

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 855 156**

51 Int. Cl.:

C04B 35/195 (2006.01)

C04B 35/478 (2006.01)

C04B 38/00 (2006.01)

F24S 20/20 (2008.01)

F24S 70/16 (2008.01)

F24S 80/60 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2012** **PCT/EP2012/054658**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012** **WO12126826**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2012** **E 12709874 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2021** **EP 2686619**

54 Título: **Módulo de absorción solar**

30 Prioridad:

18.03.2011 DE 102011005817

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

23.09.2021

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN INDUSTRIEKERAMIK
ROEDENTAL GMBH (100.0%)
Oeslauer Str. 35
96466 Rödental, DE**

72 Inventor/es:

HACK, UDO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 855 156 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

Módulo de absorción solar

La invención se refiere a una copa de absorción, un módulo de absorción solar y un procedimiento de fabricación de un módulo de absorción solar.

- 5 Los componentes cerámicos, como los módulos de absorción solar, se caracterizan por una resistencia especialmente alta a los gradientes térmicos elevados. Esto se aplica a lo largo del recorrido espacial de los módulos de absorción solar, así como en el caso de un cambio rápido de temperatura, la denominada carga de choque térmico.

- Esta propiedad es especialmente importante cuando los componentes cerámicos se utilizan como componentes de los módulos de absorción solar para el funcionamiento de las centrales térmicas solares de torre. En este caso, la luz solar se dirige mediante espejos de posicionamiento automático hacia un intercambiador de calor central de alta temperatura, el llamado receptor solar, en el que un gran número de módulos de absorción solar convierten la luz solar concentrada en calor. La superficie del módulo de absorción solar puede calentarse hasta temperaturas de 1380°C, mientras que las temperaturas técnicamente manejables se sitúan alrededor de los 1200°C. Un medio de transferencia de calor, como el aire, el gas o el vapor de agua, fluye por el interior del intercambiador de calor de alta temperatura. En el caso del aire y el gas, se genera vapor en un segundo intercambiador de calor, que se utiliza para accionar una turbina convencional y, en consecuencia, para generar energía eléctrica.

A partir del documento DE 100 07 648 C1 y del documento WO 2010/086443 A2, se conocen elementos constructivos y módulos absorbentes solares que comprenden embudos y cuerpos de panel de abeja fabricados con materiales cerámicos como el carburo de silicio y el carburo de silicio infiltrado.

- 20 Los módulos de absorción solar están expuestos a fuertes y rápidos cambios de temperatura durante su funcionamiento en las centrales termosolares. Estos cambios de temperatura suelen ser de hasta 200 °C/min y se producen, por ejemplo, debido al sombreado de la radiación solar cuando pasan los campos de nubes. Para estos módulos de absorción solar, se pretende una vida útil de al menos 20 años.

- 25 Los materiales cerámicos de carburo de silicio o de carburo de silicio infiltrado tienen las propiedades de material correspondientes en cuanto a resistencia térmica.

Sin embargo, en los módulos de absorción solar fabricados con carburo de silicio o carburo de silicio infiltrado se producen grandes pérdidas de calor y, por lo tanto, bajos rendimientos térmicos.

El objeto de la presente invención es proporcionar una copa de absorción y un módulo de absorción solar con bajas pérdidas de calor y una eficiencia térmica mejorada, manteniendo una resistencia suficiente.

- 30 De acuerdo con la invención, la tarea de la presente invención se resuelve mediante un módulo de absorción solar según la reivindicación 1. Las realizaciones preferentes se desprenden de las subreivindicaciones.

Además, la invención comprende un procedimiento de fabricación de un módulo de absorción solar.

Un uso del procedimiento de acuerdo con la invención se desprende de otras reivindicaciones.

- 35 El módulo de absorción solar de la invención comprende un panel absorbente fabricado con, por ejemplo, carburo de silicio o carburo de silicio infiltrado y una copa de absorción que comprende un material cerámico que tiene una conductividad térmica de $\leq 3 \text{ W/(m K)}$.

En una realización ventajosa del módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, el panel absorbente comprende un material cerámico que tiene una conductividad térmica de $\leq 2,5 \text{ W/(m K)}$, de modo particularmente preferente de $\leq 2 \text{ W/(m K)}$.

- 40 En una realización ventajosa del módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, la copa de absorción contiene cordierita y/o titanato de aluminio.

- 45 El panel absorbente incluye canales que conectan el lado de entrada de aire del panel absorbente con el lado de salida de aire del panel absorbente. La copa de absorción incluye una sección de forma cuadrada que sirve para recibir el panel de absorción, una sección en forma de embudo que concentra el aire aspirado y una sección reducida que dirige el aire aspirado a un sistema de conductos.

En el módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, la copa de absorción comprende cordierita fundida o titanato de aluminio fundido. Además, en el exterior de la sección cuadrada de la copa de absorción se dispone al menos un espaciador por lado. El espaciador tiene una distancia d desde el borde de ataque de la copa de absorción de entre el 15 % y el 80 % de la longitud c de la sección cuadrada.

- 50 En una realización preferente del módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, la sección de forma cuadrada de la copa de absorción tiene dos espaciadores por lado en su cara exterior. Lado significa en este caso cada uno de

los cuatro lados externos de la sección de forma cuadrada.

En una realización preferente del módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, el espaciador tiene una distancia d desde el borde frontal de la copa de absorción (3) del 25 % al 40 % de la longitud c de la sección cuadrada.

5 El material de cordierita de acuerdo con la invención contiene preferentemente de 30 % en peso a 60 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 30 % en peso a 60 % en peso de óxido de silicio (SiO_2), de 1 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO) y de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de circonio (ZrO_2) y/o de 0 % en peso a 5 % en peso de silicato de circonio (ZrSiO_4).

10 En una conformación preferente de la invención, el material de cordierita contiene de 50 % en peso a 65 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y de 3 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO). La composición puede contener otros aditivos e impurezas debido al proceso de fabricación, por ejemplo, de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), óxido de circonio (ZrO_2) y/o silicato de circonio (ZrSiO_4).

15 En una conformación especialmente preferente de la invención, el material de cordierita contiene de 52 % en peso a 62 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y de 5 % en peso a 7 % en peso de óxido de magnesio (MgO). La composición puede contener otros aditivos e impurezas debido al proceso de fabricación, por ejemplo, de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), óxido de circonio (ZrO_2) y/o silicato de circonio (ZrSiO_4).

20 En una conformación alternativa de la invención, el material de cordierita contiene de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 50 % en peso a 65 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y de 3 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO). La composición puede contener otros aditivos e impurezas debido al proceso de fabricación, por ejemplo, de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), óxido de circonio (ZrO_2) y/o silicato de circonio (ZrSiO_4).

25 En una conformación preferente de la invención, el material de cordierita contiene de 35 % en peso a 40 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y de 5 % en peso a 7 % en peso de óxido de magnesio (MgO). La composición puede contener otros aditivos e impurezas debido al proceso de fabricación, por ejemplo, de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), óxido de circonio (ZrO_2) y/o silicato de circonio (ZrSiO_4).

En una conformación preferente de la invención, el material de cordierita contiene de 1 % en peso a 30 % en peso, preferentemente de 20 % en peso a 30 % en peso de carburo de silicio.

30 Los módulos de absorción solar se calientan hasta 1200 °C en la parte frontal por la radiación solar concentrada. El aire se aspira a través del panel de absorción. El aire aspirado, calentado hasta 1000 °C en el centro del campo receptor, se recoge en la copa de absorción y se transfiere al interior de una tubería de conexión de doble pared en una construcción trasera de acero. Tras extraer la energía térmica en un segundo intercambiador de calor, el aire de retorno, enfriado a aproximadamente 120 °C, se recircula en el conducto de aire de retorno del tubo de doble pared y
35 enfría simultáneamente la estructura de acero.

El aire de retorno, enfriado a 120 °C, pasa por el exterior de la sección en forma de embudo de la copa de absorción y se calienta a aproximadamente 180 °C en el proceso. Al mismo tiempo, el aire dentro de la sección en forma de embudo de la copa de absorción, calentado a aproximadamente 1000 °C, se enfría por contacto con la pared de la copa de absorción enfriada desde el exterior.

40 La sección reducida de la copa de absorción y el tubo interior del tubo de doble pared suelen aislarse térmicamente, por ejemplo, mediante un material que comprende fibras de silicato de aluminio. En la región de la sección cuadrada y la sección en forma de embudo de la copa de absorción, dicho aislamiento es técnicamente muy difícil y costoso de implementar debido a la curvatura de los elementos estructurales.

45 En el estado de la técnica, el panel de absorción y la copa de absorción suelen fabricarse con materiales de carburo de silicio infiltrados. Los materiales de carburo de silicio infiltrados son muy adecuados para dispositivos resistentes a altas temperaturas debido a su alta resistencia a la flexión, en los que a menudo se producen grandes tensiones mecánicas debido a las altas diferencias de temperatura.

50 Sin embargo, los materiales de carburo de silicio infiltrados tienen una gran conductividad térmica, por lo que se producen grandes pérdidas de calor entre el aire de admisión caliente de aproximadamente 1000 °C y el aire de retorno enfriado a aproximadamente 120 °C.

La presente invención se basa en la idea de fabricación de la copa de absorción, y en particular la sección en forma de cuadrado y la sección en forma de embudo, a partir de un material de baja conductividad térmica. Esto reduce las pérdidas de calor y el enfriamiento del aire caliente de 1000 °C por contacto con las paredes de la copa de absorción.

La ventaja particular de las cerámicas que contienen cordierita o titanato de aluminio es su menor conductividad

térmica en comparación con los materiales de carburo de silicio infiltrados. La menor conductividad térmica de los materiales de cordierita y de titanato de aluminio genera menores pérdidas de calor, especialmente en la región de la sección en forma de embudo de la copa de absorción. Las menores pérdidas de calor se traducen en un mayor rendimiento térmico de la central termosolar.

- 5 Sin embargo, el uso de materiales de cordierita o titanato de aluminio no es obvio para el especialista en la técnica, ya que los materiales de cordierita y titanato de aluminio tienen una menor resistencia a la flexión que el carburo de silicio. Esto disuadiría al especialista de considerar los materiales de cordierita o titanato de aluminio.

- 10 Inesperadamente para el especialista, se ha comprobado que los módulos de absorción solar fabricados con materiales de cordierita o titanato de aluminio soportan las condiciones de uso en las centrales termosolares. Los materiales de cordierita o titanato de aluminio presentan una expansión térmica menor que el carburo de silicio infiltrado. La menor expansión térmica de los materiales de cordierita o titanato de aluminio compensa parcialmente su menor resistencia a la flexión en comparación con el carburo de silicio infiltrado. Además, los materiales de cordierita o titanato de aluminio presentan una excelente resistencia al choque térmico.

- 15 El módulo de absorción solar de acuerdo con la invención incluye una copa de absorción hecha de cordierita fundida o titanato de aluminio. Los estudios mostraron que las cerámicas fabricadas con cordierita fundida o titanato de aluminio tienen valores de conductividad térmica más bajos y valores de resistencia a la flexión más altos que las cerámicas de cordierita o de titanato de aluminio prensados de la técnica anterior. Esto se debe a la estructura de grano más fino de la barbotina cerámica durante la fundición en comparación con el material prensado.

- 20 El módulo de absorción solar de acuerdo con la invención tiene preferentemente una copa de absorción con una sección reducida para la conducción de aire que pasa a través del panel de absorción. Preferentemente, la copa de absorción de acuerdo con la invención comprende una sección cuadrada en forma de embudo que se abre en una sección circular reducida.

- 25 En el módulo de absorción solar de acuerdo con la invención, el eje longitudinal (L) de la copa de absorción es preferentemente paralelo a la dirección normal de la superficie del panel de absorción. Esto es particularmente ventajoso, ya que el aire aspirado puede fluir de manera uniforme en la copa de absorción y no se producen picos de temperatura desiguales en la región del borde de la copa de absorción.

- 30 La copa de absorción de acuerdo con la invención y el panel de absorción de acuerdo con la invención preferentemente contienen aberturas. Las aberturas del panel de absorción son opuestas a las aberturas de la copa de absorción en la posición de instalación. El panel de absorción puede estar conectado de forma suelta a la copa de absorción mediante la inserción de un pasador de cerámica en la abertura para compensar la expansión térmica diferencial entre el panel de absorción y la copa de absorción. Preferentemente, el pasador cerámico no se extiende más allá del borde de la copa de absorción y puede ser asegurado durante el montaje de los módulos absorbentes por, por ejemplo, una cinta adhesiva. Una vez instalada en una estructura de soporte, la clavija cerámica se asegura en la abertura mediante, por ejemplo, módulos de absorción solar adyacentes o límites de la estructura de soporte.

- 35 Otro aspecto de la invención comprende un conjunto de absorción solar que comprende una estructura de soporte y al menos un módulo de absorción solar de acuerdo con la invención. La estructura de soporte tiene una pluralidad de tubos de doble pared con conductos de aire de retorno. El conducto de aire de retorno está formado por el espacio entre el tubo interior y el tubo exterior del tubo de doble pared. Cada tubo interior sirve para recibir la sección reducida de una copa de absorción.

- 40 La tarea de la invención se resuelve además por medio de un procedimiento de fabricación de una copa de absorción a partir de un material cerámico que comprende cordierita fundida o titanato de aluminio fundido, en el que al menos:

a) se prepara un molde hueco que tiene la forma externa de una copa de absorción,

b) el molde hueco se rellena con una barbotina cerámica

c) se extrae el agua de la barbotina cerámica y se obtiene un cuerpo cerámico,

- 45 d) se retira el cuerpo cerámico del molde hueco; y

e) el cuerpo cerámico se cuece a una temperatura de 1300°C a 1450°C,

mientras la sección cuadrada presenta en su lado exterior al menos un espaciador por lado con una distancia d al borde de ataque de la copa de absorción del 15 % al 80 % de la longitud c de la sección cuadrada.

- 50 El molde hueco consiste, por ejemplo, en yeso u otro material higroscópico capaz de extraer la humedad de la barbotina cerámica.

En una realización preferente del procedimiento de acuerdo con la invención, la sección de forma cuadrada de la copa de absorción presenta dos espaciadores por lado en su cara exterior. Lado significa en este caso cada uno de los cuatro lados exteriores de la sección de forma cuadrada.

En una realización preferente del procedimiento de acuerdo con la invención, el espaciador presenta una distancia d desde el borde delantero de la copa de absorción del 25 % al 40 % de la longitud c de la sección cuadrada.

Como se demostró de manera inesperada en los ensayos de los autores de la invención, la distancia d del espaciador desde el borde delantero de la copa de absorción es de una importancia crucial para el procedimiento de acuerdo con la invención: Los cuerpos cerámicos de las copas de absorción en las que se conformaron los espaciadores hasta el borde delantero de las copas de absorción, mostraron deformaciones y pandeo de las paredes de la sección cuadrada después de la extracción del molde hueco. Estas deformaciones debieron retocarse mediante fresado o rectificado para permitir la inserción del panel de absorción. Asimismo, los cuerpos cerámicos de las copas de absorción, que no disponían de espaciadores, mostraron deformaciones y pandeo de las paredes de la sección cuadrada después de la extracción del molde hueco.

En el caso de los espaciadores dispuestos de acuerdo con la invención, que tenían una cierta distancia d desde el borde delantero de la copa de absorción, no se produjeron deformaciones notables de las paredes de la sección cuadrada. Se comprobó que la distancia d al borde delantero de la copa de absorción era adecuada, oscilando entre el 15 % y el 80 % de la longitud c de la sección cuadrada.

En otra realización del procedimiento de acuerdo con la invención, después de retirar el molde hueco en la etapa (d), se realizan aberturas en el panel absorbente y/o la copa de absorción. Las aberturas se realizan preferentemente en el cuerpo cerámico sin cocer mediante perforación, punzonado o corte por chorro de agua.

En una realización preferente de la invención, la barbotina cerámica para producir la copa de absorción contiene un polvo de titanato de aluminio en el que el 80 % en peso de los granos de polvo tienen un tamaño de grano de aproximadamente 30 μm y el 20 % en peso tienen un tamaño de grano de 1 μm . La conductividad térmica de una cerámica hecha de titanato de aluminio de acuerdo con la invención es de aproximadamente 1,5 W/ (m K) a 3 W/ (m K), y la resistencia a la flexión es de aproximadamente 15 MPa a 100 MPa.

Otro aspecto de la invención comprende un módulo de absorción solar, en el que la copa de absorción del módulo de absorción solar se fabrica de acuerdo con el procedimiento de la invención descrito anteriormente.

La invención comprende además la utilización de un módulo de absorción solar de acuerdo con la invención en una central solar térmica, por ejemplo, como intercambiador de calor de alta temperatura.

La invención se explicará con más detalle a continuación con referencia a un dibujo y un ejemplo. El dibujo no está totalmente a escala. La invención no está limitada en modo alguno por el dibujo. Se muestra en las figuras:

Figura 1 A una vista lateral del lado longitudinal de un módulo de absorción solar,

Figura 1 B una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección A-A de la Figura 1 A,

Figura 2 A una vista lateral del lado longitudinal de un panel absorbente,

Figura 2 B una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección C-C de la Figura 2 A,

Figura 3 A una vista lateral del lado longitudinal de una copa de absorción,

Figura 3 B una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección E-E de la Figura 3 A,

Figura 4 una vista en sección de dos módulos de absorción solar de acuerdo con la invención y tomas de tubo de doble pared,

Figura 5 una representación espacial de un conjunto de módulos solares con estructura de soporte, y

Figura 6 un diagrama de flujo detallado del procedimiento de acuerdo con la invención.

La Figura 1 A muestra una vista lateral del lado longitudinal de un módulo de absorción solar 1 y la Figura 1 B muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea A-A de la Figura 1 A. El módulo de absorción solar 1 comprende un panel de absorción 2 y una copa de absorción 3.

La Figura 2 A muestra una vista lateral del lado longitudinal de un panel absorbente 2. El panel absorbente 2 incluye canales 8 que se extienden sustancialmente en línea recta a través del panel absorbente 2. Los canales 8 conectan el lado de entrada de aire 2.1 con el lado de salida de aire 2.2 del panel absorbente 2. La Figura 2 B muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea de sección C-C de la figura 2 A. Los canales 8 en este caso, por ejemplo, se dispusieron en forma de cuadrícula. En una realización ventajosa del panel absorbente 2 de acuerdo con la invención, los canales 8 son poligonales y están dispuestos en forma de panel. El panel absorbente 2 tiene, por ejemplo, una sección transversal sustancialmente cuadrada con una longitud de borde de 140 mm y un espesor de 60 mm en el punto más grueso.

La Figura 3 A muestra una vista lateral del lado longitudinal de una copa de absorción 3 y la Figura 3 B muestra una

vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección E-E de la figura 3 A. La copa de absorción 3 consta de una sección cuadrada 3.0 y una sección cuadrada en forma de embudo 3.1 que se abre en una sección circular reducida 3.2. La sección cuadrada 3.0 se utiliza para recibir el panel absorbente 2, y la sección en forma de embudo 3.1 se utiliza para concentrar el flujo de aire que pasa a través del panel absorbente 2. La sección reducida 3.2 sirve para reenviar el aire aspirado a través del panel absorbente 2. Por ejemplo, la copa de absorción 3 tiene una longitud de 154 mm. La longitud c de la sección cuadrada 3.0 es, por ejemplo, de 25 mm, la longitud b de la sección en forma de embudo 3.1 es, por ejemplo, de 57 mm y la longitud a de la sección reducida es, por ejemplo, de 72 mm. En la sección en forma de embudo 3.1, la copa de absorción 3 tiene una sección transversal sustancialmente cuadrada con una anchura exterior de 140 mm y una anchura interior de 133 mm. La sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3 y el panel de absorción 2 están adaptados entre sí de tal manera que es posible una instalación de ajuste preciso con un espacio de unión de 0,5 mm a 1 mm. La sección reducida 3.2 de la copa de absorción 3 es cilíndrica y tiene un diámetro interior de, por ejemplo, 72 mm y un diámetro exterior de 80 mm.

El lado exterior 3.4 de la copa de absorción 3, en la región de la sección cuadrada 3.0, por ejemplo, presenta ocho espaciadores 9, dos de los cuales están dispuestos en cada lado de la sección cuadrada 3.0. Los espaciadores 9 tienen una distancia d desde el borde frontal 3.3 de la copa de absorción 3 de 4 mm a 20 mm, y por ejemplo de 8 mm. La distancia d del espaciador 9 desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 es preferentemente del 15 % al 80 % de la longitud c de la sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3, y particularmente del 25 % al 40 %. El espaciador 9 se extiende, por ejemplo, hasta la transición de la sección cuadrada 3.0 a la sección en forma de embudo 3.1.

La distancia d del espaciador 9 desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 es, como ya se ha explicado anteriormente, de importancia crucial para el procedimiento de fabricación de la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención. Un espaciador 9 con una distancia desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención estabiliza la pared de la sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3 cuando se extrae del molde hueco.

La sección reducida 3.2 de la copa de absorción contiene en su interior, por ejemplo, un aislamiento tubular 3.21 de lana de silicato de aluminio, por ejemplo, del material Kerform KVS 154 de la empresa Rath AG, Viena, Austria, con una conductividad térmica de 0,23 W/mK a una temperatura de 1000 °C.

Por ejemplo, la copa de absorción 3 comprende un material cerámico de alta temperatura de cordierita, que contiene un 57 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), un 35 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y un 6 % en peso de óxido de magnesio (MgO), más aditivos de fabricación. Sin embargo, la barbotina de colada es de grano más fino que los materiales de cordierita prensada para permitir que la barbotina drene suavemente de la superficie interior del molde de colada hueco. Por ejemplo, el material de cordierita se forma en la copa de absorción 3 mediante un proceso de fundición. El panel absorbente 2 incluye, por ejemplo, carburo de silicio infiltrado.

La copa de absorción 3 y el panel de absorción 2 tienen aberturas 5. En una posición instalada, las aberturas 5 de la copa de absorción 3 se enfrentan a las aberturas 5 del panel de absorción 2. Por ejemplo, las aberturas 5 tienen un diámetro de 4,5 mm. Las aberturas 5 en el panel absorbente 2 tienen, por ejemplo, una profundidad de 6 mm. El panel de absorción 2 está conectado a la copa de absorción 3 por medio de clavijas cerámicas insertadas en las aberturas 5. Las clavijas de cerámica tienen, por ejemplo, forma de varilla, con un diámetro de 4 mm y una longitud de 10 mm. Las clavijas de cerámica preferentemente no sobresalen de la copa de absorción 3 y se fijan, por ejemplo, mediante una cinta adhesiva durante la instalación.

La Figura 4 muestra una vista en sección transversal de dos módulos de absorción solar 1.1, 1.2 de acuerdo con la invención y una toma de tubo de doble pared 4. El tubo interior 4.2 del tubo de doble pared 4 tiene un aislamiento 4.3 de un papel de fibra cerámica, por ejemplo, de varias capas de un papel de fibra de silicato de aluminio de 3 mm de espesor del tipo Alistra 1400 de la empresa Rath AG, Viena, Austria.

Durante el funcionamiento de una central termosolar, el panel absorbente 2 se expone a la radiación solar con su lado de entrada de aire 2.1, y se calienta. A continuación, se aspira aire I por el lado de entrada de aire 2.1. Después de pasar por el panel absorbente 2, por ejemplo, el aire aspirado I tiene una temperatura de hasta 1000 °C. En la zona de las paredes de la sección en forma de embudo 3.1 de la copa de absorción 3, el aire se enfría al entrar en contacto con la pared exterior más fría. En el interior de la copa de absorción 3, el aire aspirado I se transfiere desde la sección en forma de embudo 3.1 a la sección reducida 3.2 y luego se suministra a un recuperador de energía como aire expulsado II. Durante la recuperación de energía, el aire se enfría a temperaturas de aproximadamente 120 °C, por ejemplo. El aire de retorno enfriado III se devuelve a través de un conducto de aire de retorno 6. El conducto de aire de retorno 6 está formado por el espacio intermedio entre el tubo exterior 4.1 y el tubo interior 4.2 de un tubo de doble pared 4. El aire de retorno IV pasa por el espacio intermedio entre las secciones en forma de embudo 3.1 de la copa de absorción 3. Dado que la copa de absorción 3 no tiene aislamiento térmico en la sección en forma de embudo 3.1, se producen grandes pérdidas de calor en las copas de absorción 3 fabricadas con materiales con conductividades térmicas más elevadas de acuerdo con la técnica anterior. En la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención fabricada con materiales de cordierita fundida, las pérdidas de calor son menores. En particular, el aire de retorno IV se calienta a unos 180 °C en la sección no aislada en forma de embudo 3.1 de la copa de absorción 3. Las secciones de forma cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3 se mantienen a distancia por medio de separadores 9. La separación se mantiene incluso si la copa de absorción 3 se expande térmicamente debido al calentamiento. El aire de retorno IV sale de la disposición como aire de salida IV a través de los huecos creados por los separadores 9. La experiencia

demuestra que un máximo del 60 % del aire saliente IV puede ser aspirado de nuevo como aire aspirado I.

La Figura 5 muestra una representación espacial de una disposición de módulos solares 10 con una estructura de soporte 7. La estructura de soporte 7 comprende, por ejemplo, 15 tomas de tubo de doble pared 4. Cada toma de tubo de doble pared 4 sirve para recibir la sección reducida 3.2 de una copa de absorción 3 de un módulo de absorción solar 1.

- 5 La Figura 6 muestra un diagrama de flujo detallado del proceso de acuerdo con la invención. En una primera etapa (a), se realiza un modelo de la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención. Las dimensiones del modelo tienen en cuenta los márgenes de retracción por secado y cocción que pueden ser fácilmente determinados por los especialistas en la técnica. En una segunda etapa (b), se crea un molde de yeso hueco con la forma exterior de la copa de absorción 3 utilizando el modelo de la primera etapa (a). En una tercera etapa (c), el molde de yeso se rellena con una barbotina de cerámica.

- 10 La barbotina cerámica contiene, por ejemplo, componentes cerámicos del 7 % en peso de arcilla azul, 10 % en peso de arcilla, 32 % en peso de kerphalite (silicato de aluminio) de la empresa Damrec SAS, París, Francia, 16 % en peso de Sierrallite 2000 de la empresa Luzenac Europe SAS, Toulouse, Francia y 35 % en peso de mullita sinterizada, por ejemplo, de la empresa VAW Vereinigte Aluminiumwerke AG, Grevenbroich, Alemania. Las cifras en % en peso se refieren en cada caso a la masa seca. La kerphalite, por ejemplo, tiene tamaños de grano de 0 mm a 0,16 mm. La mullita sinterizada, por ejemplo, tiene tamaños de grano de 0 mm a 0,1 mm.

La barbotina cerámica contiene los componentes cerámicos en una suspensión con aproximadamente 28 % en peso de agua y otros excipientes comunes como 0,2 % en peso de plastificante y 0, 2% en peso de aglutinante.

- 20 En otro ejemplo del procedimiento de acuerdo con la invención, los componentes cerámicos de la barbotina cerámica comprenden del 0 % en peso al 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), del 0 % en peso al 5 % en peso de óxido de circonio (ZrO_2) y/o del 0 % en peso al 5 % en peso de silicato de circonio (ZrSiO_4) en materia seca.

En otro ejemplo adicional del procedimiento de acuerdo con la invención, los componentes cerámicos de la barbotina cerámica comprenden de 0 % en peso a 30 % en peso de carburo de silicio (SiC).

- 25 En una etapa adicional (d), se extrae el agua de la barbotina cerámica a través del molde de yeso, obteniendo un cuerpo cerámico. En otra etapa (e), se retira el molde de yeso. En la última etapa del proceso (f), el cuerpo cerámico se cuece a una temperatura de 1300 °C a 1450 °C.

- 30 El molde de yeso presenta huecos para, por ejemplo, ocho espaciadores 9 en el lado exterior 3.4 de la copa de absorción 3 en la región de la sección cuadrada 3.0, dos de los cuales están dispuestos en cada lado de la sección cuadrada 3.0. Los huecos para los espaciadores 9 tienen una distancia d desde el borde frontal 3.3 de la copa de absorción 3 de 4 mm a 20 mm, y por ejemplo de 8 mm. La distancia d del espaciador 9 desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 es preferentemente del 15 % al 80 % de la longitud c de la sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3, y en particular del 25 % al 40 %. El espaciador 9 se extiende, por ejemplo, hasta la transición de la sección cuadrada 3.0 a la sección en forma de embudo 3.1.

- 35 La distancia d del espaciador 9 desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 es, como ya se ha explicado anteriormente, de importancia crucial para el procedimiento de fabricación de la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención. Un espaciador 9 con una distancia desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3 de acuerdo con la invención estabiliza la pared de la sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3 cuando se extrae del molde hueco.

La porosidad del cuerpo cerámico cocido puede ajustarse añadiendo un agente formador de porosidad a la barbotina cerámica.

- 40 Por ejemplo, la densidad del cuerpo cerámico cocido es de 1,8 g/cm³ a 2,1 g/cm³, preferentemente de 1,9 g/cm³ a 2,0 g/cm³ y por ejemplo de 1,95 g/cm³. La porosidad de la cordierita cocida es, por ejemplo, del 25 %.

Los módulos de absorción solar del estado de la técnica comprenden típicamente carburo de silicio infiltrado (SiC). En la Tabla 1, se comparan las propiedades materiales del carburo de silicio infiltrado con las propiedades materiales de la cordierita procesada en el proceso de fundición de acuerdo con la invención.

- 45 La conductividad térmica del material de cordierita fundida es de 1,24 W/(m K), que es aproximadamente un 96 % inferior a la conductividad térmica del carburo de silicio infiltrado. La menor conductividad térmica de las copas de absorción de cordierita conduce a menores pérdidas de calor y, por lo tanto, a una mayor eficiencia de las plantas de energía solar térmica.

Tabla 1

	Material de cordierita fundido	Carburo de silicio filtrado por silicio (estado de la técnica)
Densidad en bruto	1,95 kg/dm ³	2,8 kg/dm ³
Porosidad abierta	25 %	0 %
Dilatación térmica	2,9* 10 ⁻⁶ K ⁻¹	4,5* 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Conductividad térmica	1,24 W/(mK)	35 W/(mK)

Los módulos de absorción solar de acuerdo con la invención con copas de absorción fabricadas con cordierita fundida mostraron una eficiencia térmica de aproximadamente 8 % mejor que los módulos de absorción solar con copas de absorción fabricadas con carburo de silicio infiltrado de acuerdo con el estado de la técnica en ensayos en el banco de pruebas del Centro Aeroespacial Alemán (DLR) con aire de retorno.

La Tabla 2 compara la resistencia a la flexión de un material de cordierita prensada con un material de cordierita fundido según el método de la invención. El material de cordierita fundida tiene una resistencia a la flexión en frío a temperatura ambiente de 36 MPa. La resistencia a la flexión en frío del material de cordierita fundida es, por tanto, un 176% mayor que la resistencia a la flexión en frío del material de cordierita prensada. El material de cordierita fundida tiene una resistencia a la flexión en caliente a 1300 °C de 20 MPa. Así, la resistencia a la flexión en caliente del material de cordierita fundida es un 133% mayor que la resistencia a la flexión en caliente del material de cordierita prensada.

La comparación entre el material de cordierita fundida y el material de cordierita prensada muestra una resistencia a la flexión del material de cordierita fundida inesperadamente alta para los expertos en la técnica. Por lo tanto, los materiales de cordierita fundida son más capaces de absorber las tensiones mecánicas de los módulos de absorción solar en condiciones de ciclos de temperatura, lo que aumenta la vida útil y la durabilidad de los módulos de absorción solar.

Tabla 2

	Material de cordierita, prensado según el estado de la técnica (AnnaCorit 60)	Material de cordierita fundido
Resistencia a la flexión en frío (temperatura ambiente)	13 MPa	36 MPa
Resistencia a la flexión en caliente (1300 °C)	15 MPa	20 MPa

Un módulo de absorción solar de acuerdo con la invención se calentó y enfrió nuevamente más de 100 veces a aproximadamente 200 K/min¹ en una prueba de campo en el horno solar Plataforma Solar de Almería, España. El módulo de absorción solar no presentaba daños ni deterioros.

Los módulos de absorción solar con copas de absorción de cordierita fundida muestran así una capacidad de carga mecánica suficiente con menores pérdidas de calor por conducción térmica y una mayor eficiencia térmica en comparación con los materiales según el estado de la técnica.

Este resultado fue inesperado y sorprendente para el especialista.

Las referencias muestran:

1,1.1, 1.2 módulo de absorción solar

2 panel absorbente

2.1 lado de entrada de aire del panel absorbente 2

2.2 lado de salida de aire del panel absorbente 2

3 copa de absorción

3.0 sección cuadrada de la copa de absorción 3

3.1 sección en forma de embudo de la copa de absorción 3

3.2 sección reducida de la copa de absorción 3

	3.21	aislación de la sección reducida 3.2
	3.3	borde delantero de la copa de absorción 3
	3.4	lado exterior de la copa de absorción 3
	4	tubo de doble pared, tubuladura de doble pared
5	4.1	tubo exterior
	4.2	tubo interior
	4.3	aislamiento del tubo de doble pared 4
	5	abertura
	6	canal de aire de retorno
10	7	construcción portante
	8	canal
	9	distanciador
	10	disposición de módulo solar
	I	aire aspirado
15	II	aire expulsado
	III, IV	aire de retorno
	IV	aire emergente
	a	longitud de la sección reducida 3.2 de la copa de absorción 3
	b	longitud de la sección en forma de embudo 3.1 de la copa de absorción 3
20	c	longitud de la sección cuadrada 3.0 de la copa de absorción 3
	d	distancia del distanciador 9 desde el borde delantero 3.3 de la copa de absorción 3
	A-A	sección a través del módulo de absorción solar 1
	C-C	sección a través del panel absorbente 2
	E-E	sección a través de la copa de absorción 3
25	L	eje longitudinal de la copa de absorción 3
	N	sistema normal de superficie del panel absorbente 2

REIVINDICACIONES

1. Módulo de absorción solar (1), que comprende:
 - un panel absorbente (2) con canales (8) que conectan el lado de entrada de aire (2.1) del panel absorbente (2) con el lado de salida de aire (2.2) del panel absorbente (2), y
- 5 – una copa de absorción (3) con una sección cuadrada (3.0), una sección en forma de embudo (3.1) y una sección reducida (3.2),
 en el que la copa de absorción (3) comprende un material cerámico que tiene una conductividad térmica de ≤ 3 W/(m K), caracterizado porque
 el material cerámico contiene cordierita fundida o titanato de aluminio fundido y la sección cuadrada (3.0) de la
 10 copa de absorción (3) tiene en su lado exterior (3.4) al menos un distanciador (9) por lado con una distancia d desde el borde delantero (3.3) de la copa de absorción (3) del 15 % al 80 % de la longitud c de la sección cuadrada (3.0).
2. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección cuadrada (3.0) de la copa de absorción (3) tiene en su lado exterior (3.4) dos distanciadores (9) por lado.
- 15 3. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el distanciador (9) presenta una distancia d respecto del borde delantero (3.3) de la copa de absorción (3) de 25 % a 40 % de la longitud c de la sección cuadrada (3.0).
- 20 4. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la cordierita contiene de 30 % en peso a 60 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3), de 30 % en peso a 60 % en peso de óxido de silicio (SiO_2), de 1 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO) y de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de titanio (TiO_2), de 0 % en peso a 5 % en peso de óxido de circonio (ZrO_2) y/o de 0 % en peso a 5 % en peso de silicato de circonio (ZrSiO_4).
- 25 5. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la cordierita contiene de 50 % en peso a 65 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3),
 de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y
 de 3 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO),
 preferentemente
 de 52 % en peso a 62 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3),
 de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y
 30 de 5 % en peso a 7 % en peso de óxido de magnesio (MgO).
6. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la cordierita contiene de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3),
 de 50 % en peso a 65 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y
 de 3 % en peso a 10 % en peso de óxido de magnesio (MgO),
 35 preferentemente
 de 35 % en peso a 40 % en peso de óxido de aluminio (Al_2O_3),
 de 30 % en peso a 40 % en peso de óxido de silicio (SiO_2) y
 de 5 % en peso a 7 % en peso de óxido de magnesio (MgO).
- 40 7. Módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la cordierita contiene de 0 % en peso a 30 % en peso de carburo de silicio (SiC).
8. Disposición de absorción solar (10) con una construcción portante (7) y al menos un módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la estructura de soporte (7) presenta tubuladuras de doble pared (4) con conductos de aire de retorno (6), en cuyo tubo interior (4.2) se alojan las secciones reducidas (3.2) de la copa de absorción (3).
- 45 9. Procedimiento de fabricación de un módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1

a 3, en el que se produce la copa de absorción (3) llevando a cabo al menos:

- a) preparación de un modelo con adición en seco y adición de contracción por cocción para realizar un molde hueco de yeso,
- b) creación de un molde de yeso hueco que tenga la forma externa de una copa de absorción (3),
- c) relleno del molde hueco con una barbotina cerámica,
- d) extracción del agua de la barbotina cerámica para obtener un cuerpo cerámico,
- e) retiro del cuerpo cerámico del molde de yeso hueco; y
- f) cocción del cuerpo cerámico a una temperatura de 1300 °C a 1450 °C.

10. Uso de un módulo de absorción solar (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7 en una central termosolar.

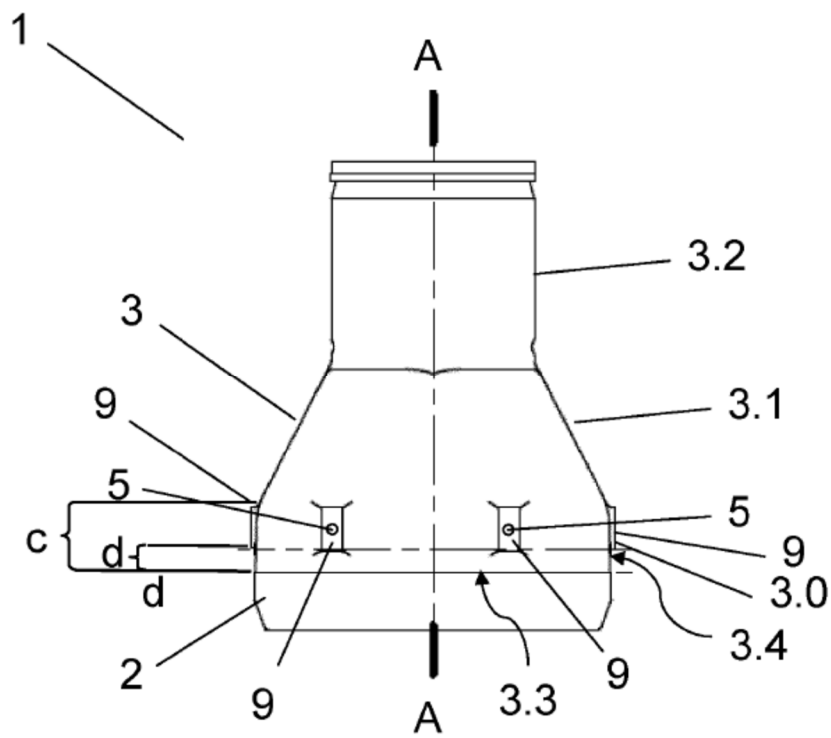


Figura 1A

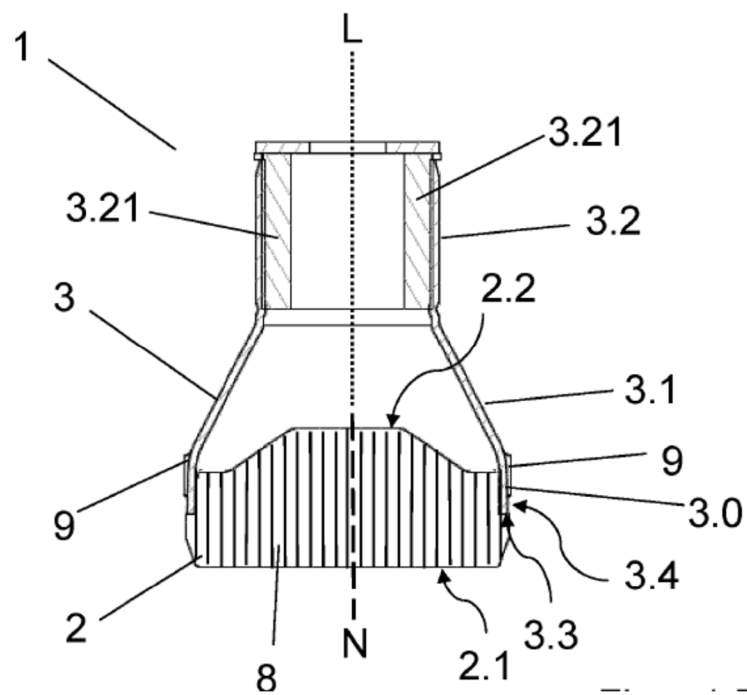


Figura 1B

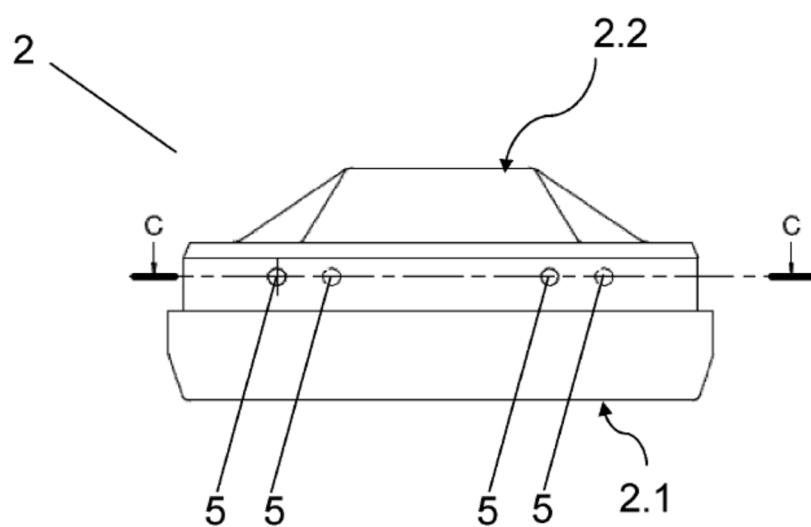


Figura 2A

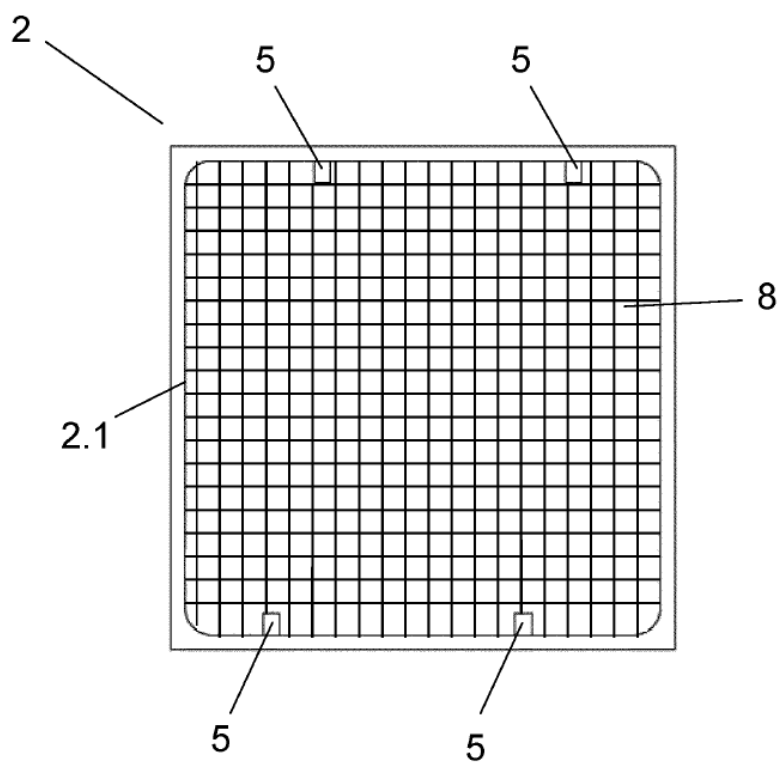


Figura 2B

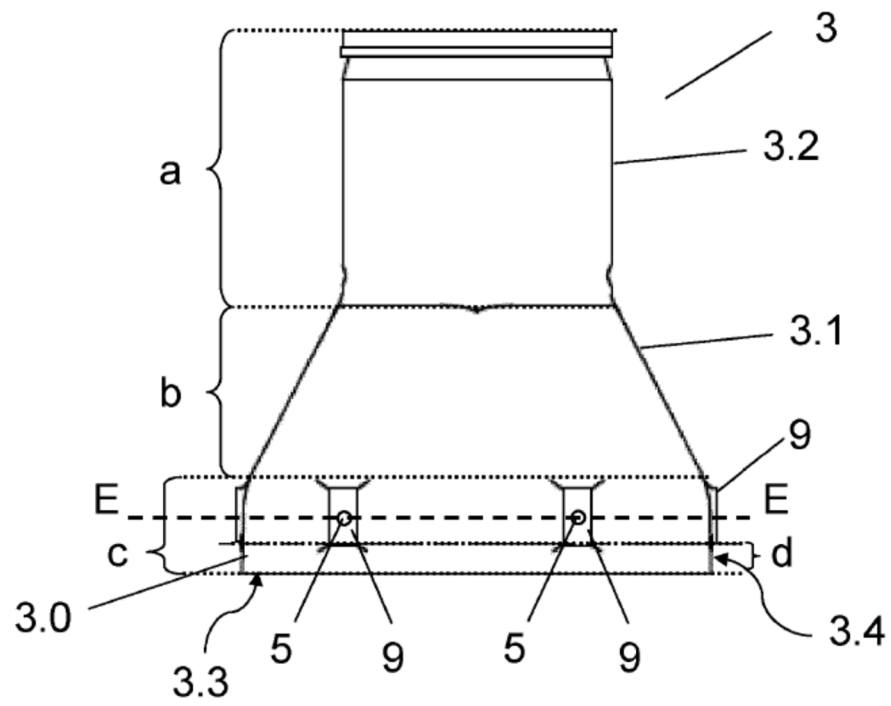


Figura 3A

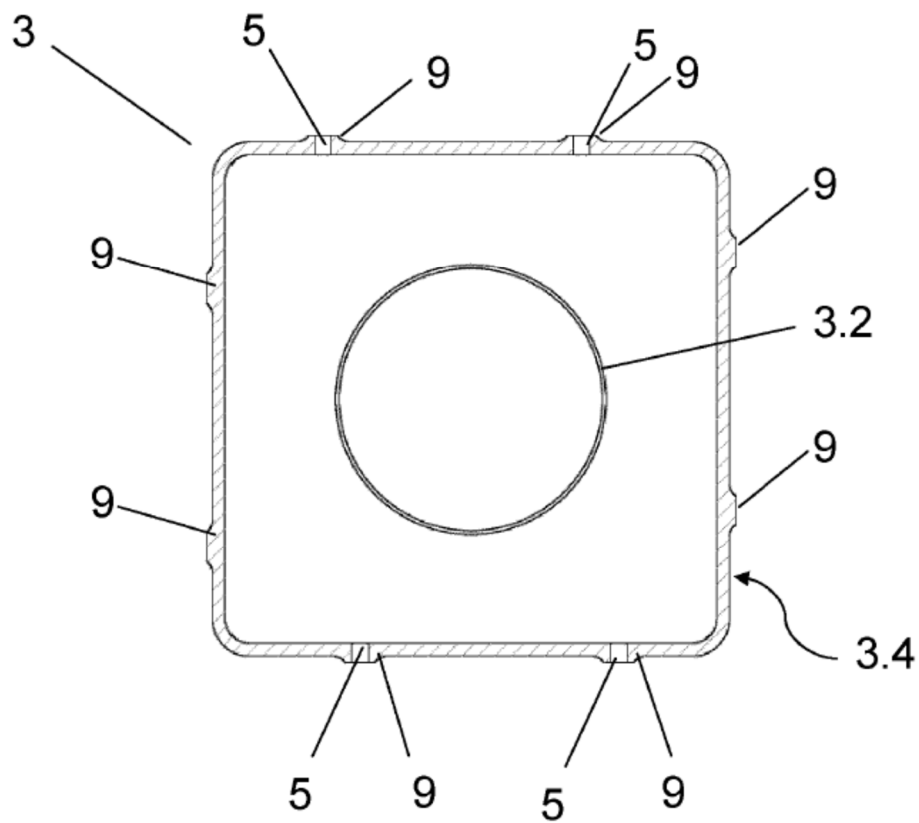


Figura 3B

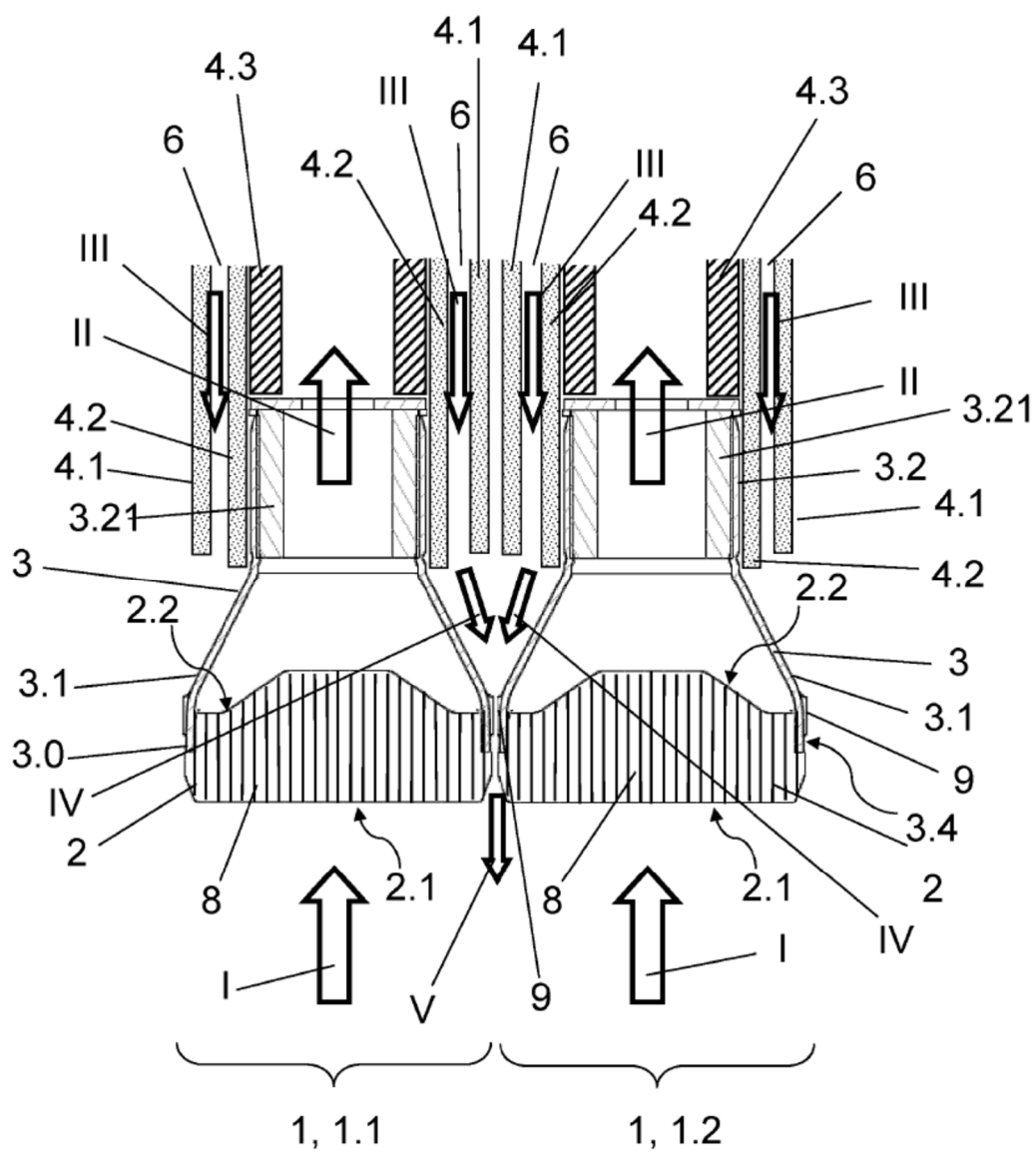


Figura 4

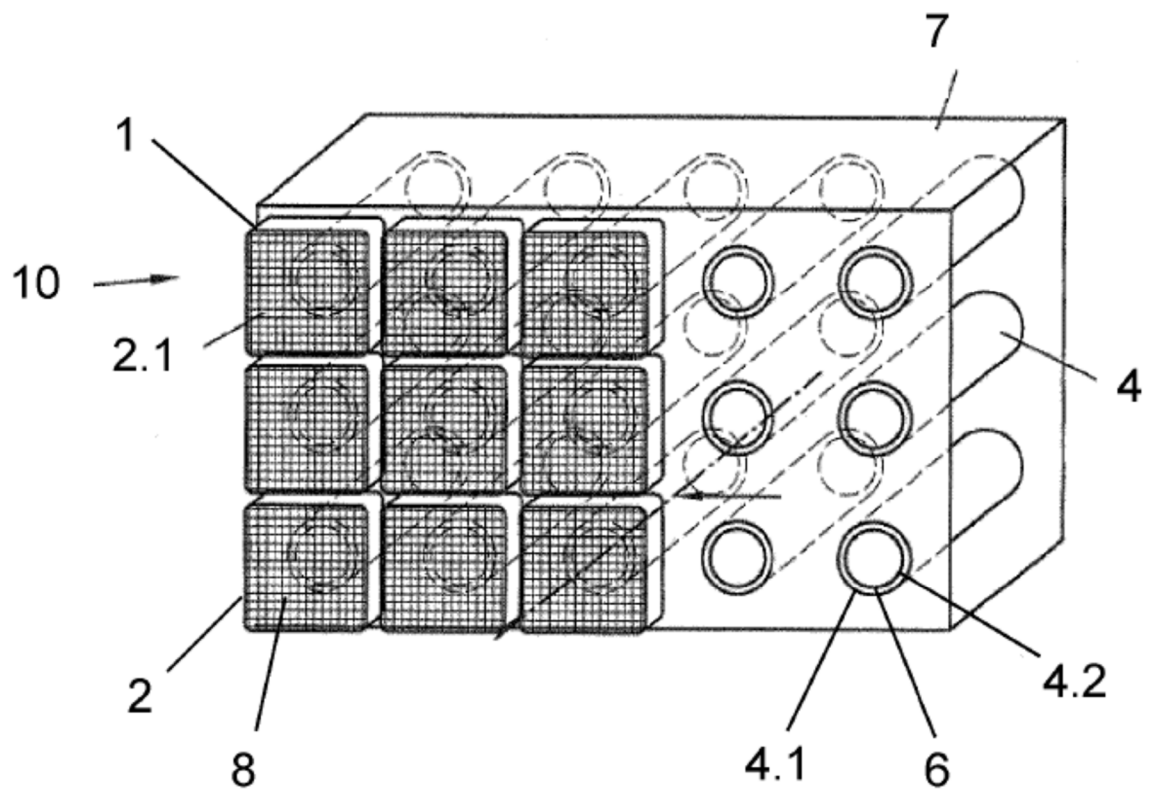


Figura 5

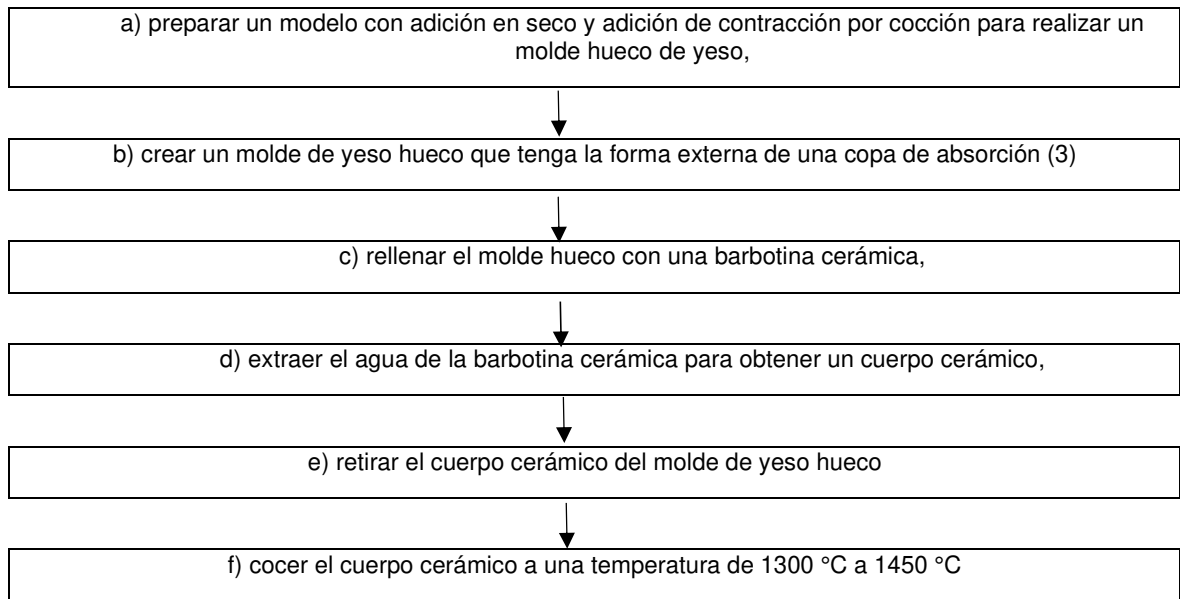


Figura 6