

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 005**

51 Int. Cl.:

**F03G 6/06** (2006.01)

**F22B 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.07.2016 PCT/IB2016/054525**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.02.2017 WO17021832**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2016 E 16753982 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3332177**

54 Título: **Dispositivo, planta y procedimiento energéticamente eficientes de alto nivel para la utilización de energía térmica de origen solar**

30 Prioridad:

**05.08.2015 IT UB20152907**

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

**04.03.2020**

73 Titular/es:

**MAGALDI POWER S.P.A. (100.0%)**

**Piazza di Pietra 26  
00186 Roma (RM), IT**

72 Inventor/es:

**MAGALDI, MARIO;  
CARREA, ALBERTO y  
SOMMA, GENNARO**

74 Agente/Representante:

**DURAN-CORRETJER, S.L.P**

ES 2 746 005 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

Dispositivo, planta y procedimiento energéticamente eficientes de alto nivel para la utilización de energía térmica de origen solar

5

### Sector técnico de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo para el almacenamiento e intercambio de energía térmica de origen solar basado en un lecho de partículas fluidificables. La invención además da a conocer una planta de producción de energía que incluye un dispositivo de este tipo y un procedimiento relacionado.

10

### Estado de la técnica anterior

La captación de energía solar por medio de heliostatos, que concentran la radiación en espejos reflectores, es una técnica conocida. Estos últimos, a su vez, transmiten la radiación a dispositivos de almacenamiento e intercambio térmico basados en lechos de partículas fluidizados. Un sistema de este tipo se describe, por ejemplo, en las Patentes WO2013/150347A1, WO2012/153264 A2 y WO2010/049655 A1, a nombre del mismo propietario.

15

Las plantas para la producción de energía térmica/eléctrica pueden basarse en tales dispositivos para el almacenamiento y el intercambio de energía térmica de origen solar, plantas que incluirán una o más unidades para el almacenamiento y/o el intercambio según la potencia térmica que se desee obtener.

20

Los dispositivos de lecho fluidizado de técnica conocida se implementan según dos estructuras principales.

25

En base a una primera estructura descrita en la Patente WO2013/150347A1, la radiación solar es recibida en las paredes de una cavidad metálica del dispositivo. Tal cavidad define una parte de la carcasa del lecho de partículas y se extiende en el interior de este último. El lecho de partículas fluidizado sustrae la energía térmica procedente de la radiación solar concentrada de las paredes de la cavidad.

30

En presencia de flujos radiantes incidentes elevados, la estructura recién descrita tiene el inconveniente de exponer la superficie de la cavidad a altas temperaturas y gradientes térmicos que podrían afectar a la durabilidad y la resistencia termomecánica. Para reducir y controlar los flujos térmicos a los que están expuestas las paredes de la cavidad, el campo del heliostato puede organizarse en varias subsecciones dispuestas alrededor del dispositivo y configuradas para uniformar los flujos térmicos en la superficie de la cavidad. Sin embargo, tal configuración del campo del heliostato requiere una ocupación considerable de suelo para cada unidad de generación solar.

35

Además, la estructura descrita limita la temperatura máxima de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento e intercambio, ya que esto depende de la resistencia térmica del material que constituye las paredes de la cavidad. Dicha temperatura de funcionamiento también está condicionada por el modo en que se transfiere la energía térmica desde la cavidad al lecho de partículas y por la conductividad del material que constituye la propia cavidad.

40

En una segunda estructura conocida, no está dispuesta la cavidad mencionada anteriormente y el lecho de partículas del dispositivo de almacenamiento e intercambio recibe la radiación solar concentrada a través de una ventana de material transparente, normalmente cuarzo, obtenida en la carcasa del dispositivo.

45

Sin embargo, una criticidad de dicha segunda estructura consiste en que se debe evitar el contacto directo de la ventana transparente con el sólido fluidizado, y esto con el fin de limitar la aparición, con el tiempo, de fenómenos de deslustrado del material transparente que reducen la efectividad de recepción del mismo.

50

Una desventaja adicional relacionada con la utilización de medios de recepción del tipo de ventana transparente se refiere a la dificultad de producir ventanas de cuarzo en tamaños más grandes que los utilizados para plantas de laboratorio o de tipo prototipo.

55

Además, una desventaja adicional asociada a las dos estructuras mencionadas anteriormente, y en particular a medios de recepción relacionados con cavidades o ventanas, consiste en las pérdidas térmicas debidas a la nueva liberación hacia el entorno exterior de una parte de la energía solar incidente. Dicha parte depende de las características del material que constituye los medios de recepción.

60

Como consecuencia de lo que se acaba de señalar, los dispositivos mencionados anteriormente para almacenar y transferir energía térmica de origen solar pueden suponer un alto coste a la hora de producir energía eléctrica, que es sin embargo lejos de la denominada "*paridad de red*".

### Características de la invención

65

Por tanto el problema técnico identificado y resuelto por la presente invención es dar a conocer un dispositivo para almacenar y transferir energía térmica de origen solar que permita evitar las desventajas mencionadas anteriormente

con referencia a la técnica conocida.

Dicho problema se resuelve mediante un dispositivo según la reivindicación 1.

- 5 La invención da a conocer además una planta según la reivindicación 17 y un procedimiento según la reivindicación 18.

Las características preferentes de la presente invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

- 10 La invención da a conocer un dispositivo para recibir, almacenar y transferir energía térmica de origen solar basado en un lecho de partículas fluidizado. Este último es irradiado, es decir, impactado, de manera directa por la radiación solar concentrada, sin interposición de medios de recepción tales como por ejemplo cavidades o ventanas transparentes. Dicho de otro modo, el lecho fluidizado está en comunicación directa con el entorno externo por medio de una abertura de irradiación obtenida en la carcasa del dispositivo, preferentemente en una pared superior de la propia carcasa.

Por tanto, el dispositivo de la invención no dispone de una ventana transparente, u otras estructuras, interpuestas entre el entorno exterior/la radiación solar incidente y el lecho de partículas.

- 20 Ventajosamente, el dispositivo está asociado a un sistema óptico, estando este último constituido por heliostatos primarios y medios reflectantes secundarios, por ejemplo, espejos planos. Un sistema óptico de este tipo concentra la radiación solar en el dispositivo, en particular en una zona operativa del lecho dispuesto en la abertura de irradiación anteriormente mencionada.

- 25 En una configuración ventajosa, la irradiación se realiza desde la parte superior y se obtiene por medio de un sistema óptico del denominado tipo "*haz descendente*". Este último incluye un campo del heliostato, colocado en el suelo, asociado a uno o más reflectores secundarios dispuestos a una cierta altura, en concreto por encima del dispositivo.

- 30 La zona operativa mencionada anteriormente del lecho de partículas irradiada directamente por la radiación solar incidente es fluidificada según un régimen específico de dinámica de fluidos, es decir, hidrodinámico. Por tanto, el dispositivo comprende, o está asociado a, un sistema para distribuir y alimentar un gas fluidizante, preferentemente aire. Un sistema de distribución de este tipo puede disponerse en la base del lecho de partículas y es adecuado para establecer dicho régimen de dinámica de fluidos en la zona irradiada del lecho.

- 35 Los medios para distribuir o alimentar el aire de fluidización mencionados anteriormente están configurados para producir una fluidización diferenciada, y a continuación un régimen de dinámica de fluidos diferente, en la zona operativa con respecto a la parte restante del lecho, pudiendo ser designada esta última como zona de acumulación. Tal régimen de dinámica de fluidos diferente se asocia a una velocidad de fluidización diferente de las dos zonas del lecho.

En base a una primera variante de la realización, dicha velocidad de fluidización diferente es controlada para producir un volumen vacío dentro de la zona operativa, en particular en una forma cónica o sustancialmente cónica.

- 45 En una segunda variante, incluso dentro de la zona operativa están dispuestas velocidades de fluidización diferenciadas, para producir un movimiento circulatorio convectivo de las partículas. Estas últimas migran con continuidad, es decir, vuelven a circular entre las subzonas adyacentes de la zona operativa.

- 50 En base a una tercera variante de la realización, el régimen de dinámica de fluidos mencionado anteriormente (también) se obtiene con una partición física interpuesta entre la zona irradiada y la zona de acumulación. Incluso en este caso, se produce un movimiento convectivo y un cambio/recirculación de partículas por encima y por debajo de la partición entre las dos zonas.

- 55 Las variantes de la realización pueden proporcionar una selección, en un mismo dispositivo, del tipo de régimen de dinámica de fluidos que va a establecerse en las dos zonas mencionadas anteriormente, y esto por medio de un control diferenciado de las velocidades de fluidización dependiendo de las necesidades de funcionamiento específicas.

- 60 Las condiciones de fluidización inducidas en la zona operativa del lecho impactada por la radiación solar concentrada son tales que garantizan una elevada distribución de la energía térmica de origen solar en todo el volumen de la propia zona. Tal zona de lecho absorbe la energía térmica procedente de la radiación solar concentrada por el sistema óptico específico.

- 65 Gracias a la diferenciación del régimen de dinámica de fluidos de la zona operativa con respecto a la zona de acumulación, se permite el intercambio de las partículas expuestas directamente a la radiación solar y una transferencia y distribución de la energía térmica a la zona de acumulación.

En una configuración preferente, el dispositivo comprende, o está asociado a, medios para extraer el aire de fluidización que sale por la parte superior del lecho de partículas, en particular en la zona de lecho irradiado. Tales medios de extracción están configurados normalmente como medios de aspiración.

5 Los medios para extraer aire pueden ser configurados para mantener el entorno dentro del dispositivo y por encima de la superficie libre (*freeboard*) del lecho de partículas (es decir, el denominado *espacio de "superficie libre"*) en equilibrio de presión con el entorno externo o, preferentemente, en ligera depresión con respecto a este último. De este modo, tales medios evitan la salida hacia el entorno exterior del aire y posiblemente de polvo del lecho de partículas.

10 Ventajosamente se puede facilitar dicho equilibrio de presión mediante medios de control, por ejemplo, sensores de flujo, específicos en la tubería de aire de fluidización y en la tubería de extracción de aire, de manera que el flujo de aire extraído del lecho sea ligeramente mayor (por ejemplo, en un 10%) de la entrada de aire de fluidización en el lecho de partículas.

15 El aire que desde el entorno vuelve al dispositivo a través de la abertura de entrada de la radiación solar concentrada se calienta al pasar a través de dicha abertura introduciendo un contenido térmico en el aire extraído del dispositivo.

20 Todavía ventajosamente, en base al contenido térmico del aire de fluidización que sale del dispositivo, los medios para distribuir el aire de fluidización de entrada y los medios para extraer el aire de fluidización de salida pueden implementarse como sistemas sinérgicos que intercambian calor, implementando por tanto una fase regenerativa. En particular, el aire de fluidización extraído, calentado al pasar previamente a través de las partículas del lecho, puede ser enviado a un intercambiador regenerativo que precalienta el aire de fluidización que se envía a continuación al sistema para distribuir/alimentar el aire dentro del lecho de partículas. Dicho de otro modo, el aire que entra en el lecho de partículas se precalienta a expensas del contenido térmico del aire que sale del mismo.

25 En base a una variante de la realización preferente, el espacio mencionado anteriormente dentro de la carcasa más allá de la superficie libre del lecho granular está configurado para llevar a cabo la función de cámara impelente con respecto al movimiento de las partículas del lecho inducido por la fluidización.

30 Además o como alternativa al sistema mencionado anteriormente de contención del entorno dentro del dispositivo con respecto al entorno exterior basado en los medios de extracción de aire, se puede disponer un sistema de entrada de aire en la abertura de la carcasa. El flujo de aire introducido está configurado para contrastar, como una cortina de aire, con la salida hacia el exterior del aire de fluidización que sale del lecho.

35 En una variante de la realización, como dispositivo de seguimiento adicional o alternativo para controlar las pérdidas del material granular hacia el entorno exterior, está dispuesta preferentemente una estructura de contención, dispuesta en la abertura de irradiación. Dicha estructura de contención puede estar configurada como un cono divergente y ser solidaria con la carcasa o integrarse con la misma.

40 Incluso la estructura de contención cumple la función de cámara impelente, de parte de una cámara impelente o una cámara impelente adicional, para reducir drásticamente la velocidad superficial del aire de fluidización y las partículas sólidas expulsadas por encima de la superficie libre del lecho.

45 Preferentemente, en el caso de una estructura de contención cónica, los medios de extracción mencionados anteriormente comprenden una serie de salidas de aspiración que se desarrollan de manera ortogonal al eje del cono. Las salidas aspiran la suspensión de aire y polvos finos y pueden transportarla, por medio de un sistema de aspiración específico, a un sistema de tratamiento relacionado. Tales salidas pueden incluso estar en comunicación con el entorno de la *superficie libre* y en este caso transportan la suspensión dentro de la *superficie libre*, o incluso mejor en la parte de la misma fuera del departamento interno definido por el cono. En cualquier caso, la acción de las salidas produce un campo de movimiento del aire aspirado opuesto al flujo ascendente de la suspensión de sólidos.

50 El dispositivo de la invención normalmente comprende, o está asociado a, elementos de intercambio de calor sumergidos en el lecho granular, en particular, dispuestos en la zona de acumulación mencionada anteriormente. Tales elementos pueden incluir haces de tubos, preferentemente atravesados por un fluido de funcionamiento al menos en fases seleccionadas del funcionamiento del dispositivo.

55 Con respecto a los dispositivos de irradiación indirecta de la técnica conocida, el dispositivo de la invención permite transferir directamente la energía radiativa incidente al sólido fluidizado sin interposición de paredes u otras barreras. Se deduce que la temperatura máxima que puede obtenerse está limitada exclusivamente por las propiedades del sólido fluidizado y por tanto es intrínsecamente mayor que la que se puede tolerar en los sistemas conocidos con irradiación indirecta.

Además, la transferencia directa de la potencia radiativa incidente al sólido fluidizado se produce sin interposición de ventanas transparentes, siendo estas últimas fuentes potenciales de ensucio y deposición de polvos con el consiguiente deslustrado, aumento de la temperatura y establecimiento de gradientes térmicos. La ausencia de ventanas contribuye a proporcionar al dispositivo de la invención una mayor resistencia y durabilidad.

5 Además, incluso las ventajas del dispositivo de la invención empleado en una planta industrial para la producción, por ejemplo, de energía eléctrica, son numerosas.

10 En primer lugar, la ausencia de medios para recibir la radiación solar concentrada permite aumentar la temperatura de trabajo del lecho fluidizado. La consecuencia más inmediata de este evento es un aumento considerable en el rendimiento térmico del dispositivo.

15 Una vez que se ha fijado la cantidad de calor que se desea acumular, es decir, se ha fijado el múltiple solar (proporción entre la potencia transferida y la potencia acumulada) la posibilidad de aumentar la temperatura de funcionamiento del lecho de partículas implica incluso la disminución de la carga de partículas. Más detalladamente, una vez que se ha fijado la cantidad de energía térmica "Q" que se desea acumular, es proporcional a la masa del sólido "m" y a la variación de temperatura "ΔT" del mismo ( $Q \approx m\Delta T$ ). Con respecto a una planta de la técnica conocida, dado que el lecho de partículas puede alcanzar temperaturas más altas, la temperatura delta (ΔT) puede aumentar y la masa sólida puede disminuir.

20 Además, como no existe resistencia física vinculada a los medios de recepción, es posible tener una configuración del haz radiativo concentrado no necesariamente distribuido uniformemente en un anillo circular.

25 Dependiendo de lo que se acaba de ilustrar, incluso en el caso de un sistema óptico del tipo de "haz descendente", el campo del heliostato primario y el/los reflector(es) secundario(s) pueden ser posicionados de nuevo para obtener una mayor efectividad en la ocupación del suelo.

30 Las ventajas, características y modos de utilización adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de algunas realizaciones, mostradas a modo de ejemplo y no con fines limitativos.

### Breve descripción de las figuras

Se hará referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en los que:

35 la figura 1 muestra una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo para almacenar e intercambiar energía térmica de origen solar según una primera realización preferente de la invención;

40 la figura 1bis muestra una representación esquemática del dispositivo de la figura 1 introducido en una planta de producción de energía que incluye un sistema óptico;

la figura 1ter muestra una vista ampliada de algunos componentes de la figura 1bis, haciendo referencia en particular al dispositivo de la figura 1 y a algunos componentes de la planta;

45 la figura 2 muestra una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo para almacenar e intercambiar energía térmica de origen solar basado en una segunda realización preferente de la invención;

la figura 2bis muestra una vista esquemática desde la parte superior del dispositivo de la figura 2;

50 la figura 3 muestra una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo para almacenar e intercambiar energía térmica de origen solar basado en una tercera realización preferente de la invención;

la figura 4 muestra una vista esquemática en sección longitudinal de un dispositivo para almacenar e intercambiar energía térmica de origen solar basado en una variante de la configuración de la figura 1.

55 Las dimensiones y la inclinación mostradas en las figuras mencionadas anteriormente deben entenderse a modo de ejemplo y no están necesariamente representados en proporción.

### Descripción detallada de realizaciones preferentes

60 A continuación se describirán en el presente documento diversas realizaciones y variantes de la invención haciendo referencia a las figuras mencionadas anteriormente.

Los componentes similares están designados en las diferentes figuras con la misma referencia numérica.

65 En la siguiente descripción detallada, las realizaciones y variantes adicionales con respecto a las realizaciones y variantes ya tratadas en la misma descripción se mostrarán limitadas a las diferencias con respecto a lo que ya ha

sido mostrado.

Además, las diferentes realizaciones y variantes descritas a continuación en el presente documento están sujetas a poder utilizarse combinadas, cuando sea compatible.

5 Haciendo referencia a la figura 1, un dispositivo para almacenar e intercambiar energía térmica de origen solar según una primera realización preferente de la invención se designa como un todo con 1.

10 Tal como se muestra en las figuras 1bis y 1ter, el dispositivo 1 de la presente realización está destinado a ser introducido en una planta de producción de energía 500, en este caso una planta que incluye una serie de dispositivos como el que se considera en el presente documento.

15 La planta 500 comprende un sistema óptico configurado para enfocar una radiación solar incidente en el/los dispositivo(s) 1. Cada dispositivo puede estar asociado a su propio sistema óptico. Ventajosamente, un sistema óptico de este tipo tiene una configuración de "haz descendente". En particular, el sistema óptico puede comprender una serie de heliostatos primarios 501, o elementos ópticos primarios equivalentes, dispuestos en el suelo y adecuados para captar la radiación solar para desviarla/concentrarla en espejos reflectantes secundarios 502, o elementos ópticos secundarios equivalentes. Estos últimos están dispuestos a una cierta altura, por encima del dispositivo o los dispositivos 1 dispuestos en el suelo, y de hecho transmiten la radiación solar sobre el/los mismo(s) dispositivo(s).

20 La planta 500 puede incluir entonces, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 1ter, componentes para intercambiar calor o transformar energía y elementos de circuito, por ejemplo, una o más bombas, turbinas, condensadores, etc.

25 Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, el dispositivo 1 comprende en primer lugar una carcasa de contención 2, que define un compartimento interno 20, siendo este último adecuado para alojar un lecho de partículas fluidificables 3 que se describen a continuación. La carcasa 2 puede tener una forma geométrica poligonal, por ejemplo, cúbica o paralelepípedica, o cilíndrica.

30 Con respecto a la forma geométrica del dispositivo 1, puede definirse una dirección longitudinal L, en el presente ejemplo vertical, y una dirección transversal T, ortogonal a la dirección longitudinal L y en este ejemplo, entonces, horizontal.

35 La carcasa 2 tiene una abertura de irradiación 10, que está dispuesta preferiblemente en su propia pared superior 21. Los reflectores secundarios 502 mencionados anteriormente concentran la radiación solar incidente que efectivamente entra en tal abertura 10 y al interior del compartimento 20.

40 La abertura 10 pone en comunicación directa el compartimento interno 20, y el lecho 3 de partículas alojado en el mismo, con el entorno externo. En particular, la abertura 10 está desprovista, durante la utilización, de medios de cierre o filtro tales como por ejemplo ventanas transparentes u otros. Dicho de otro modo, el dispositivo 1 está configurado para funcionar sin medios de cierre o filtro. Durante los periodos de inactividad, la abertura puede cubrirse para proteger el sistema y el entorno exterior.

45 El lecho de partículas fluidificables 3 es de tipo granular, es decir, está formado por partículas sólidas.

50 El tipo preferido de material granular para el lecho de partículas del dispositivo 1 es de un tipo con características térmicas de alta conductividad y difusividad térmica y en particular con reducida abrasividad, para minimizar la producción de materiales finos. Un ejemplo de material granular preferido es la arena de río, que además de tener las características térmicas adecuadas, tiene la forma redondeada natural de las partículas que minimiza el fenómeno de abrasión mutua entre las mismas.

55 El lecho 3 ocupa el compartimento interno 20 para dejar, incluso durante la utilización, un espacio libre 22, o *superficie libre*, por encima de su propia superficie libre 35. En particular, el espacio 22 está delimitado en el lado inferior por la superficie libre 35 y en el lado superior por la pared 21 de la carcasa 2.

60 El lecho 3 define una primera zona de lecho 30 que es apta para ser irradiada directamente, es decir, impactada directamente por la radiación solar que entra a través de la abertura de irradiación 10. Dicha primera zona 30 se denominará zona operativa o irradiada. La parte restante del lecho, que rodea y se encuentra adyacente a la zona operativa 30, define una zona de acumulación de calor 31.

En términos generales, la zona operativa 30 está dispuesta centrada con respecto al lecho 3 y la zona de acumulación 31 la rodea y se encuentra adyacente a la misma de manera longitudinal.

65 El lecho 3 de partículas se pone en movimiento mediante los medios de fluidización 4 configurados para alimentar un gas fluidizante, en particular aire, dentro del compartimento 20. En la presente realización, los medios 4

## ES 2 746 005 T3

comprenden una serie de elementos para alimentar o introducir aire de fluidización, dispuestos en una base inferior 24 de la carcasa 2, es decir, del lecho 3 de partículas. La ruta del aire de fluidización dentro del lecho 3 de partículas va entonces de la parte inferior a la parte superior, en particular vertical o sustancialmente vertical.

5 En el presente ejemplo, dichos elementos de alimentación están dispuestos y, alimentan aire, tanto en la base de la zona de acumulación 31 como en la base de la zona operativa 30. En la figura 1, un elemento de alimentación de un primer tipo dispuesto en la zona operativa 30 está designado con 40, mientras que un elemento de alimentación de un segundo tipo asociado a la zona de acumulación 31 está designado con 41.

10 Los dos tipos de elementos de alimentación pueden diferir en cuanto a la velocidad, y en algunos casos en la tasa, del flujo de aire de fluidización que entra en el lecho 3 de partículas. Dichos elementos 40 y 41 pueden incluso resultar estructuralmente análogos entre ellos y controlarse de manera diferente en términos de velocidad y/o tasa.

15 Los medios 4 están configurados para determinar un primer régimen de fluidización de dinámica de fluidos de la zona operativa 30 diferente de un segundo régimen de fluidización de dinámica de fluidos de la zona de acumulación 31. En particular, tales regímenes de dinámica de fluidos primero y segundo se basan en diferentes velocidades de fluidización.

20 En la presente realización, durante la utilización, tanto el primer como el segundo régimen de dinámica de fluidos proporcionan un movimiento de las partículas, y por tanto una fluidización de las mismas. En particular, en el presente ejemplo el régimen de fluidización es de tipo de *borboteo*, por ejemplo, con chorro, fuente o impulsos, en el caso de la zona operativa 30 y de tipo ebullición en el caso de la zona 31, tal como se representa esquemáticamente por medio de burbujas de aire A en la figura 1.

25 El lecho fluidizado de tipo de *borboteo* generalmente es un lecho fluidizado en el que el régimen hidrodinámico se caracteriza por un chorro central de gas fluidizante en la base del mismo lecho, que debido a la gran diferencia en la velocidad superficial entre la mínima fluidización y la de funcionamiento, establece un movimiento arrastrado por la columna del lecho que insiste en el propio chorro y en las áreas pasadas por alto (cilíndricas) creando, de hecho, un efecto de fuente en la parte central alimentada por el sólido arrastrado en las partes laterales del chorro.

30 Las variantes de realización pueden facilitar que las partículas de la zona de acumulación 31 permanezcan, al menos de manera parcial, estacionarias.

35 Los diferentes regímenes de dinámica de fluidos permiten un intercambio de calor efectivo de las partículas de la zona operativa 30 con las de la zona de acumulación 31. Además, las partículas que pertenecen a las dos zonas están sujetas a un intercambio y recirculación continuos. En particular, durante la utilización, las partículas de la zona operativa 30 absorben la energía térmica procedente de la radiación solar y se la entregan a las partículas de la zona de acumulación 31.

40 En la realización específica considerada en el presente documento, los medios de fluidización 4 están configurados para determinar, durante la utilización, un régimen de dinámica de fluidos de la zona operativa 30 para obtener en dicha zona un volumen vacío 36. Este último tiene normalmente una forma sustancialmente cónica, con una sección más grande en la superficie libre 35 y un eje según la dirección longitudinal L.

45 En el presente ejemplo, el elemento de alimentación 40, dispuesto centrado en la zona operativa 30, introduce aire de fluidización a una cierta velocidad para producir dicho volumen vacío 36 que recibe el flujo solar. El intercambio de partículas desde la zona operativa 30 a la de acumulación 31, que permite maximizar la superficie de partículas expuesta a la radiación solar concentrada, está determinado por la menor velocidad del aire de fluidización, que es de diferente densidad, de la zona de acumulación 31 adyacente al volumen vacío 36.

50 Los elementos 5 de intercambio de calor están alojados dentro de la zona de acumulación 31, en particular, los haces de tubos. Un fluido de funcionamiento, por ejemplo, agua en estado líquido y/o vapor puede fluir a través de dichos haces de tubos, es decir bajo ciertas condiciones de uso.

55 En particular, en una fase de intercambio térmico, es decir, una fase de utilización de la energía térmica retenida, se puede hacer que el fluido de funcionamiento fluya en los haces de tubos 5 y reciba calor de las partículas de la zona de acumulación 31. Por el contrario, solo durante la fase de acumulación, los haces de tubos 5 pueden funcionar en seco, es decir sin fluido de funcionamiento.

60 La fase de acumulación puede activarse en presencia del sol. La fase de intercambio térmico, es decir, de transferencia de la energía térmica al fluido de funcionamiento, puede activarse incluso en ausencia del sol.

La fluidización del lecho 3 de partículas o de una zona 30 o 31 del mismo puede tener lugar incluso solo durante la fase de acumulación.

65 Se puede hacer que el fluido de funcionamiento que sale del dispositivo 1 bajo condiciones de presión y temperatura

de diseño se expanda en una turbina acoplada a un generador para la producción de energía eléctrica o se puede utilizar el mismo para otros fines industriales. Dicho de otro modo, y como ya se destacó anteriormente, los haces de tubos 5 están conectados a componentes adicionales de la planta 500, por ejemplo, una o más turbinas, condensadores, intercambiadores de calor, etc., cada uno conocido en sí mismo.

5 El dispositivo 1 comprende además medios de aspiración 6 para aspirar el aire de fluidización que ha terminado su propio recorrido dentro del lecho 3 de partículas. Tales medios de aspiración 6 están dispuestos dentro de la carcasa 2 por encima de la superficie libre 35 del lecho 3 de partículas. Los medios de aspiración 6 están configurados para evitar la entrada, o una entrada masiva, de aire de fluidización y/o de las partículas arrastradas de ese modo en el  
10 entorno exterior a través de la abertura 10.

En el presente ejemplo, los medios de aspiración 6 están configurados para sustraer aire del espacio libre 22 en una parte superior de un faldón lateral, o paredes laterales, 23 de la carcasa 2.

15 Ventajosamente, los medios de aspiración 6 proporcionan medios de control (no mostrados), preferentemente sensores de flujo, que en sinergia con medios de control (no mostrados) adicionales asociados a los medios de fluidización 4, determinan un flujo de aire extraído por el dispositivo 1 igual o superior al flujo de entrada de aire de fluidización en el lecho de partículas.

20 En el segundo caso, los medios de aspiración provocan un retorno de aire del entorno al dispositivo a través de la abertura de entrada 10 de la radiación solar concentrada. Dicho aire se calienta al pasar a través de la abertura de entrada 10, enriqueciéndolo con un contenido térmico que es aportado al aire extraído por el dispositivo 1.

25 Ventajosamente, el dispositivo 1 proporciona un intercambio de calor entre el aire de fluidización (calentado) que sale del lecho 3 de partículas a la superficie libre 35 del lecho y es aspirado por los medios 6 y el aire de fluidización que entra en el lecho 3 de partículas por medio de los medios de fluidización 4. Dicho de otro modo, está dispuesta una regeneración de calor, obtenida mediante medios de intercambio térmico.

30 En la presente realización, el dispositivo 1 tiene una cámara impelente en la superficie libre 35 del lecho 3 de partículas. Dicha cámara impelente se entiende como un área de nula o baja velocidad para las partículas del lecho y se define, en el presente ejemplo, por el espacio libre 22.

Incluso la cámara impelente 22 contribuye a evitar una salida, o una salida masiva, de aire y/o partículas a través de la abertura 10.

35 En la presente realización, el dispositivo 1 comprende además medios de entrada 7 para la entrada de un gas de contención, en particular aire, en forma de un flujo laminar. Este último es adecuado para producir una barrera (adicional) contra la salida de partículas hacia el exterior.

40 Los medios 7 están dispuestos por encima de la superficie libre 35 del lecho 3 de partículas, en particular en la abertura de irradiación 10. Preferentemente, la disposición es tal que el flujo laminar se emita exactamente en la abertura 10, paralelamente a la dirección transversal de desarrollo T de esta última, para formar una especie de ventana gaseosa de cierre de la misma.

45 Las variantes de la realización pueden proporcionar una serie de aberturas de irradiación. En el caso de múltiples aberturas, cada una seguirá la posición válida para el caso de una sola abertura tal como se describe en el presente documento. Las diferentes aberturas pueden estar asociadas a una zona operativa común o a diferentes zonas operativas.

50 Con referencia ahora a las figuras 2 y 2bis, un dispositivo basado en una segunda realización de la invención se designa como un todo con 100. El dispositivo 100 difiere del dispositivo 1 previamente descrito en dos aspectos principales.

55 Una primera diferencia radica en el régimen de dinámica de fluidos de la zona operativa o irradiada, designada en el presente documento con 130. En este caso, los medios de fluidización, designados con 104, están configurados para determinar, durante la utilización, dos velocidades de fluidización diferentes dentro de la zona operativa 130. De este modo, se determina en esta última un movimiento circulatorio convectivo de partículas sólidas. En particular, en una subzona central longitudinal de la zona operativa 130 la velocidad de las partículas es mayor que la de las subzonas laterales longitudinales. Se establece a continuación un régimen de dinámica de fluidos con lechos  
60 coaxiales con circulación interior, o incluso mejor subzonas coaxiales circulantes del lecho, en el que las subzonas son adyacentes según la dirección longitudinal L. El movimiento convectivo mencionado anteriormente, en la parte superior de las subzonas adyacentes del lecho, vierte las partículas de la subzona con mayor velocidad de fluidización en la subzona adyacente con menor velocidad de fluidización y atrae partículas de esta última dentro de la subzona con mayor velocidad en la parte inferior de las subzonas adyacentes.

65 Tal remezcla de las partículas de subzonas permite una transferencia de masa y de energía térmica en todo el

volumen de la zona operativa del lecho afectado por el punto solar y maximiza la superficie de partículas expuesta a la radiación solar concentrada.

5 Incluso en este caso están dispuestos elementos de alimentación 140 y 141, respectivamente, situados en la zona operativa 130 y en la zona de acumulación 131. Incluso en este caso, los elementos de alimentación 140 y 141 pueden ser diferentes en número y/o estructura, o tener una estructura análoga, pero diferente control, es decir diferentes parámetros de fluidización en términos de velocidad y/o flujo.

10 Una segunda diferencia del dispositivo 100 con respecto al dispositivo 1 de la primera realización consiste en la presencia de una estructura de contención 8 conformada, dispuesta en la boca de la abertura de irradiación 10, y en particular parcialmente dentro del espacio libre 22 del compartimento 20 y sobresaliendo parcialmente hacia el exterior. La estructura de contención 8 tiene una abertura pasante, es decir tiene estructura tubular, para permitir la comunicación directa entre el interior y el exterior de la carcasa por medio de la abertura de irradiación 10.

15 La estructura de contención 8 define una cámara impelente y por tanto contribuye a evitar o reducir la salida de aire y/o de las partículas hacia el exterior.

20 En la presente realización, la estructura de contención 8 tiene una forma ahusada, en particular cónica, con una sección decreciente hacia el interior de la carcasa 2. Dicha sección de la estructura de contención evita la interferencia con la dirección de la radiación solar concentrada por el sistema óptico específico que en el presente ejemplo es un sistema óptico de haz descendente con el campo del heliostato dispuesto en el suelo, preferentemente organizado en subcampos según las direcciones cardinales.

25 Además, en las paredes de la estructura 8 se obtienen salidas de aspiración de aire 60 o elementos de aspiración equivalentes que pueden estar en comunicación con el entorno de la *superficie libre*, es decir, pueden estar asociados a un sistema de aspiración específico. Cuando está en comunicación con la *superficie libre*, tales salidas 60 vierten el aire aspirado en el espacio comprendido dentro de la superficie libre 35 y la pared superior 21 de la carcasa 2. Desde este punto, incluso este flujo de aire es aspirado por los medios de aspiración 6 ya mostrados.

30 Haciendo referencia a la figura 3, un dispositivo basado en una tercera realización de la invención se designa como un todo con 200. El dispositivo 200 difiere del dispositivo 1 previamente descrito debido a la presencia de una o más particiones 9 dispuestas para separar la zona operativa, designada en el presente documento con 230, de la zona de acumulación, designada en el presente documento con 231.

35 En el caso de forma geométrica cilíndrica del compartimento 20, también puede disponerse una única partición 9 con forma geométrica cilíndrica. En el caso de forma geométrica poliédrica del compartimento 22, pueden disponerse varias particiones con forma geométrica plana.

40 Además, los medios de fluidización, designados con 204, están configurados para determinar, durante la utilización, una velocidad de fluidización diferente de la zona operativa 230 con respecto a la zona de acumulación 231. En particular, se determina un movimiento circulatorio convectivo de partículas entre la zona central 230 y la zona lateral 231, y por tanto un intercambio de partículas.

45 Cuando la velocidad del aire de fluidización de la zona operativa 230 es mayor que el de la zona adyacente de acumulación 231, las partículas de la zona operativa 230 se vierten sobre la partición 9 en la zona adyacente de acumulación 231, atrayendo partículas del fondo, debajo de la propia partición. Esta es la configuración mostrada en la figura 3.

50 Al invertir la magnitud de las velocidades del aire de fluidización perteneciente a la zona operativa 230 y a la zona de acumulación 231 se obtiene una inversión de la recirculación de las partículas con respecto a la partición 9.

55 En base a una variante de la realización a la que se refiere la figura 4, aparte de la zona operativa 30 que recibe la radiación solar concentrada y la zona de acumulación 31 adyacente a la misma, el lecho de partículas comprende incluso una zona adicional 310, que puede denominarse zona de intercambio térmico, adyacente a la zona de acumulación, fuera de esta última. A dicha zona adicional 310 puede ser transferida la energía térmica, en régimen de fluidización de las tres zonas o al menos de la zona adicional y de la de acumulación. En dicha zona adicional se pueden alojar los haces de tubos 5 mencionados anteriormente o medios equivalentes a los mismos.

60 En dicha configuración del dispositivo, cada parte del lecho de partículas está activa, es decir desempeña la función específica, cuando se fluidifica. En particular, en el caso de la zona adicional del lecho mencionada anteriormente se dispone una fluidización independiente para poder gestionar de manera separada la fase de acumulación y la fase de intercambio.

65 La zona adicional 310 puede implementarse como una subzona de la zona de acumulación en cada una de las realizaciones mostradas anteriormente, que pueden actuar preferentemente de manera selectiva en modos de funcionamiento específicos.

5 En todas las realizaciones y variantes descritas, el dimensionamiento de la zona operativa depende de la cantidad de energía térmica que tal zona tiene que absorber y de las características físico-químicas de las partículas que constituyen el lecho granular. Los modos de dicho dimensionamiento son conocidos de los expertos en la técnica y por lo tanto no se proporcionarán mayores detalles al respecto.

El dispositivo de la invención tiene naturaleza modular, es decir, es muy adecuado para ser conectado a uno o varios dispositivos análogos en serie o en paralelo con respecto al intercambio térmico.

10 Además, los tipos de dispositivos mencionados anteriormente según las diferentes realizaciones descritas pueden asociarse favorablemente para una mayor flexibilidad en la producción y/o funcionamiento de la planta industrial en base a varios dispositivos de la invención.

15 En todas las realizaciones y variantes descritas, el transporte de energía desde el haz radiativo concentrado al lecho fluidizado se asigna al material granular que se convierte en el portador primario de la energía térmica, de manera diferente de los medios de recepción tradicionales con membrana o ventana transparente que, al interponerse entre la energía concentrada y el portador de calor correlacionado, determinan una separación física de los mismos.

20 La presente invención se ha descrito hasta el momento haciendo referencia a las realizaciones preferidas. Se entiende que pueden existir otras realizaciones que pertenecen al mismo núcleo inventivo, tal como se define por el ámbito de protección de las reivindicaciones presentadas a continuación.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) para el almacenamiento e intercambio de energía térmica de origen solar, dispositivo (1) que está configurado para recibir una radiación solar concentrada utilizando un sistema óptico, cuyo dispositivo (1):
- 5 - una carcasa (2) que define un compartimento interno (20) y tiene una abertura de irradiación (10) configurada para permitir la entrada de la radiación solar concentrada, cuya abertura (10) pone en comunicación directa dicho compartimento interno (20) con el entorno externo que carece, durante la utilización, de medios de cierre o de apantallamiento, estando dicha abertura (10) dispuesta preferentemente en una pared superior (21) de dicha carcasa (2);
- 10 - un lecho (3) de partículas sólidas fluidificables, alojado en dicho compartimento interno (20) de dicha carcasa (2),
- 15 - medios (4) de fluidización de dicho lecho (3) de partículas, configurados para alimentar un gas fluidizante dentro de dicho compartimento (20), cuyos medios de fluidización (4) están configurados para determinar un primer régimen de dinámica de fluidos en dicha zona operativa (30) diferente de un segundo régimen de dinámica de fluidos en dicha zona de acumulación (31), en el que en particular dichos regímenes de dinámica de fluidos primero y segundo se basan en diferentes velocidades de fluidización, estando el dispositivo (1) **caracterizado por que** el lecho (3) tiene una zona operativa (30) expuesta directamente, durante la utilización, a la radiación solar concentrada que entra a través de dicha abertura (10) y una zona de acumulación de calor (31) adyacente a la zona operativa 30; y **por que** la configuración general es tal que, durante la utilización, las partículas de dicha zona operativa (30) absorben energía térmica procedente de la radiación solar y se la entregan a las partículas de dicha zona de acumulación (31).
- 20
2. Dispositivo (1), según la reivindicación 1, en el que dichos medios de fluidización (4) están configurados para determinar, durante la utilización, la formación de un volumen vacío (36) en dicha zona operativa (30).
- 25
3. Dispositivo (100), según la reivindicación 1 o 2, en el que dichos medios de fluidización (104) están configurados para determinar, durante la utilización, al menos dos velocidades de fluidización diferentes dentro de dicha zona operativa (130).
- 30
4. Dispositivo (100), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de fluidización (104) están configurados para determinar, durante la utilización, un movimiento circulatorio convectivo de las partículas dentro de dicha zona operativa (130).
- 35
5. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de fluidización (4) están configurados para determinar, durante la utilización, un régimen de dinámica de fluidos de tipo de *borboteo* en dicha zona operativa (30).
- 40
6. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de fluidización (4) están configurados para determinar, durante la utilización, un régimen de lecho de ebullición en dicha zona de acumulación (31).
- 45
7. Dispositivo (200), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una o más particiones de separación (9) dispuestas entre dicha zona operativa (230) y dicha zona de acumulación (231).
- 50
8. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de fluidización (4) incluyen elementos de alimentación de gas fluidizante (40, 41) dispuestos en una base inferior (24) de dicho lecho (3) de partículas o de dicha carcasa (2).
- 55
9. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende medios de aspiración (6) para aspirar el gas fluidizante, dispuestos dentro de dicha carcasa (2) por encima de la superficie libre (35) de dicho lecho (3) de partículas.
- 60
10. Dispositivo (1), según la reivindicación anterior, que comprende medios de intercambio de calor regenerativo entre el gas fluidizante que entra en dicha carcasa (2) mediante dichos medios de fluidización (4) y el gas fluidizante que sale de dicha carcasa (2) mediante dichos medios de aspiración (6).
- 65
11. Dispositivo (1), según la reivindicación 9 o 10, en el que dichos medios de aspiración (6) están configurados para extraer del dispositivo (1) un flujo de gas fluidizante igual o superior a la velocidad del flujo de aire de fluidización alimentado al interior de dicho lecho (3) de partículas.
12. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, por encima de una superficie libre (35) de dicho lecho (3) de partículas, una cámara impelente (22) de un movimiento de fluidización de las partículas de dicho lecho (3).

13. Dispositivo (1), según la reivindicación anterior, en el que dicha cámara impelente (22) está definida por un espacio en calma interpuesto entre la superficie libre (35) de dicho lecho (3) de partículas y dicha pared superior (21) de dicha carcasa (2).
- 5 14. Dispositivo (100), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una estructura de contención (8) conformada, configurada para contener las partículas de dicho lecho (3) dentro de dicha carcasa (2), cuya estructura de contención (8) está dispuesta en dicha abertura de irradiación (10) y sobresale preferentemente al menos parcialmente hacia el exterior con respecto a esta última, en el que preferentemente dicha estructura de contención (8) define al menos parte de dicha cámara impelente.
- 10 15. Dispositivo (100), según la reivindicación anterior, en el que dicha estructura de contención (8) tiene una forma ahusada, preferentemente cónica, con una sección decreciente hacia el interior de dicha carcasa (2).
- 15 16. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende medios de entrada (7) para introducir un gas de contención, preferentemente aire, dispuestos en dicha carcasa (2) por encima de la superficie libre (35) de dicho lecho (3) de partículas, preferentemente en dicha abertura de irradiación (10), cuyos medios de entrada (7) están configurados para suministrar un flujo laminar de gas adecuado para producir una barrera contra el escape de partículas hacia el exterior.
- 20 17. Dispositivo (1), según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende elementos de intercambio de calor (5) en los que, durante la utilización, fluye fluido de trabajo y que están dispuestos preferentemente en dicha zona de acumulación (31) del lecho (3) de partículas fluidificables.
- 25 18. Planta de producción de energía térmica (500), que comprende:
- al menos un dispositivo (1) para el almacenamiento e intercambio de energía térmica de origen solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y
  - un sistema óptico configurado para enfocar una radiación solar incidente en dicha abertura de irradiación (10), al menos, de dicho dispositivo (1), en la que dicho sistema óptico tiene preferentemente una configuración de "haz descendente" que comprende uno o varios elementos ópticos primarios (501) dispuestos en el suelo y uno o varios elementos ópticos de reflexión secundarios (502) dispuestos a una altura.
- 30 19. Procedimiento para el almacenamiento e intercambio de energía térmica de origen solar, cuyo procedimiento implica la irradiación de un lecho fluidizado (3) de partículas sólidas con una radiación solar concentrada utilizando un sistema óptico,
- 35 en el que dicho lecho (3) de partículas está alojado en una carcasa (2) dotada de una abertura de irradiación (10) configurada para permitir la entrada de la radiación solar concentrada, cuya abertura (10) pone en comunicación directa el lecho (3) de partículas con el entorno externo que no tiene medios de cierre o de apantallamiento,
- 40 en el que dicho lecho (3) de partículas tiene una zona operativa (30) expuesta directamente a la radiación solar concentrada que entra a través de dicha abertura (10) y una zona de acumulación de calor (31) adyacente a dicha zona operativa (30),
- 45 en el que dicho lecho (3) de partículas es fluidificado según un primer régimen de dinámica de fluidos obtenido en dicha zona operativa (30) diferente de un segundo régimen de dinámica de fluidos obtenido en dicha zona de acumulación (31), en el que dichos regímenes de dinámica de fluidos primero y segundo se basan en particular en diferentes velocidades de fluidización, y
- en el que la configuración general es tal que, durante la utilización, las partículas de dicha zona operativa (30) absorben energía térmica procedente de la radiación solar y se la entregan a las partículas de dicha zona de acumulación (31).
- 50 20. Procedimiento, según la reivindicación anterior, en el que dicha fluidización implica la formación de un volumen vacío (36) en dicha zona operativa (30).
- 55 21. Procedimiento, según la reivindicación 19 o 20, en el que dicha fluidización determina al menos dos velocidades de fluidización diferentes dentro de dicha zona operativa (130).
22. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, en el que dicha fluidización determina un movimiento circulatorio convectivo de partículas dentro de dicha zona operativa (130).
- 60 23. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 22, en el que dicha fluidización determina un régimen de lecho de tipo de *borboteo* en dicha zona operativa (30).
24. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 23, en el que dicha fluidización determina un régimen de lecho de ebullición en dicha zona de acumulación (31).
- 65 25. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 24, que emplea un dispositivo (1) o una planta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.

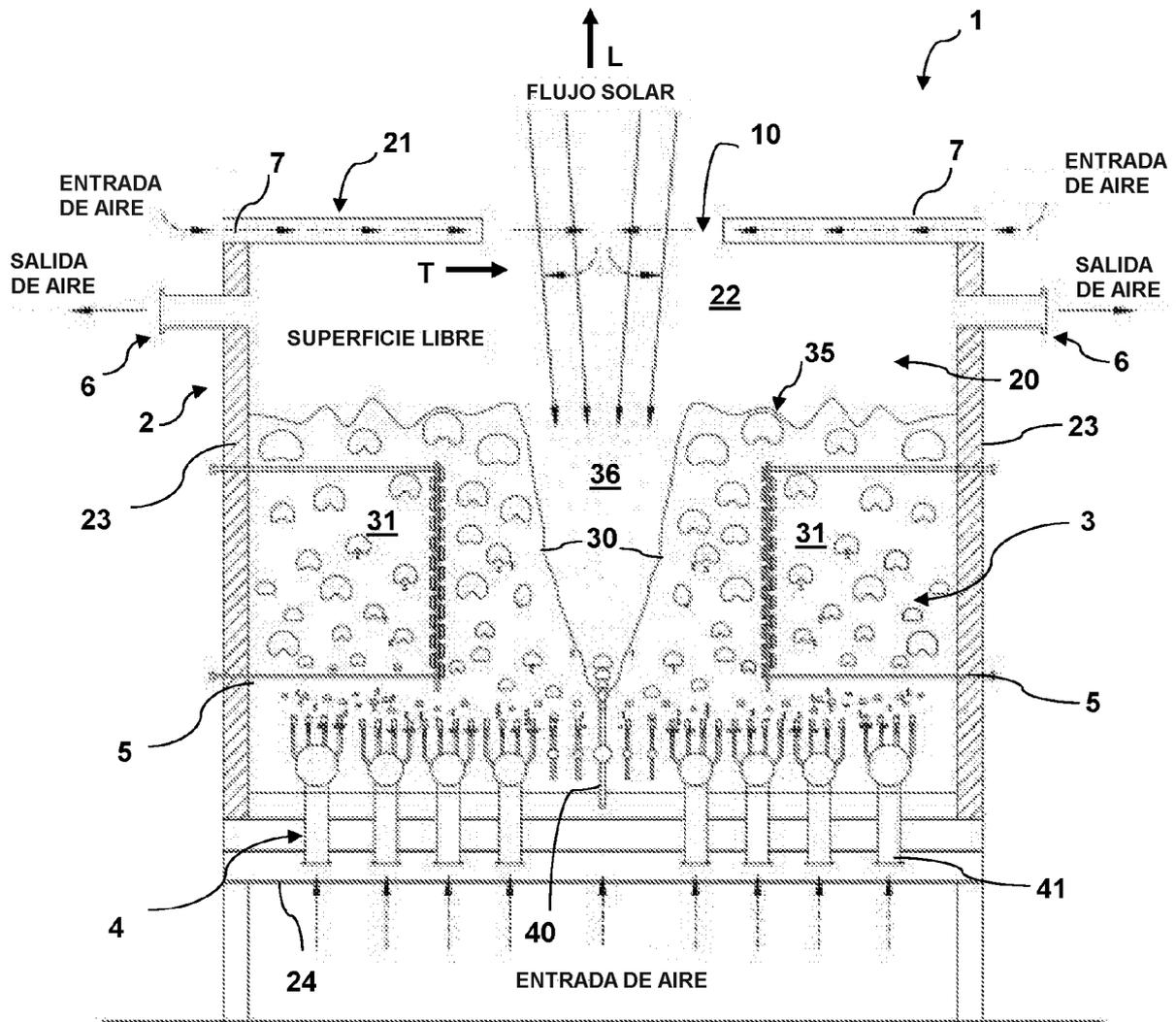


FIG. 1

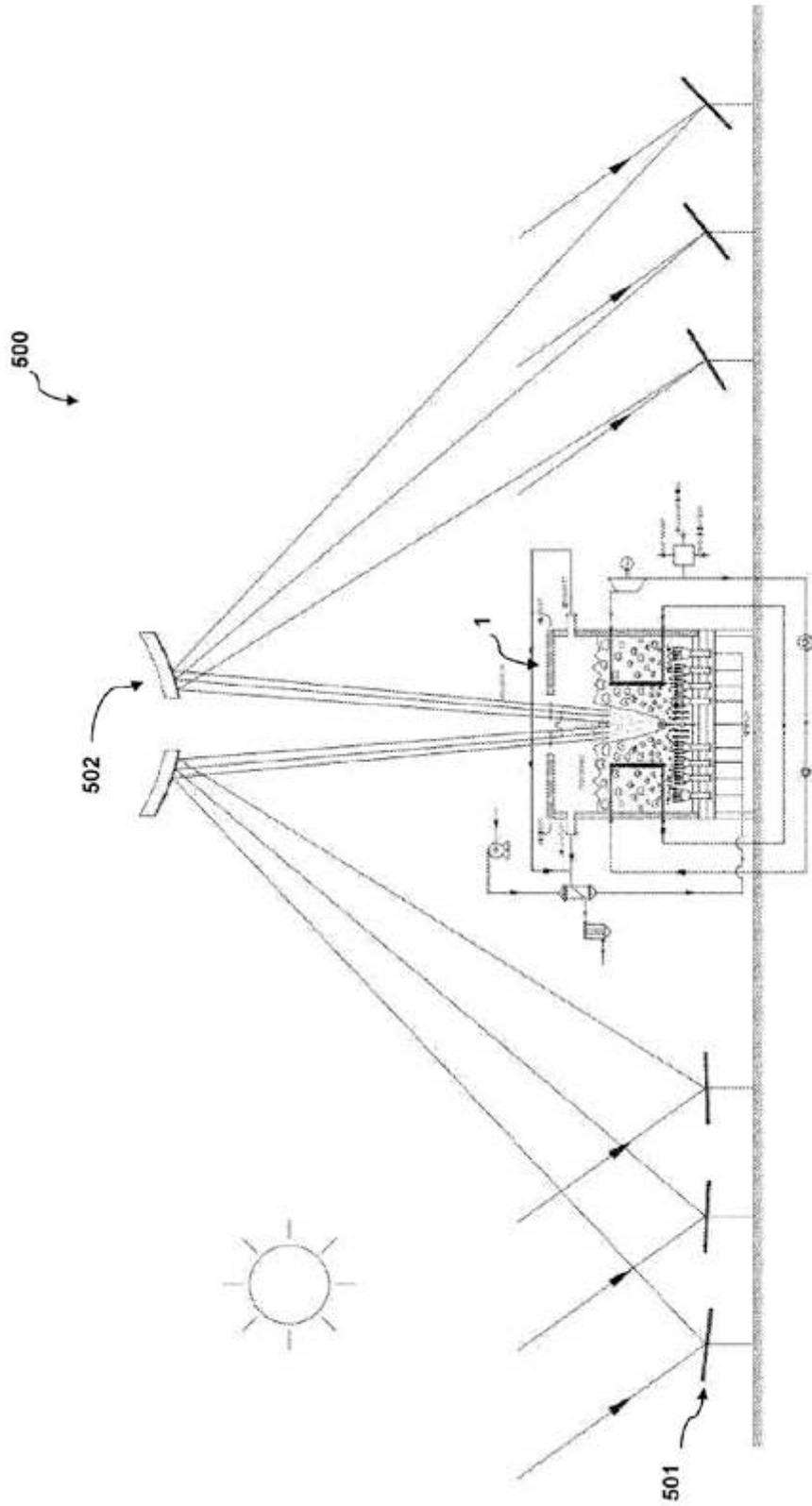


FIG. 1bis

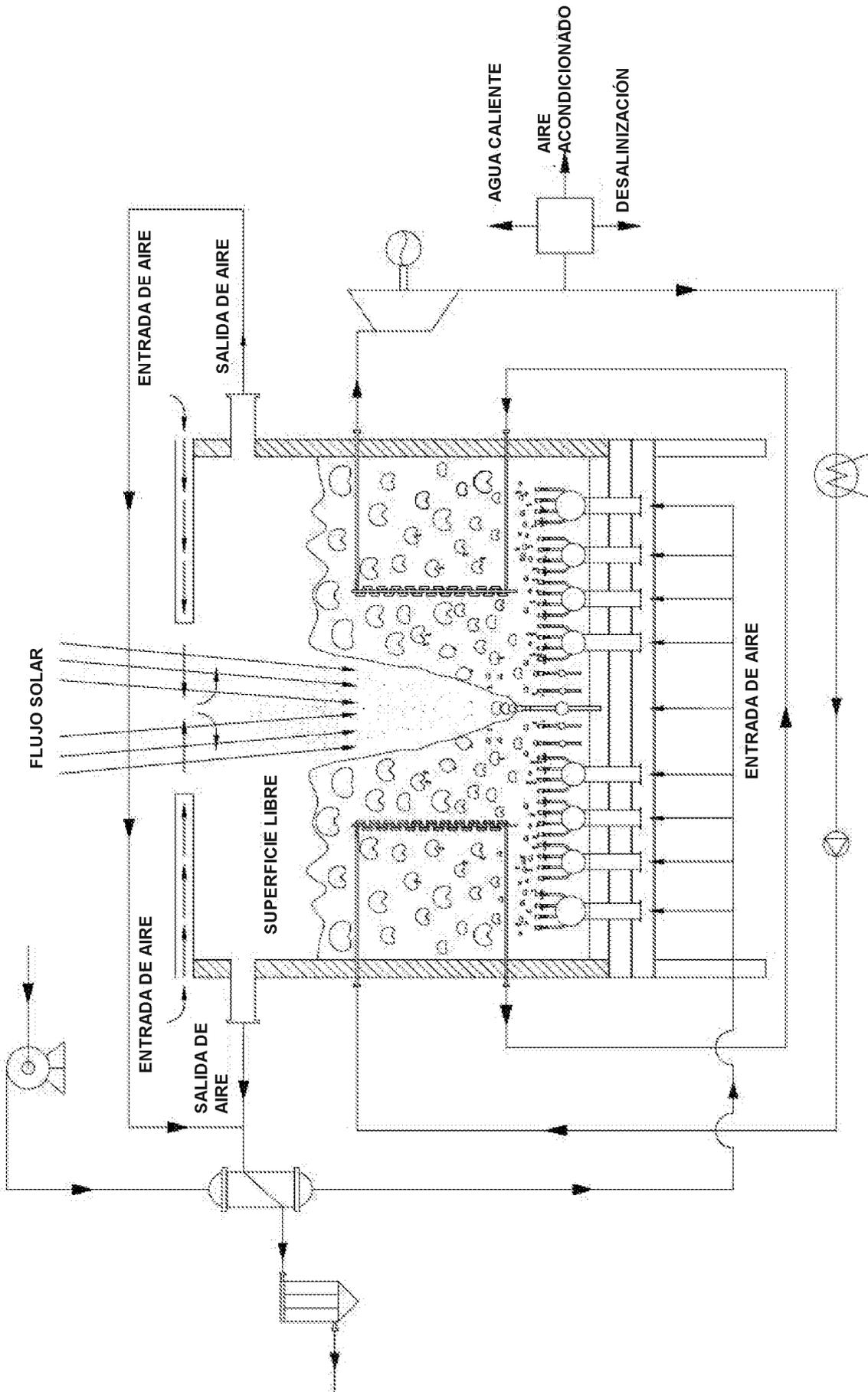


FIG. 1ter

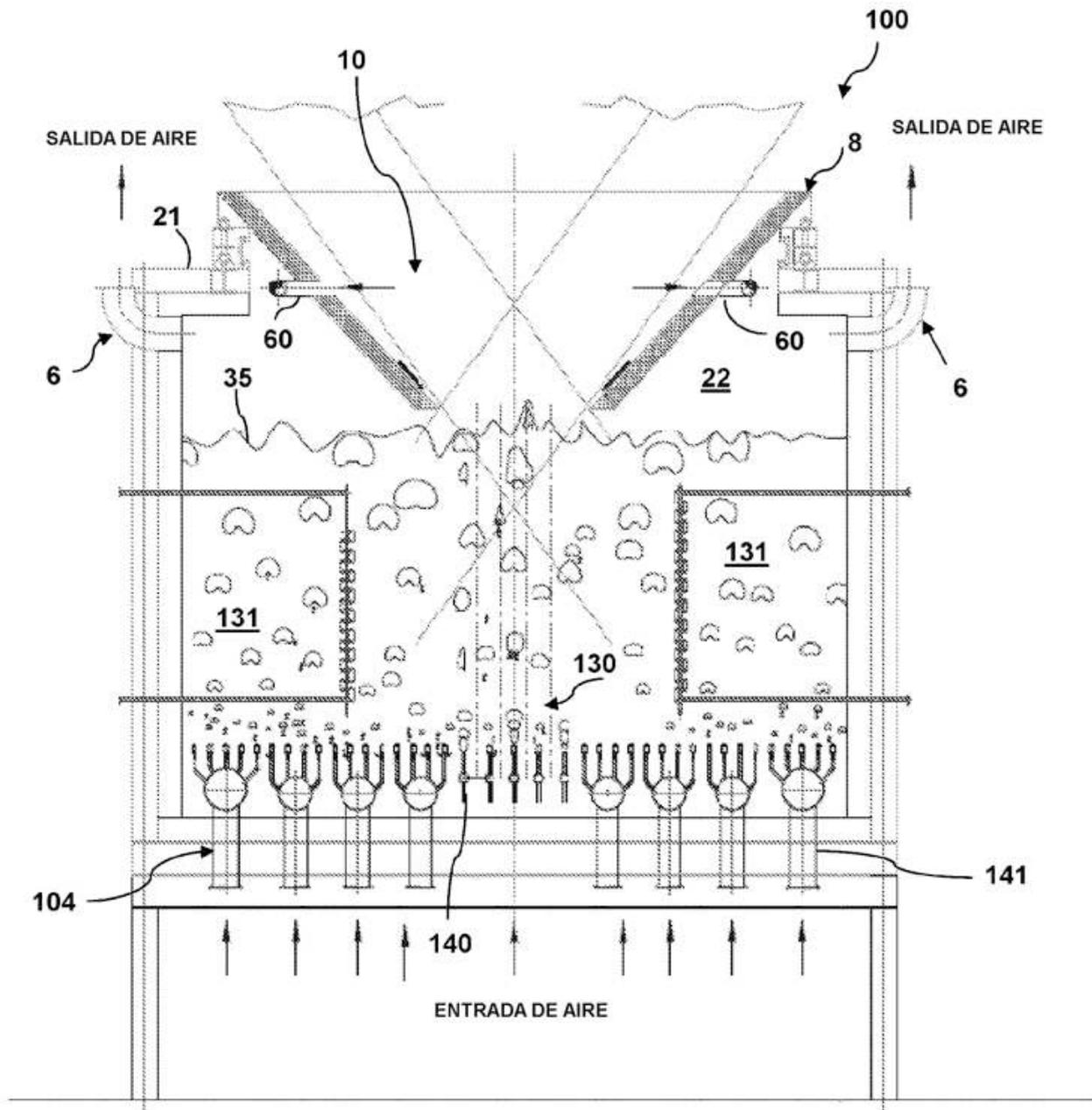
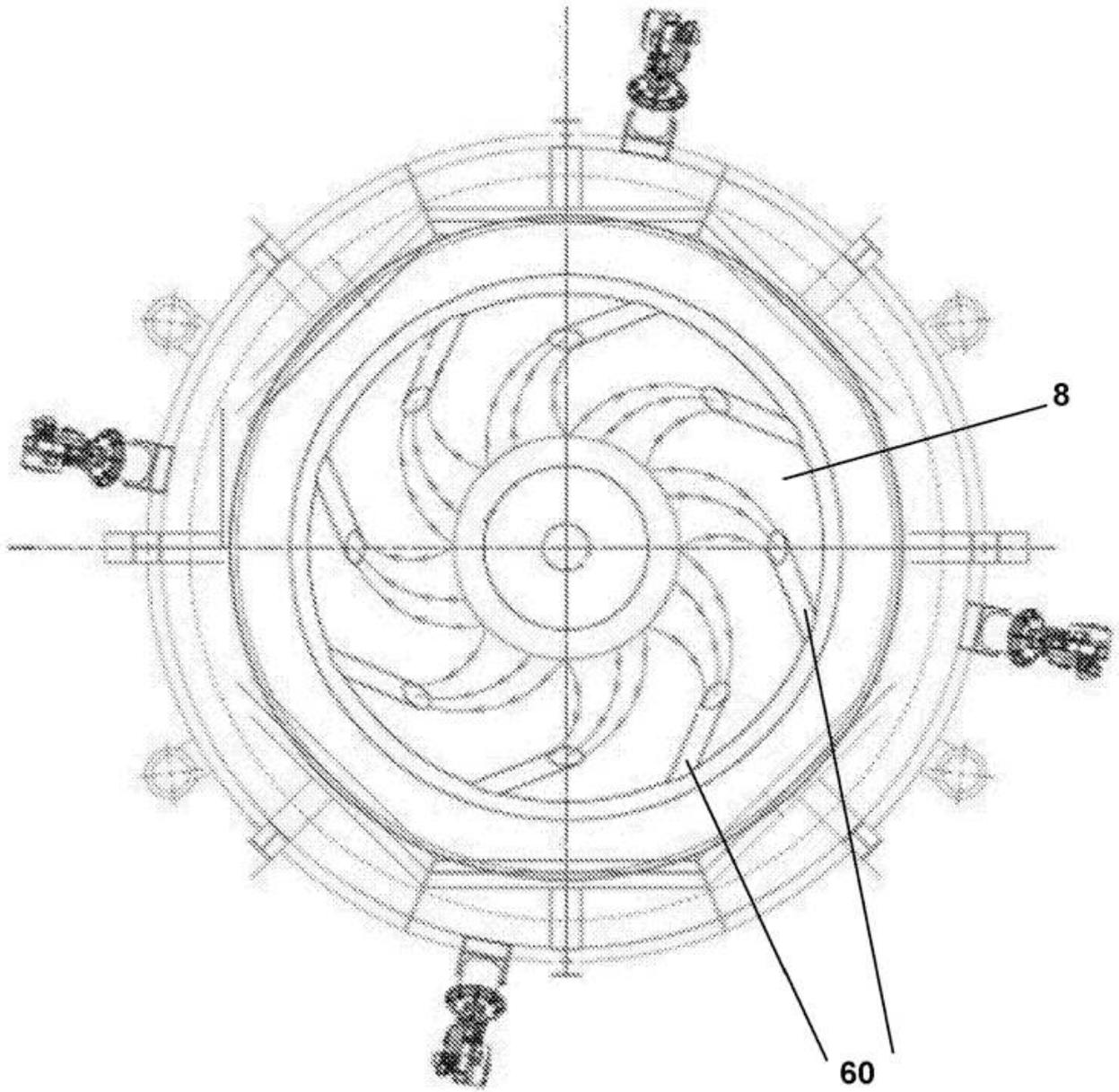


FIG. 2



**FIG. 2bis**

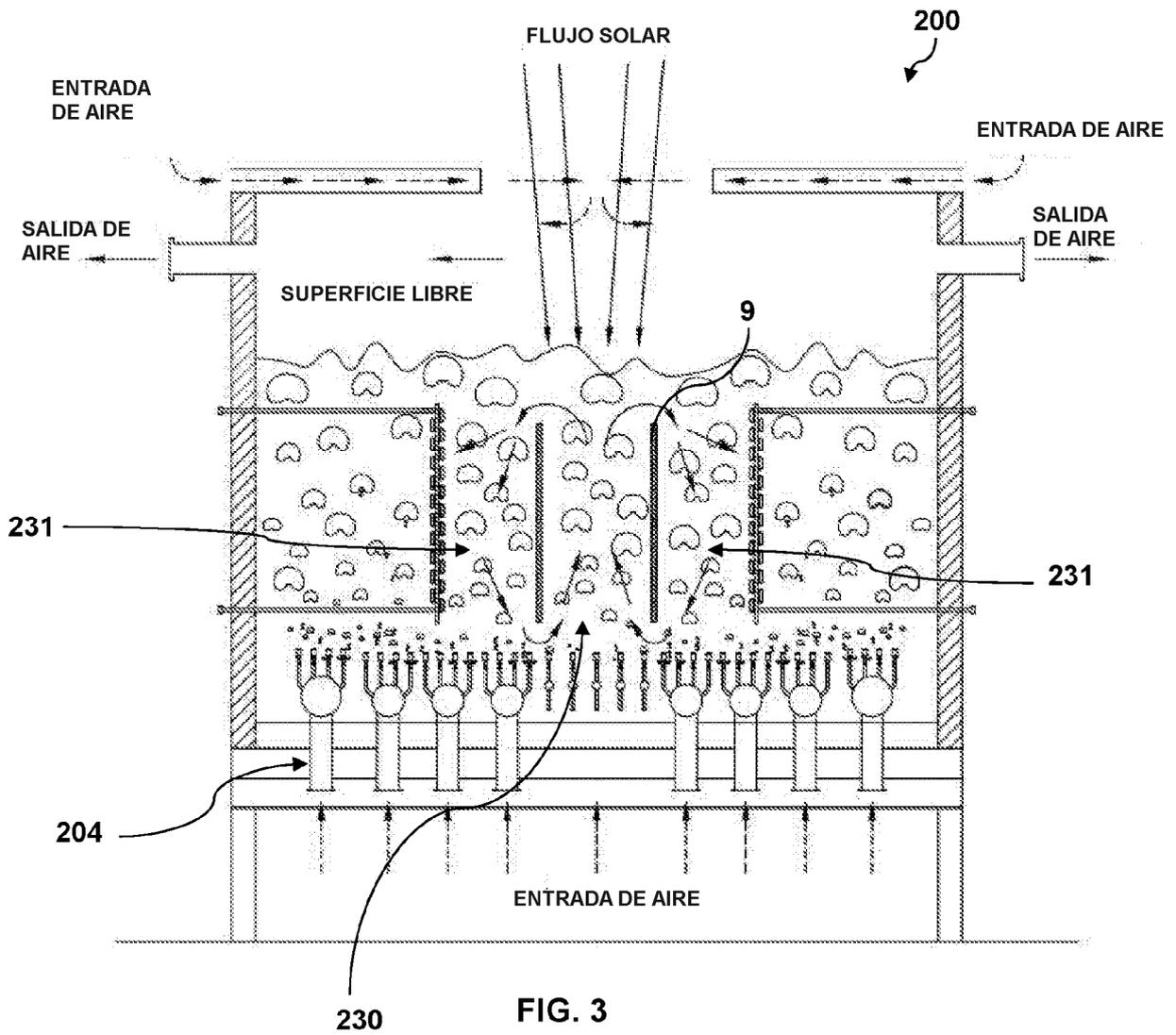


FIG. 3

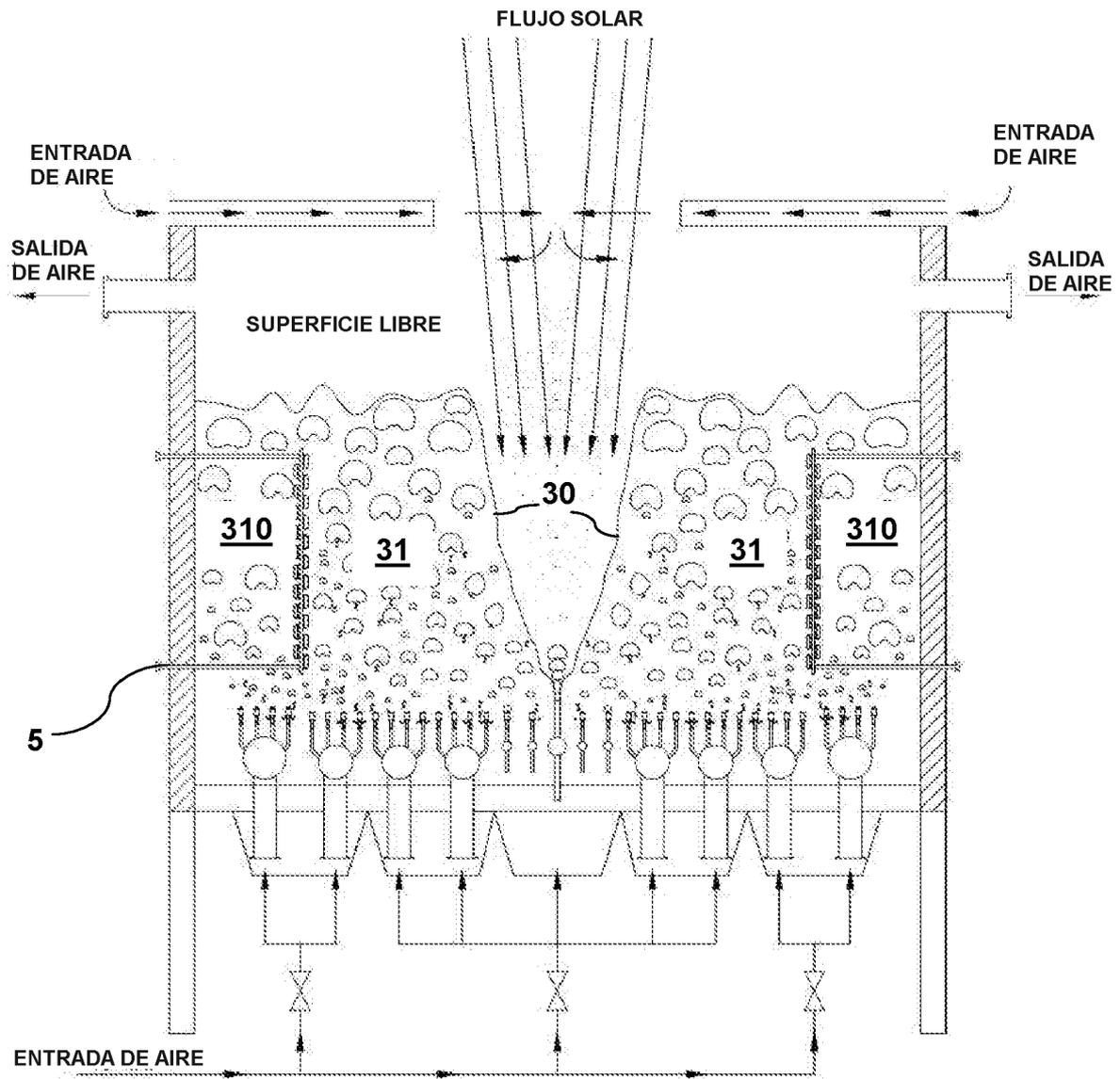


FIG. 4

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

10

- WO 2013150347 A1
- WO 2012153264 A2
- WO 2010049655 A1