h_{fluid,inlet})} \quad (7)$$

De igual manera, como se conoce el número de paneles absorbedores (1), $N_{paneles}$, que conforman el receptor solar central, se puede saber el caudal másico que circula por cada uno de los paneles absorbedores (1), en adelante $\dot{m}_{fluid,panel}$:

$$\dot{m}_{fluid,panel} = \frac{\dot{m}_{fluid}}{N_{paneles}} \quad (8)$$

Una vez conocido el caudal total que circula por cada panel absorbedor (1) del receptor, y el calor neto absorbido por cada uno de los pasos en los que se divide dicho panel, es posible calcular las propiedades termodinámicas del fluido a la salida del paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6) y a la entrada del paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7). Con ello es posible calcular las propiedades termodinámicas medias del fluido térmico en cada uno de los pasos; sabiendo las propiedades medias y la geometría y dimensiones de los canales en cada paso, se puede calcular un valor medio del coeficiente de transmisión de calor por convección para el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6), en adelante $h_{conv1_compacidad_gradual}$, y para el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7), en adelante $h_{conv2_compacidad_gradual}$.

Como prescribe la patente, el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) tiene una compacidad mayor, con lo que el coeficiente de convección aumenta, como mínimo, un 1.5 respecto del paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6). Lo anterior implica que los canales del paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor (7) deben ser de menores dimensiones que los del paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor (6). Esta disminución de los parámetros geométricos no sigue la proporción de 1.5, ya que, en el cálculo del coeficiente de transmisión de calor por convección intervienen otros factores, como el número de Reynolds, que tiene que ver con la turbulencia del fluido y aumenta al aumentar la velocidad, lo que se consigue principalmente por la disminución de las dimensiones del canal.

$$\frac{h_{conv2_compacidad_gradual}}{h_{conv1_compacidad_gradual}} = 1.5 \quad (9)$$

El efecto de la compacidad gradual puede observarse si se considera, a modo de comparación, un panel absorbedor de las mismas características que el panel que se está analizando en esta descripción detallada de la invención, en adelante panel absorbedor de compacidad gradual, pero basado en una estructura compacta de compacidad constante, en adelante, panel absorbedor de compacidad constante. Se considera que dicha compacidad constante es igual a la del paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor de compacidad gradual, de tal forma que el valor medio del coeficiente de convección en el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor es igual en ambos paneles, mientras que el valor medio del coeficiente de convección en el paso 2 del fluido térmico por el panel absorbedor con compacidad constante es incluso menor que el coeficiente de convección en el paso 1 del fluido térmico por el panel absorbedor de compacidad gradual, ya que, a medida que el fluido térmico se calienta, va a refrigerar peor. Matemáticamente quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 h_{conv1_compacidad_constante} &= h_{conv1_compacidad_gradual} \\
 h_{conv2_compacidad_constante} &< h_{conv1_compacidad_constante} \\
 h_{conv2_compacidad_constante} &\ll h_{conv2_compacidad_gradual}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

El mayor coeficiente de convección del paso 2 respecto al paso 1, en el panel con compacidad gradual, se traduce en una mejor refrigeración de este panel absorbedor, comparado con el panel con compacidad constante, fundamentalmente en la zona del panel correspondiente al paso 2, que es la zona más irradiada y la que precisa una refrigeración mejor.

De forma muy simplificada se puede decir que, para cada paso, el coeficiente global de transmisión de calor, en adelante $U_{paso,i}$, entre la temperatura superficial del panel, $T_{sup,paso,i}$ y la temperatura media $T_{fluid,paso,i}$ del fluido térmico que circula por la primera fila de canales interiores, adyacente a la pared irradiada, se calcula con una expresión similar a la siguiente:

$$U_{paso,i} \cong \frac{1}{\frac{1}{h_{conv,paso,i}} + \frac{t_{paso,i}}{k_{rec}}}
 \tag{11}$$

En la ecuación anterior, $t_{paso,i}$ es el espesor de la primera placa de la estructura compacta y k_{rec} es la conductividad térmica del material del que está hecho dicha placa. El primer sumando del denominador de la ecuación anterior representa la resistencia a la convección, mientras que el segundo sumando representa la resistencia a la conducción a través del

espesor de la placa. Para valores convencionales en las condiciones de refrigeración de los receptores solares, el factor limitante suele ser la resistencia a la convección, por lo que una mejora o aumento en el coeficiente de convección redundaría en un aumento en el coeficiente global de transmisión de calor.

5

Cuanto mayor sea el coeficiente global de transmisión de calor, menor será el gradiente térmico entre la temperatura externa de la pared del panel absorbedor sobre la que incide la radiación solar concentrada (2) y la temperatura del fluido térmico, lo que se traduce, en definitiva, en una menor temperatura externa de la pared del panel absorbedor sobre la que incide la radiación solar concentrada (2).

10

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{net,paso,i} &= U_{paso,i} \cdot A_{paso,i} \cdot (T_{sup,paso,i} - T_{fluid,paso,i}) \\ T_{sup,paso,i} &= T_{fluid,paso,i} + \frac{\dot{Q}_{net,paso,i}}{U_{paso,i} \cdot A_{paso,i}} \end{aligned} \quad (12)$$

15 Esa menor temperatura superficial del panel absorbedor (1) supone menores pérdidas térmicas (5) del receptor solar central, $\dot{Q}_{loss,rec}$, ya que dichas pérdidas térmicas (5) dependen directamente de la temperatura superficial. Las menores pérdidas térmicas contribuyen a mejorar el rendimiento térmico del receptor solar central, en adelante η_{rec} .

20

$$\eta_{rec} = \frac{\dot{Q}_{inc,rec} - \dot{Q}_{loss,rec}}{\dot{Q}_{inc,rec}} \quad (13)$$

25

Respecto a la presión del fluido térmico, aunque las pérdidas de presión aumentan al aumentar la compacidad de la estructura compacta en sucesivos pasos, este aumento es gradual y siempre inferior al que se produciría si se optara por una estructura de compacidad constante igual a la del paso de mayor compacidad del receptor solar de compacidad gradual definido en esta patente.

30

Por último, la patente prescribe que el panel absorbedor (1) esté irradiado por ambos lados, ya que de esta forma se reduce el gradiente térmico a través del espesor (13) de la estructura compacta (2) que compone dicho panel absorbedor (1). Este gradiente de temperaturas implica un calentamiento menor del fluido térmico según circule por filas paralelas cada vez más alejadas de la pared del panel absorbedor sobre la que incide la radiación solar concentrada (3). Un calentamiento no homogéneo del fluido en filas paralelas implica a su vez

que es necesario calentar más para que la mezcla alcance la temperatura de consigna, aumentando la temperatura superficial de los paneles absorbedores (1) y, por tanto, las pérdidas térmicas (5). Por tanto, cualquier reducción en el gradiente térmico a través del espesor (13) de la estructura compacta (2) va a suponer una mejora en el rendimiento térmico del receptor.

Se incide de nuevo en que todas las consideraciones anteriores referidas a: número de paneles absorbedores (1), número de pasos dentro de un mismo panel, flujo de calor neto absorbido por la superficie de panel correspondiente a cada paso, tipo de estructura compacta (2), tipo de fluido térmico y planta termosolar en la que está integrado el receptor, no son limitativos del alcance de la patente, pero han sido necesarios para una descripción detallada de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), caracterizado por que la compacidad de dichas estructuras es gradual y creciente en el sentido de avance y calentamiento del fluido térmico, que coincide con el gradiente creciente de flujo de calor neto absorbido por el panel absorbedor (1), entendiéndose como tal la diferencia entre el flujo de radiación solar concentrada (4) incidente en el panel absorbedor y las pérdidas de calor (5) desde la superficie de dicho panel absorbedor, de tal manera que el fluido térmico realiza varios pasos completos por el panel absorbedor, siendo la compacidad constante en cada paso, y creciente respecto al paso anterior, mediante una disminución del diámetro hidráulico que caracteriza la estructura compacta en ese paso.

2. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicación 1, caracterizado por que la disminución del diámetro hidráulico para aumentar la compacidad en los sucesivos pasos del fluido térmico a través del panel absorbedor se realiza de tal forma que, el coeficiente de transmisión de calor por convección entre la estructura compacta y el fluido térmico aumenta, como mínimo, en la misma proporción en que aumenta, para ese paso, el flujo de calor neto, referido a la superficie del panel absorbedor correspondiente a dicho paso del fluido térmico.

3. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que los paneles absorbedores (1) están dispuestos de forma que el flujo de radiación solar concentrada (4) incide sobre ambos lados del panel absorbedor (1), con el objetivo de disminuir el gradiente térmico a través del espesor (13) de la estructura compacta (2) que compone el panel absorbedor (1).

4. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1, 2 y 3, caracterizado por que los paneles absorbedores (1) están dispuestos en la línea focal de concentradores solares lineales (17), de tal forma que el flujo de radiación solar concentrada (4) incide sobre ambos lados del panel absorbedor (1).

5. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1, 2 y 3, caracterizado por que los paneles absorbedores (1) están dispuestos en el punto focal de concentradores solares puntuales (19),

de tal forma que el flujo de radiación solar concentrada (4) incide sobre ambos lados del panel absorbedor (1).

5 6. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1, 2, 3 y 4, caracterizado por que existen dos paneles absorbedores (1) convergentes en la línea focal de un sistema lineal Fresnel (17), y formando entre ellos un ángulo de 180°, prescribiendo que cada panel absorbedor (1) presente un gradiente creciente del flujo de calor neto desde la zona exterior del panel, por donde entra el fluido térmico, hacia la zona del panel próxima a la línea focal, por donde sale el fluido térmico,
10 a la temperatura de consigna, después de haber realizado un número de pasos determinado a lo largo del panel absorbedor (1).

15 7. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1, 2, 3 y 5, caracterizado por que existen dos o más paneles absorbedores (1) convergentes en el eje de la torre de un sistema de torre central (19), constituido por un campo de espejos primarios (20), prescribiendo que cada panel absorbedor (1) presente un gradiente creciente del flujo de calor neto desde la zona del panel próxima al perímetro de la torre, por donde entra el fluido térmico, hacia la zona del panel próxima al eje de la torre, por donde sale el fluido térmico, a la temperatura de consigna,
20 después de haber realizado un número de pasos determinado a lo largo del panel absorbedor (1).

25 8. Receptor solar constituido por paneles absorbedores (1) basados en estructuras compactas (2), según reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por que el fluido térmico es un gas presurizado o una fase supercrítica, que circula por la estructura compacta (2), formada por capas alternas de placas y arreglos de aletas, estando dichas capas unidas por difusión y permitiendo combinar diferentes diseños del arreglo de aletas para los diferentes pasos que componen un mismo panel absorbedor (1).

30

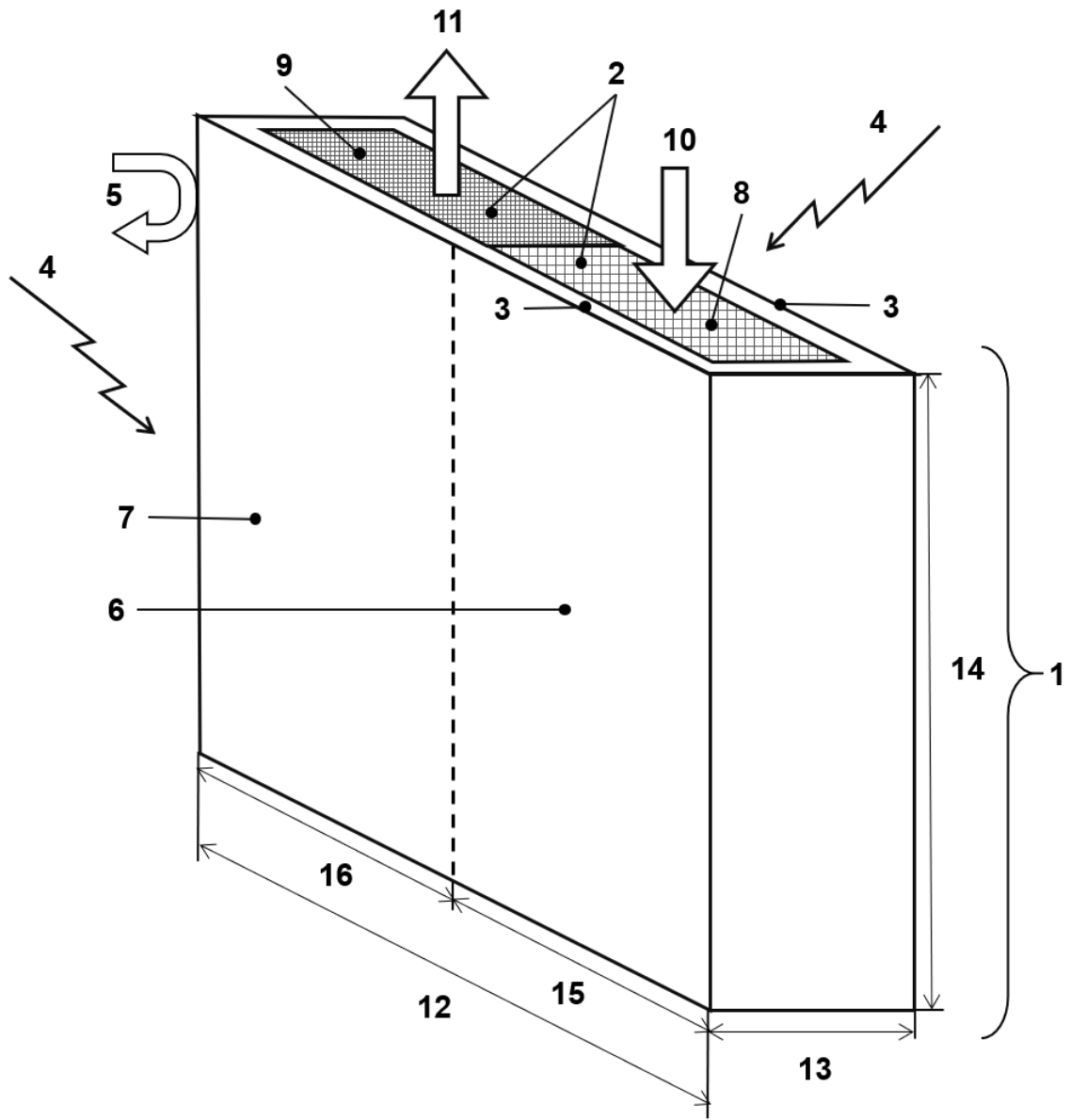


FIG. 1.

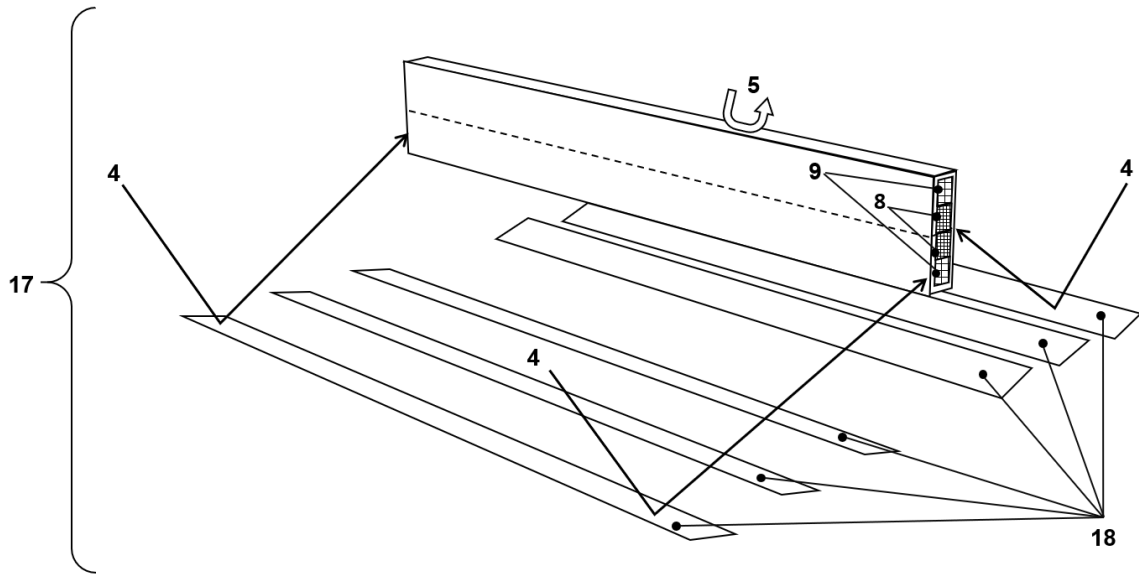


FIG. 2.

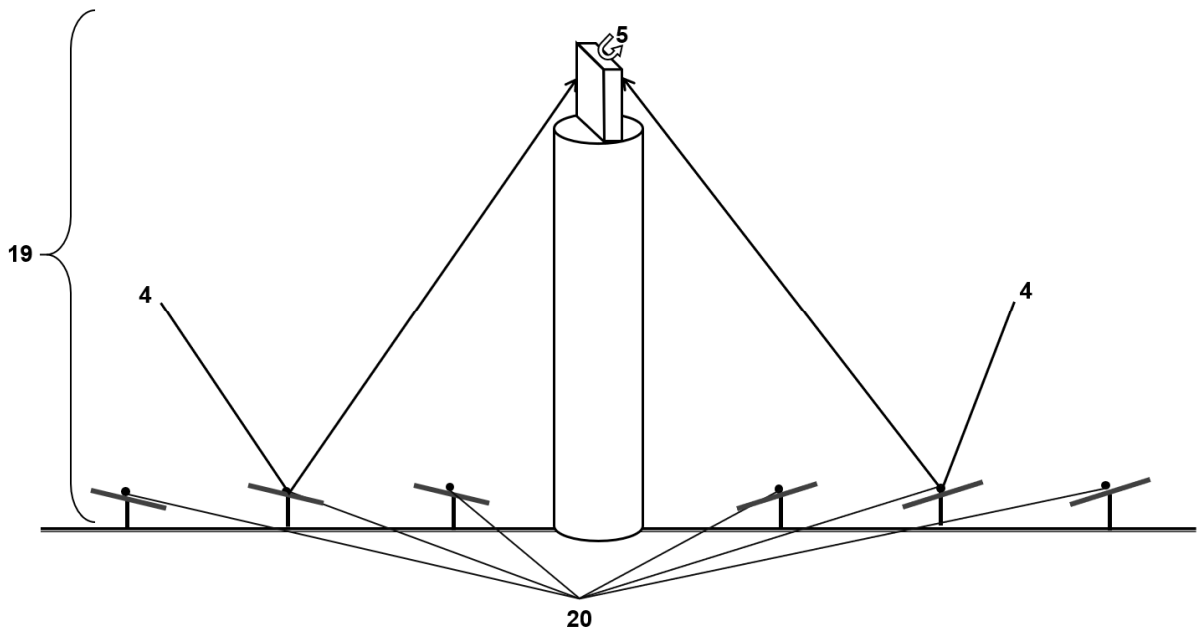


FIG. 3.

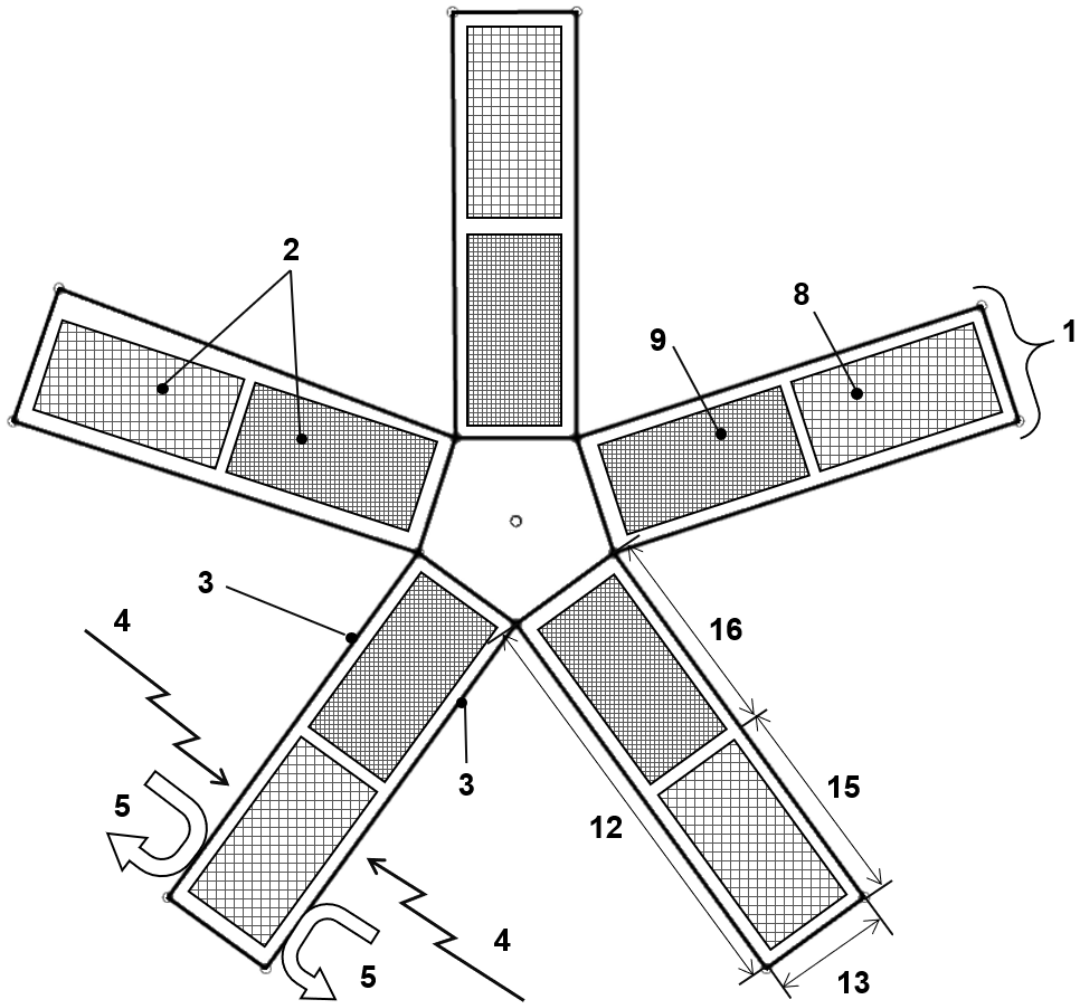


FIG. 5.

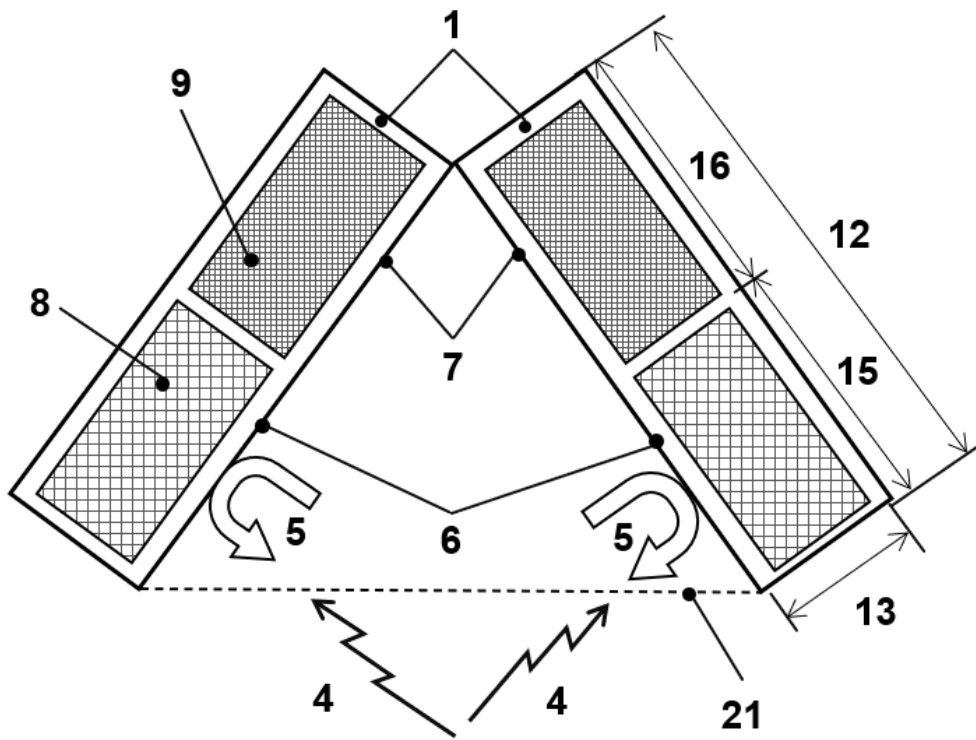


FIG. 6.

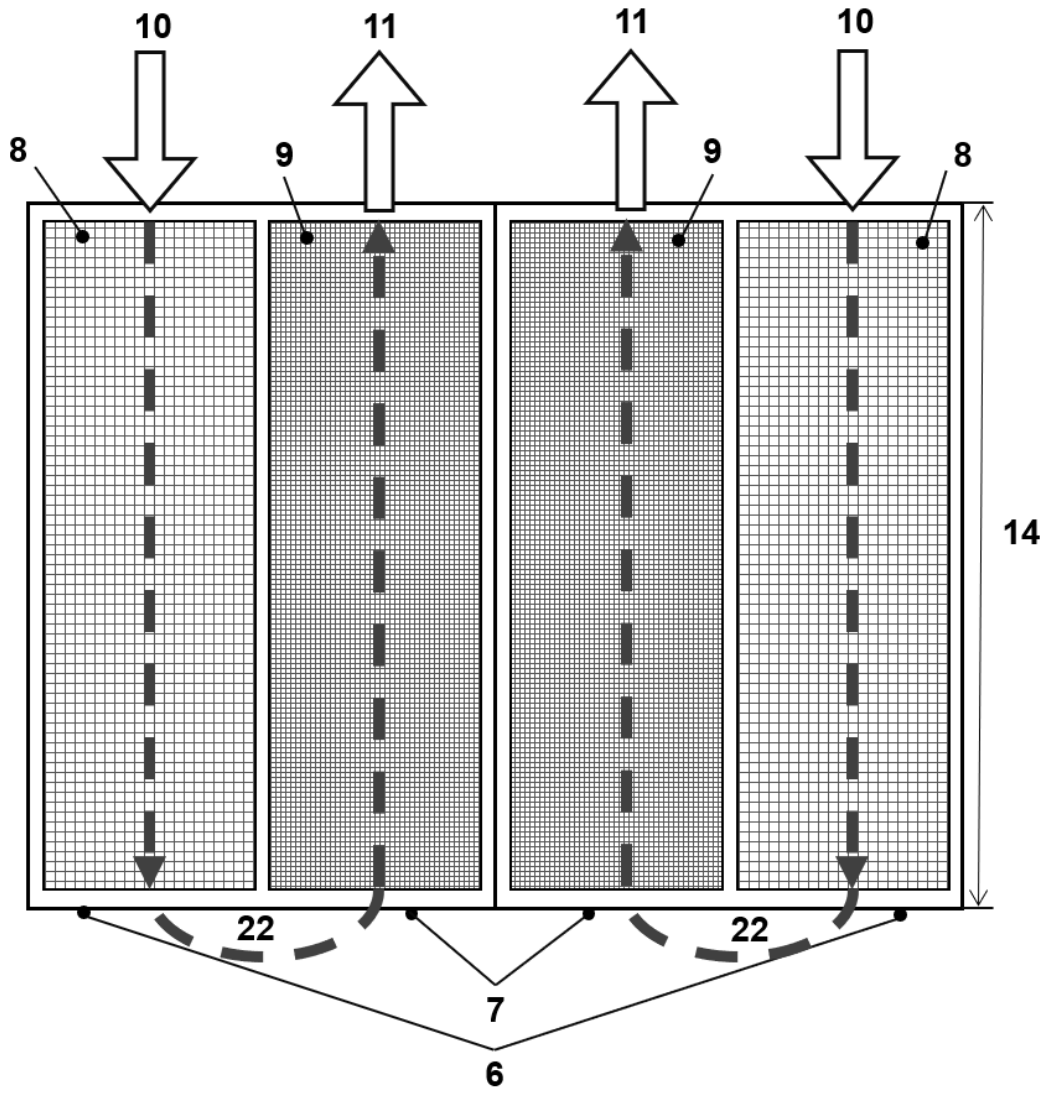


FIG. 7.

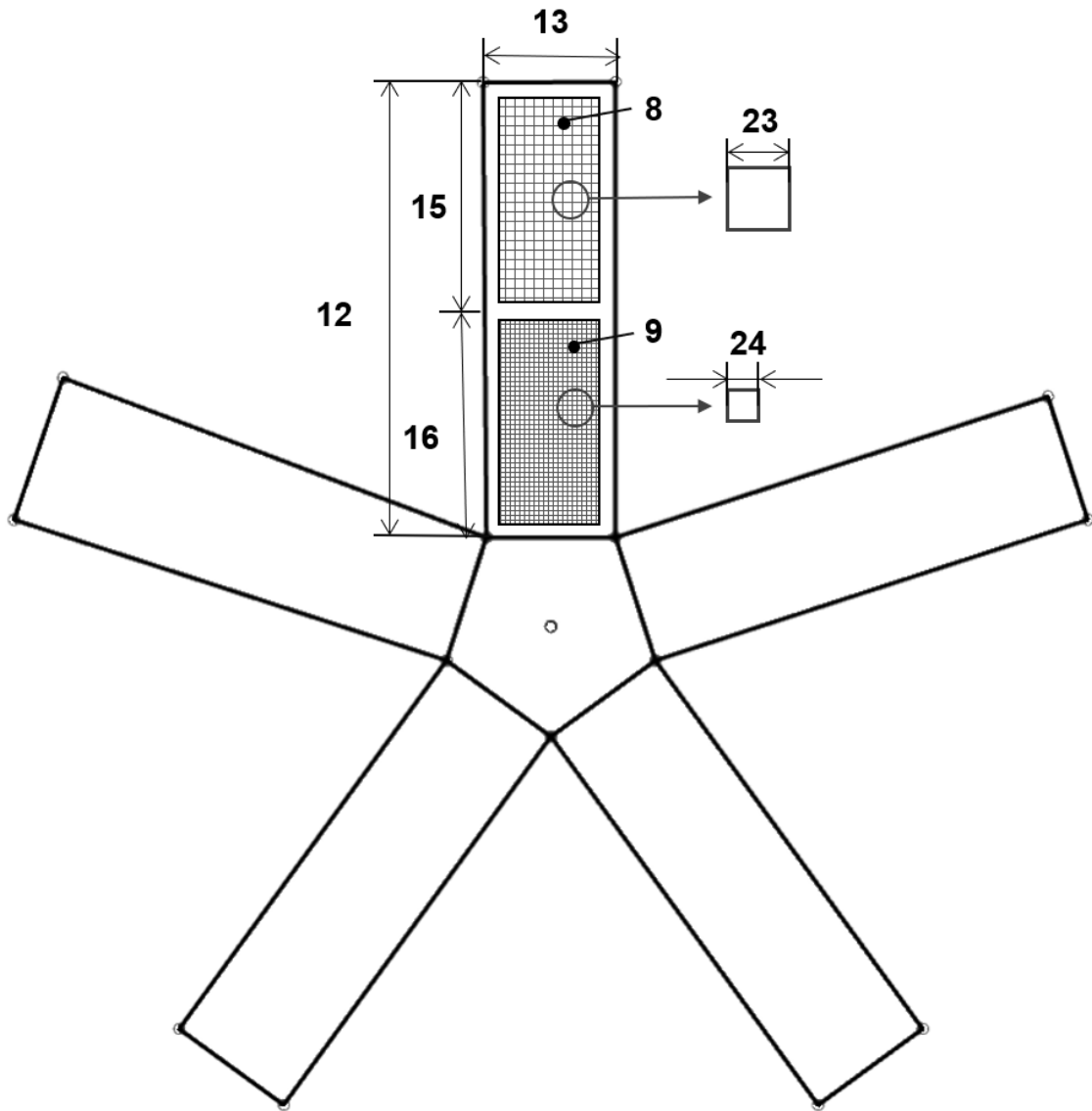


FIG. 8.



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 202131189

②² Fecha de presentación de la solicitud: 22.12.2021

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. ci.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 1980705 A1 (ORANJEDAK B V) 15/10/2008, figura 3, párrafo [0034];	1-8
A	CN 112856832 A (UNIV NANJING TECH) 28/05/2021, figura 1, figuras 4 - 9.	1-8
A	WO 2010035116 A2 (TVP SOLAR SA et al.) 01/04/2010, Todo el documento	1-8
A	FR 2523698 A1 (CENTRE ETD ENERGIE NUCLEAIRE) 23/09/1983, Todo el documento	1-8
A	EP 0387843 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 19/09/1990, Todo el documento	1-8

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 nº:

Fecha de realización del informe
28.04.2022

Examinador
C. Alonso de Noriega Muñiz

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

F24S10/50 (2018.01)
F24S10/55 (2018.01)
F24S20/20 (2018.01)
F24S70/60 (2018.01)
F24S70/65 (2018.01)
F28F13/08 (2006.01)

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

F24S, F28F

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

INVENES, EPODOC