



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 965 960**

(21) Número de solicitud: 202330843

(51) Int. Cl.:

H05B 6/02 (2006.01)
F04B 39/12 (2006.01)

(12)

PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN

B2

(22) Fecha de presentación:

10.10.2023

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

17.04.2024

Fecha de concesión:

02.09.2024

(45) Fecha de publicación de la concesión:

09.09.2024

(73) Titular/es:

UNIVERSIDAD JAUME I DE CASTELLÓN (75.0%)
Av/ de Vicent Sos Baynat s/n
12071 Castellón de la Plana (Castellón) ES y
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
(25.0%)

(72) Inventor/es:

SANZ SOLANA, Vicente;
SANZ RUESCAS, Alberto;
SÁNCHEZ VILCHES, Enrique Javier y
DE LOS REYES CÁNOVAS, Ruth

(74) Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

(54) Título: **SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AIRE POR MICROONDAS**

(57) Resumen:

Sistema de calentamiento de aire por microondas. La presente invención describe un sistema de calentamiento de aire por microondas que comprende una cámara (3) que a su vez comprende un acceso (1) de microondas generadas por un emisor de microondas, un susceptor (5) y un elemento envolvente (4) con dos extremos, donde el elemento envolvente (4) tiene una configuración alargada, está ubicado en la cámara (3), está fabricado en un material permeable a las microondas, alberga al susceptor (5), y comprende una rejilla (2) en cada uno de los extremos, estando el susceptor (5) iluminado homogéneamente por las microondas y con una geometría que depende de la potencia de la radiación destinada a ser aplicada.

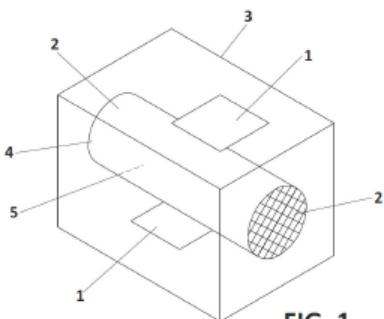


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AIRE POR MICROONDAS

5 OBJETO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un sistema de calentamiento de aire por microondas y, más específicamente, a un sistema de microondas que calienta un susceptor electromagnético con excelentes propiedades térmicas para la cesión de calor, permitiendo así el calentamiento eficiente de aire hasta una temperatura superior a 200° C.

A lo largo de la memoria se hará referencia a los términos iluminación y radiación, haciendo referencia en ambos casos a radiación electromagnética.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los sistemas de calentamiento de aire se utilizan en numerosos procesos industriales donde se tratan materiales de muy diversa índole como cerámica, vidrio, metales, química, alimentación, entre otros. También se utilizan para acondicionar térmicamente naves y edificaciones, y en el tratamiento de gases residuales.

Existen numerosos sistemas de calentamiento de aire basados en resistencias eléctricas, quemadores y ciclos de compresión/expansión.

25 Los sistemas basados en resistencias eléctricas tienen una elevada eficiencia en la conversión de energía eléctrica a energía calorífica. Sin embargo, estos sistemas consumen mucha energía debido a la reducida superficie de las resistencias, que limita la transferencia de calor al aire.

30 Los sistemas basados en quemadores generan productos de combustión y consumen oxígeno, lo que limita su utilización en numerosas aplicaciones.

Las bombas de calor son muy eficientes, pero la temperatura máxima alcanzada es muy baja.

Un método alternativo consiste en el calentamiento del aire mediante microondas. El aire no absorbe la energía de las microondas, por lo que estas no pueden usarse en su calentamiento directo. Sin embargo, sí que puede transferirse la energía de las microondas mediante un elemento intermedio, denominado susceptor, para posteriormente ser transmitida al aire.

Los sistemas de calentamiento por microondas presentan una serie de ventajas frente a los sistemas de calentamiento anteriormente citados, como son la elevada temperatura alcanzada, la rapidez de calentamiento, la seguridad que presentan al no existir riesgo derivado de la combustión y la calidad del aire, que no es contaminado con ningún tipo de producto durante el proceso.

Igualmente, la energía eléctrica utilizada por el sistema de generación de microondas puede ser de origen renovable por lo que supone una ventaja adicional frente a otro tipo de sistemas.

En el estado de la técnica se conocen una serie de documentos que hacen referencia a esta tecnología.

El documento CN1746588A emplea un sistema de microondas para calentar un sólido contenido en una cámara que cede el calor al aire circulante. El área disponible para la transferencia de calor está limitada a las paredes de la cámara, por lo que implementa un sistema de aletas para aumentar la superficie de intercambio. No se dispone en estos documentos de información relativa a la temperatura alcanzada del aire de salida ni los parámetros característicos relativos al proceso térmico. Bajo esta configuración, el aire que circula por el horno microondas entra en contacto con el susceptor por la parte exterior, por lo que la superficie de contacto para la transmisión de calor es muy pequeña y, como consecuencia, también lo será su eficiencia. La configuración descrita en el presente documento permite un intercambio de calor más eficiente al disponer de un contacto directo entre el aire y el susceptor y al obligar al aire a circular a través de un sistema de poros abiertos, de gran superficie efectiva.

El documento CN2355263Y divulga un dispositivo donde el aire fluye transversalmente por una parrilla de tubos susceptores que han sido calentados mediante microondas. Este documento hace referencia a la eficiencia del magnetrón en la conversión de energía

eléctrica a energía radiante, pero no dice nada de la eficiencia en la transferencia de energía al aire, que es uno de los aspectos clave. Al igual que en el sistema anterior, la reducida área de contacto entre el susceptor y el aire provoca que la eficiencia no pueda ser elevada.

- 5 El documento US2022353961A1, divulga un sistema en el que se calienta un flujo de aire forzando su paso sobre un líquido calentado por microondas que está contenido en recipientes herméticos. El sistema descrito no presenta una elevada eficiencia, al igual que el resto de los sistemas de los documentos mencionados anteriormente, debido a la escasa superficie de contacto, a la resistencia térmica generada por las paredes de los dispositivos
10 contenedores del líquido y a que la temperatura del líquido no es muy elevada.

El documento WO2004068902A2 divulga un sistema de calentamiento de gases mediante un susceptor que recibe ondas electromagnéticas. La cámara donde circulan los gases puede tener distintas geometrías y está rellena de un susceptor compuesto de carburo de silicio-aluminosilicato-aire. El desarrollo de dicho susceptor viene de la necesidad de reducir la absorción de radiación en la cámara para aumentar la penetración de las ondas y alcanzar un calentamiento homogéneo. Sin embargo, este sistema tiene una serie de inconvenientes importantes, como son el hecho de que la reducción de la fracción volumétrica de carburo de silicio en la cámara limite la máxima potencia empleada, que la pérdida del contacto directo entre el carburo de silicio y el aire reduzca considerablemente la transferencia de calor al aire y que la reducida permeabilidad al aire limite severamente el caudal máximo de aire que pueda ser utilizado.
20

Los inconvenientes mencionados son superados en la presente invención. Por una parte, los tres sistemas de iluminación empleados permiten un calentamiento homogéneo. Por otra parte, el sistema susceptor utilizado en la presente invención, consistente en un lecho poroso de carburo de silicio/aire con microestructura (porosidad y tamaño de poro) a medida, para maximizar la superficie de contacto mantiene una elevada permeabilidad y capacidad de transferencia térmica.
30

También existen documentos como CN210152864U o US2020147600A1 que utilizan lechos de bolas de carburo de silicio, y aprovechan distintas propiedades del carburo de silicio, como son su resistencia a la abrasión y su reactividad con el oxígeno, respectivamente, aunque no se utilizan en aplicaciones de calentamiento.

DESCRIPCION DE LA INVENCION

Según se ha indicado, la presente invención describe un sistema de calentamiento de aire por microondas y, más específicamente, un sistema que incorpora un emisor de microondas y un susceptor electromagnético con excelentes propiedades térmicas para la cesión de calor que, una vez es calentado por la radiación electromagnética emitida por el emisor de microondas, permite el calentamiento eficiente del aire hasta una temperatura superior a

5 200°C. Esta temperatura es útil para numerosos procesos industriales.

10 El sistema de la invención describe diferentes configuraciones de una elevada eficiencia que permite conseguir temperaturas de salida del aire muy elevadas. Estas nuevas configuraciones consiguen un intercambio de calor aire-sólido más efectivo debido al contacto directo aire-susceptor y a la gran superficie de contacto obtenida.

15 Por una parte, el contacto directo susceptor-aire permite que el coeficiente global de transmisión de calor del sistema sea muy elevado, ya que no existen resistencias intermedias debidas al uso de otros elementos.

20 Por otra parte, el uso de un susceptor que incorpore una superficie porosa permite que el área de contacto (superficie efectiva) sea mucho más elevada que el de cualquier objeto compacto.

La invención tiene dos aspectos técnicos críticos, como son:

25 - la conversión de energía electromagnética en energía térmica, mediante el susceptor, y
- la transferencia de energía térmica del susceptor al aire.

En cuanto a la primera etapa, para convertir energía electromagnética en energía térmica es imprescindible seleccionar el susceptor de composición, tamaño y geometría apropiados e 30 iluminarlo adecuadamente para conseguir una elevada eficiencia y homogeneidad adecuada.

Existen diversos materiales que podrían utilizarse como susceptores, aunque únicamente los de naturaleza cerámica, como carburo de silicio o ferrita, podrían ser viables para 35 aplicaciones de alta temperatura. Entre estos, el material que mejor cumple con los

requisitos expuestos es el carburo de silicio. Por una parte, las constantes dieléctricas del carburo de silicio son muy altas ($\epsilon_r' = 30$, $\epsilon_r'' = 11$, tan $\delta = 0,37$), no variando excesivamente con la temperatura, lo que garantiza una elevada absorción en el intervalo de temperaturas utilizado. Por otra parte, la conductividad térmica es de 100 W/(m·K), superior a la de

- 5 muchos metales, lo que además le confiere, junto a sus buenas propiedades mecánicas, una elevada resistencia al choque térmico y cierta capacidad para evitar puntos de calentamiento excesivo. El carburo de silicio es, además, un material refractario, capaz de soportar temperaturas de hasta 1.600°C de forma continua, lo que garantiza la estabilidad del sistema.

10

Por otra parte, el uso de radiación electromagnética permite transportar la energía sin necesidad de contacto físico y, como consecuencia, calentar un gran volumen de susceptor, ya que el calor se genera directamente en el propio material. Esta transmisión de energía está condicionada por la alta absorción de energía del susceptor, que limita la máxima 15 penetración de la radiación en un lecho poroso a unos 2-3 cm de profundidad.

En la presente invención se proponen tres configuraciones básicas para optimizar esta etapa.

- 20 En la primera, se aprovecha el comportamiento de las ondas en una cámara resonante para distribuir la energía electromagnética y calentar homogéneamente todo el susceptor.

En la segunda configuración, se utiliza una guía de ondas cilíndrica con pérdidas controladas a lo largo de su eje, para transmitir y distribuir la energía homogéneamente en 25 todo el volumen de susceptor.

En la tercera configuración se utiliza una estructura tipo sándwich compuesta de capas alternas de aire y susceptor. Las capas de aire se aprovechan para distribuir homogéneamente la energía radiante.

30

Cabe indicar que, en cualquiera de las tres configuraciones descritas, las pequeñas diferencias existentes de iluminación/calentamiento se compensan por un mecanismo de conducción térmica, debido a la elevadísima conductividad del carburo de silicio y al

contacto directo entre los elementos individuales que conforman el susceptor, ya sean bolas, partículas irregulares o las paredes porosas, tipo esponja.

- Todas las configuraciones propuestas son herméticas frente a las microondas. Para ello se han utilizado materiales metálicos que reflejan las microondas. En las entradas y salidas de aire se han utilizado mallas metálicas con una luz de malla suficientemente fina como para impedir el paso de las microondas, pero con elevada superficie libre de paso, para permitir que el aire fluya con facilidad.
- 5 Para separar el circuito de aire, que contiene el susceptor, de la cámara o guía radiantes se utiliza un material permeable (transparente) a las microondas. Entre los materiales seleccionables están el teflón, el vidrio, el cuarzo, la alúmina u otros materiales cerámicos que tengan la propiedad de tan $\delta < 0,001$.
- 10 En cuanto a la segunda etapa, relativa a la transferencia de energía térmica del susceptor al aire, para conseguir una alta eficiencia en la transferencia de energía es primordial:
- Mantener el contacto directo carburo de silicio/aire. El carburo de silicio tiene una efusividad térmica altísima ($19400 \text{ W}\cdot\text{s}^{0.5}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, superior a la de la mayoría de los metales (la del hierro es $15924 \text{ W}\cdot\text{s}^{0.5}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$), lo que indica una altísima velocidad de cesión de energía. El uso de cualquier material intermedio, especialmente de naturaleza cerámica, reduciría unas diez veces dicha capacidad (porcelana: $2314 \text{ W}\cdot\text{s}^{0.5}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) y, como consecuencia, la eficiencia.
 - Utilizar una alta superficie de contacto, ya que el flujo de calor entre el carburo de silicio y el aire es directamente proporcional a la superficie entre ambos.
 - Provocar un flujo turbulento entre los canales internos del sistema. El coeficiente individual de transporte de calor en la interfase es mucho mayor cuando el régimen es turbulento que cuando es laminar. La utilización de un lecho de poros irregulares, ya sea mediante el lecho de bolas o mediante uno esponjoso, permite alcanzar el régimen de circulación interno indicado.
- 20 Adicionalmente, para optimizar el caudal de aire permitido se debe maximizar su permeabilidad al aire, que depende de la porosidad y del tamaño de los poros del sistema. En los rellenos de bolas de un mismo tamaño, la porosidad depende del empaquetamiento y apenas puede modificarse (aprox. 35% vol.), por lo que preferentemente se eligen bolas
- 25 de diámetro menor y mayor porosidad.
- 30 Los diámetros de las bolas utilizadas en el sistema deben ser tales que el lecho de bolas no sea ni demasiado denso ni demasiado espacioso. Un lecho de bolas denso impide la circulación de aire entre los canales internos del sistema, lo que reduce la eficiencia. Un lecho de bolas demasiado espacioso reduce la eficiencia por la misma razón.

relativamente gruesas (4-5 mm de diámetro) que generan poros relativamente grandes (aprox. 1-2 mm). En los rellenos con estructura tipo esponja, ambas propiedades pueden variarse en amplios intervalos.

- 5 A modo de resumen, la presente invención describe un sistema de calentamiento de aire por microondas que comprende una cámara con un acceso de microondas generadas por un emisor de microondas, un susceptor y un elemento envolvente.

En una forma de realización, el elemento envolvente tiene una configuración alargada, está 10 ubicado en la cámara, que hace de cámara de resonancia, está fabricado en un material permeable (transparente) a las microondas, alberga al susceptor y comprende una rejilla en cada uno de los extremos del propio elemento envolvente.

De forma preferente, el susceptor es de naturaleza cerámica o, más preferentemente, de 15 carburo de silicio y está configurado mediante elementos que pueden ser esferas, partículas irregulares o una estructura porosa permeable al aire.

En caso de tratarse de esferas o partículas irregulares, preferentemente tienen un tamaño máximo de entre 1mm y 20mm y más preferentemente, de entre 2mm y 10mm.

20 En caso de tratarse de una estructura rígida y porosa, la porosidad al aire preferentemente es de entre el 70% y el 90%.

También de forma preferente, la estructura porosa presenta unos poros de un tamaño 25 máximo de entre 1mm y 20mm.

Por otro lado, también de forma preferente, el elemento envolvente está fabricado de alúmina y la rejilla es metálica.

30 Además, en otra forma de realización, la cámara y el elemento envolvente están configurados en forma de dos tubos coaxiales donde la cámara es un tubo interno permeable a las microondas, a modo de guía de ondas, y el elemento envolvente es un tubo metálico externo coaxial al tubo interno, de forma que las rejillas cierran una zona anular ubicada entre el tubo interno y el tubo externo.

El sistema también puede estar configurado con una pluralidad de elementos envolventes en lugar de uno solo, todos ellos colocados con los ejes longitudinales paralelos. En este caso las microondas no se emiten por un único acceso, que no tendría potencia suficiente para llegar a calentar todos los elementos envolventes al nivel deseado, sino que el sistema

- 5 comprende dos accesos de microondas ubicados enfrentados y transversalmente al eje longitudinal de los elementos envolventes.

En otra forma de realización, el sistema comprende dos susceptores de configuración estructural rígida y porosa alojados en la cámara, estando cada susceptor ubicado entre el

- 10 acceso de microondas y una de las rejillas de cada extremo de la cámara.

Además, en esta última forma de realización la cámara es apilable longitudinalmente sin más que eliminar la rejilla ubicada entre dos cámaras, quedando las rejillas ubicadas únicamente en los extremos del apilamiento.

15

Para finalizar, hay que considerar que cualquiera de los elementos envolventes que incorpora el sistema puede tener una sección transversal circular o también ser poligonal.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20

Para una mejor comprensión de la presente invención, se introducen en esta memoria las figuras que a continuación se enumeran.

La figura 1 representa una vista en perspectiva del sistema de la invención en una primera

- 25 forma de realización donde se muestra una cámara, con dos accesos de microondas, en la que se ubica un elemento envolvente relleno de un susceptor.

La figura 2 representa una vista en perspectiva del sistema de la invención representado en la figura 1 pero con una pluralidad de elementos envolventes en la cámara.

30

La figura 3 representa una sección de un elemento envolvente de los representados en las figuras 1 y 2.

La figura 4 representa una vista en perspectiva del sistema de la invención en una segunda

- 35 forma de realización.

La figura 5 representa una sección de un elemento envolvente de los representados en la figura 4.

- 5 La figura 6 representa una vista en perspectiva del sistema de la invención representado en la figura 4 pero con una pluralidad de elementos envolventes.

La figura 7 representa una vista en perspectiva del sistema de la invención en una tercera forma de realización.

10

A continuación, se facilita un listado de las referencias empleadas en las figuras para facilitar su seguimiento:

1. Acceso de microondas.
2. Rejillas.
3. Cámara.
4. Elemento envolvente.
5. Susceptor.
6. Tubo interno.
7. Tubo externo.
8. Zona anular.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

25 La presente invención se refiere a un sistema de calentamiento de aire por microondas que incorpora un emisor de microondas y un susceptor electromagnético que, una vez es calentado por la radiación emitida por el emisor de microondas, permite el calentamiento del aire que entra en contacto directo con su estructura.

30 La figura 1 representa una primera forma de realización donde el sistema comprende una cámara (3), con un acceso (1) de microondas que puede estar ubicado en una posición superior o inferior. En la figura se han representado los dos accesos (1), superior e inferior, pero únicamente con la intención de mostrar que pueden estar ubicados en cualquiera de las dos posiciones y no en las dos a la vez. En esta forma de realización, la cámara (3) es
35 una cámara de resonancia. Las microondas son generadas por un emisor de microondas,

no representado en las figuras. En el interior de la cámara (3) se ubica un elemento envolvente (4) permeable a las microondas y con capacidad para resistir las elevadas temperaturas que provoca la recepción de las microondas. El elemento envolvente (4) está realizado en alúmina y está relleno de un susceptor (5) que, a su vez, está realizado en carburo de silicio y tiene una configuración que puede ser en la forma de esferas, de partículas irregulares o de una estructura porosa rígida.

Cada uno de los extremos del elemento envolvente (4) está cerrado con una rejilla metálica (2) que incorpora orificios de un tamaño apropiado para evitar que las microondas abandonen el elemento envolvente (4). De forma preferente, los orificios tienen una dimensión de 1mm².

En cada uno de los extremos del elemento envolvente (4) se conectan unas conducciones para la entrada y salida de aire del sistema de forma que una corriente de aire se pueda forzar a circular por el interior del elemento envolvente (4) y absorber la energía térmica del susceptor (5).

Con esta configuración, un emisor de microondas introduce microondas en la cámara (3), que es metálica, para confinar la radiación electromagnética. La radiación electromagnética se dispersa mediante reflexiones en las paredes de la cámara (3) y se homogeneiza antes de que su energía sea absorbida por un susceptor (5) alojado en el interior de un elemento envolvente (4) permeable a las microondas. Esta homogeneización permite que el calentamiento del susceptor (5) sea más uniforme y está directamente ligada tanto a las dimensiones de la cámara como al tamaño del elemento envolvente (4), al estar limitado el calentamiento por la máxima penetración de la energía de las ondas electromagnéticas en el susceptor (5).

La figura 2 representa el sistema de la invención con dos diferencias principales con respecto a la primera forma de realización de la figura 1.

30

La primera consiste en que la cámara (3) incorpora una pluralidad de elementos envolventes (4) en lugar de uno solo, todos ellos ubicados en paralelo.

35 La segunda consiste en que la cámara (3) incorpora dos accesos (1) de microondas, uno por la zona inferior y otro por la zona superior de la cámara (3), perpendicularmente al eje

longitudinal de los elementos envolventes (4). De esta forma, el sistema tiene mayor capacidad para calentar todos los elementos envolventes (4) que se encuentran en la cámara (3).

- 5 La figura 3 representa una vista en sección del susceptor (5) envuelto por el elemento envolvente (4) y cerrado por los extremos con sendas rejillas (2). Hay que tener en cuenta que, tal y como se ha descrito más arriba, aunque la apariencia del susceptor (5) en las figuras pueda ser de una estructura porosa rígida, el susceptor (5) también puede estar configurado en forma de esferas o de partículas irregulares.

10

Las figuras 4 y 5 representan el sistema de la invención en una segunda forma de realización formado por dos tubos coaxiales, un tubo interno (6) y un tubo externo (7) que, al acoplarse coaxialmente, configuran una zona anular (8) que está cerrada por los extremos mediante rejillas (2) metálicas. La emisión de radiación se realiza por un extremo del tubo interno (6) a modo de guía de ondas cilíndrica con pérdidas controladas a lo largo de su eje, para transmitir y distribuir la energía homogéneamente en todo el volumen de susceptor (5), haciendo las funciones de cámara (3). El susceptor (5) se encuentra en la zona anular (8), a donde llegan las microondas atravesando la pared del tubo interno (6), permeable a las microondas.

15 20

En este caso, el tubo interno (6) es de naturaleza cerámica, permeable a las microondas y resistente a la temperatura y puede estar parcialmente recubierto de bandas/anillos metálicos para favorecer la transmisión axial de la radiación por su interior. De esta forma se consigue que la zona más cercana al extremo donde se encuentra el acceso (1) para la emisión de microondas no reciba una iluminación muy superior a la de la zona más alejada, sino que se generen las mencionadas pérdidas a lo largo del eje para aportar homogeneidad en la radiación que recibe el susceptor (5) al atravesar el tubo interno (6) a lo largo de toda su longitud.

- 25 30 Por su parte, el tubo externo (7) es de naturaleza metálica, para evitar que se escapen las radiaciones electromagnéticas, al igual que los extremos del tubo interno (6).

La entrada y salida de aire del sistema se realiza por los extremos de la zona anular (8) conformada entre los dos tubos (6, 7) y donde se ubican las rejillas (2).

35

En esta configuración, la energía radiante se radia homogéneamente a lo largo del tubo interno (6), quedando el espesor de la zona anular (8) limitado por la penetración de la radiación. La principal ventaja de esta configuración con respecto a las anteriores es su compacidad.

5

La figura 6 representa la segunda forma de realización con la diferencia de que comprende una pluralidad de tubos coaxiales.

10 La figura 7 representa una tercera forma de realización en la que la cámara (3) presenta una configuración alargada e incorpora sendas rejillas (2) en los extremos y un acceso de microondas (1) que se encuentra flanqueado por dos susceptores (5) que quedan ubicados transversalmente en posiciones intermedias entre el acceso de microondas (1) y cada una de las rejillas (2). Los susceptores (5) están configurados como estructuras porosas y rígidas. Además, esta configuración es escalable, sin más que unir varias cámaras por los 15 extremos linealmente, eliminando las rejillas (2) ubicadas entre dos cámaras (3) para dejar únicamente las rejillas (2) en los extremos del sistema apilado final. Así, la configuración que queda está formada por diferentes cámaras (3) con acceso (1) para la emisión de microondas alternadas por cámaras (3) donde no se emiten microondas, estando cada cámara (5) flanqueada por sendos susceptores (5).

20

En esta figura 7 se puede apreciar que la sección transversal de la cámara (3), al igual que podría ser para cualquiera de las formas de realización anteriores, es de configuración cuadrada, aunque también podría ser poligonal o circular.

25 Esta configuración es especialmente adecuada para sistemas con susceptores (5) tipo esponja, debido a la rigidez que aporta, ya que no requiere la confinación espacial de las bolas mediante un material permeable a la radiación. Cada uno de los módulos comprendidos entre las placas porosas de los susceptores (5) se aprovecha para transmitir las ondas y alcanzar una iluminación más homogénea. Se trata del sistema con el montaje 30 más sencillo y que es muy fácilmente escalable. El elemento envolvente (4) se encuentra recubriendo al susceptor (5) para aislarlo de las paredes de la cámara (3) y así pueda calentarlas y perder calor por esa zona. De forma diferenciada con respecto al resto de configuraciones que se han mencionado anteriormente, en esta caso los susceptores (5) reciben la radiación de microondas directamente y no a través del elemento envolvente (4).

35

La longitud de onda de la radiación electromagnética utilizada ($\lambda \approx 12$ cm) y la penetración máxima de la radiación en el material (2-3 cm) restringe las dimensiones permitidas en cada módulo individual y, como consecuencia, su potencia, el caudal de aire utilizado y el incremento de temperatura alcanzado, por lo que se incluye la posibilidad de su uso en 5 paralelo (para aumentar el caudal de aire) y en serie (para aumentar el incremento de temperatura).

A continuación, se describe un ejemplo de realización práctica, realizado en laboratorio, siguiendo la primera forma de realización.

10

Así, se ha empleado un horno microondas con una cámara (3) resonante de 18 L y dimensiones de 31 cm de ancho, 19 cm de alto y 31 cm de profundidad. El horno utilizado, con tecnología Inverter, disponía de potencias de salida elegibles entre 100 W y 1.000 W.

15 En el interior de la cámara (3) se ha utilizado un elemento envolvente (4) tubular hueco de alúmina de 17 cm de longitud, 4,5 cm de diámetro externo y 3,2 cm de diámetro interno, con un espesor de 0,65 cm. El elemento envolvente (4) hueco ha sido llenado con esferas de carburo de silicio (SiC) de 5 mm de diámetro, configurando un factor de empaquetamiento de 0,65 aproximadamente. El elemento envolvente (4) se ha recubierto con lana de roca 20 para evitar la pérdida de calor del sistema.

La entrada y salida de aire se ha realizado mediante tubos de cobre acoplados directamente al elemento envolvente (4) de alúmina. El caudal de aire ha sido de 9,9 L/min.

25 La temperatura de entrada del aire fue, en todos los casos, de 21°C.

En las condiciones descritas, la temperatura de salida de aire para una potencia radiante de 100 W fue de 326°C, lo que supone una eficiencia global aproximada del 66%.

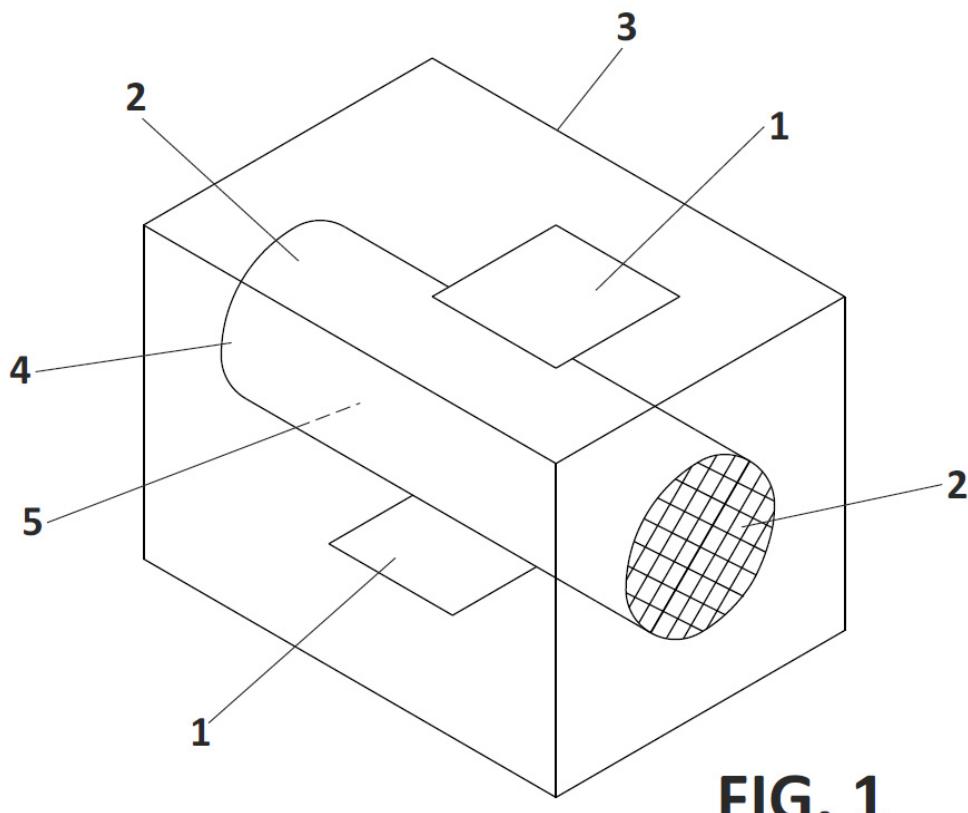
30 Para una potencia radiante de 1.000 W, la temperatura del aire de salida fue de 740°C, lo que permite el uso del sistema en aplicaciones de alta temperatura.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de calentamiento de aire por microondas que comprende una cámara (3) que a su vez comprende un acceso (1) de microondas generadas por un emisor de microondas, 5 un susceptor (5) y un elemento envolvente (4), **caracterizado** por que el elemento envolvente (4):
 - tiene una configuración alargada con dos extremos,
 - está ubicado en la cámara (3),
 - está fabricado en un material permeable a las microondas,10
 - alberga al susceptor (5), y
 - comprende una rejilla (2) en cada uno de los extremos,donde el susceptor (5) es iluminado homogéneamente por las microondas y tiene una geometría que depende de la potencia de la radiación destinada a ser aplicada.
- 15 2. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde el susceptor (5) es de naturaleza cerámica.
3. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde el susceptor (5) está fabricado en carburo de silicio.
- 20 4. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde el susceptor (5) está configurado mediante elementos a seleccionar entre esferas y partículas irregulares.
- 25 5. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 4, donde los elementos que configuran el susceptor (5) tienen un tamaño máximo de entre 1mm y 20mm.
6. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 5, donde los elementos que configuran el susceptor (5) tienen un tamaño máximo de entre 2mm y 10mm.
- 30 7. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde el susceptor (5) está configurado en forma de estructura rígida y porosa permeable al aire.
8. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 7, donde el susceptor (5) presenta una porosidad de entre el 70% y el 90%.

9. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 7, donde el susceptor (5) presenta una porosidad con poros de un tamaño máximo entre 1mm y 20mm.
- 5 10. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde el elemento envolvente (4) está fabricado de alúmina.
11. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde la rejilla (2) es metálica.
- 10 12. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde la cámara (3) es un tubo interno (6) permeable a las microondas y el elemento envolvente (4) es un tubo externo (7) coaxial al tubo interno (6), cerrando las rejillas (2) una zona anular (8) ubicada entre el tubo interno (6) y el tubo externo (7).
- 15 13. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de elementos envolventes (4), ubicados con los ejes longitudinales paralelos, recubriendo a los respectivos susceptores (5).
- 20 14. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 13, que comprende una pluralidad de accesos (1) de microondas.
15. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 14, donde los accesos (1) de microondas están ubicados enfrentados y transversalmente al eje del tubo (4).
- 25 16. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 1, donde la cámara (3) aloja dos susceptores (5) de configuración estructural rígida y porosa, estando cada susceptor (5) ubicado entre el acceso (1) de microondas y una de las rejillas (2).
- 30 17. El sistema de calentamiento de aire por microondas de la reivindicación 16, donde la cámara (3) es apilable longitudinalmente sin más que eliminar la rejilla (2) ubicada entre dos cámaras (3).

18. El sistema de calentamiento de aire por microondas de cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 17, donde el elemento envolvente (4) tiene una sección transversal circular.
- 5 19. El sistema de calentamiento de aire por microondas de cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 18, donde el elemento envolvente (4) tiene una sección transversal poligonal.



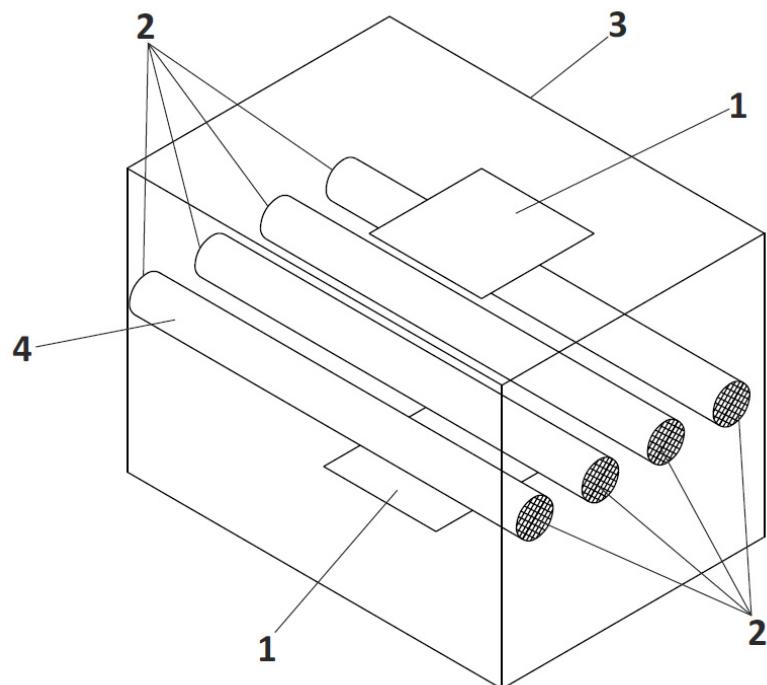


FIG. 2

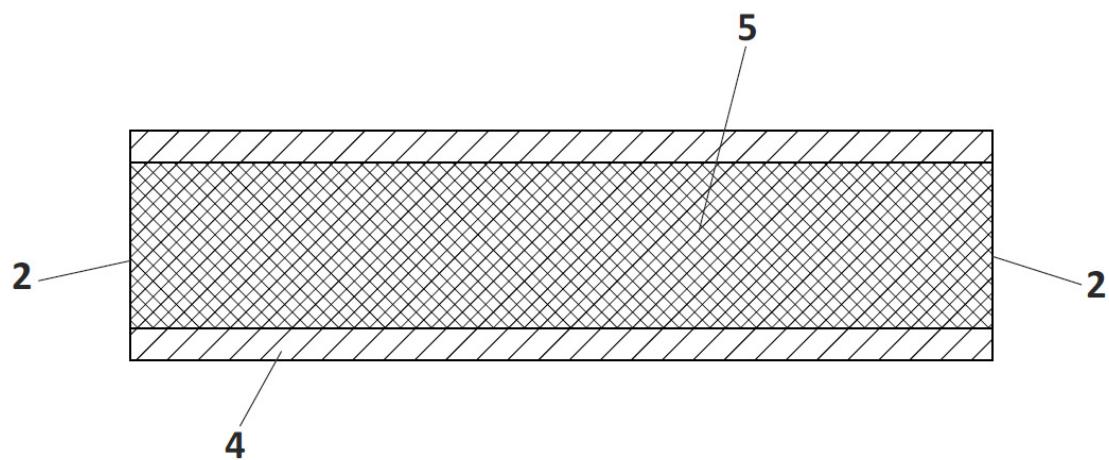


FIG. 3

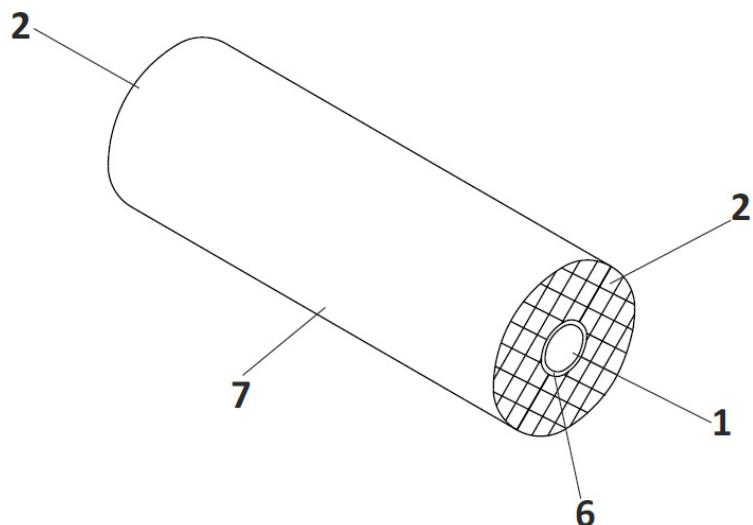


FIG. 4

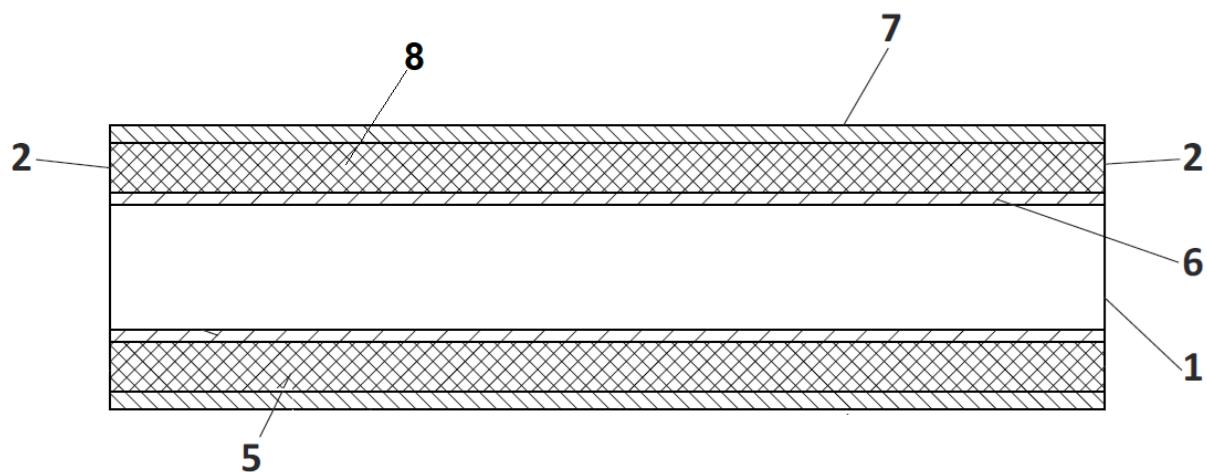


FIG. 5

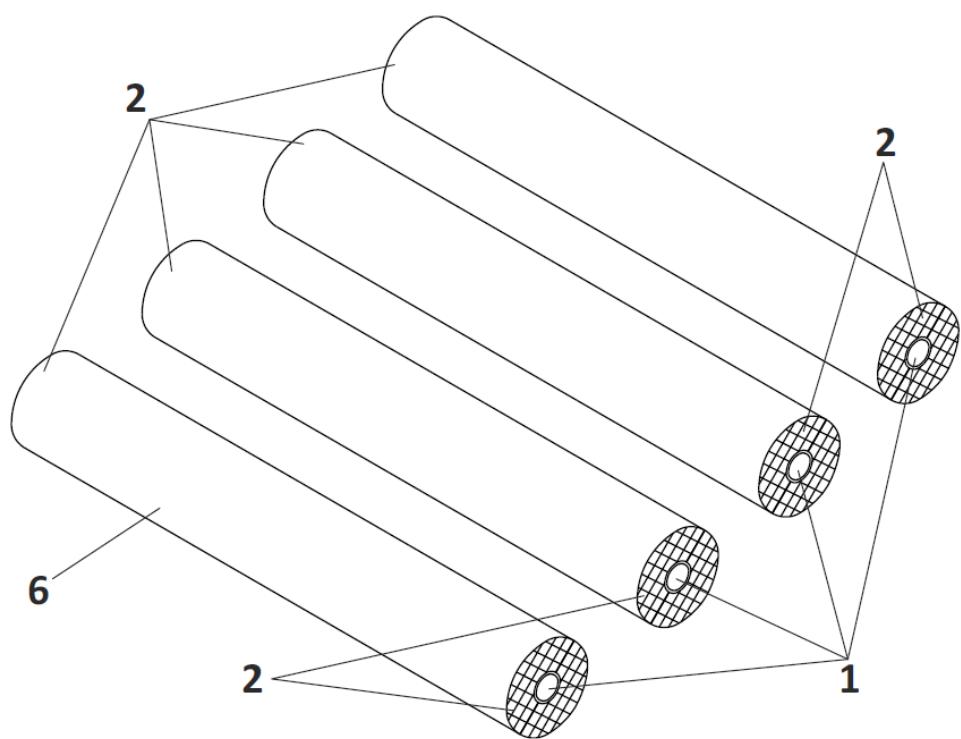


FIG. 6

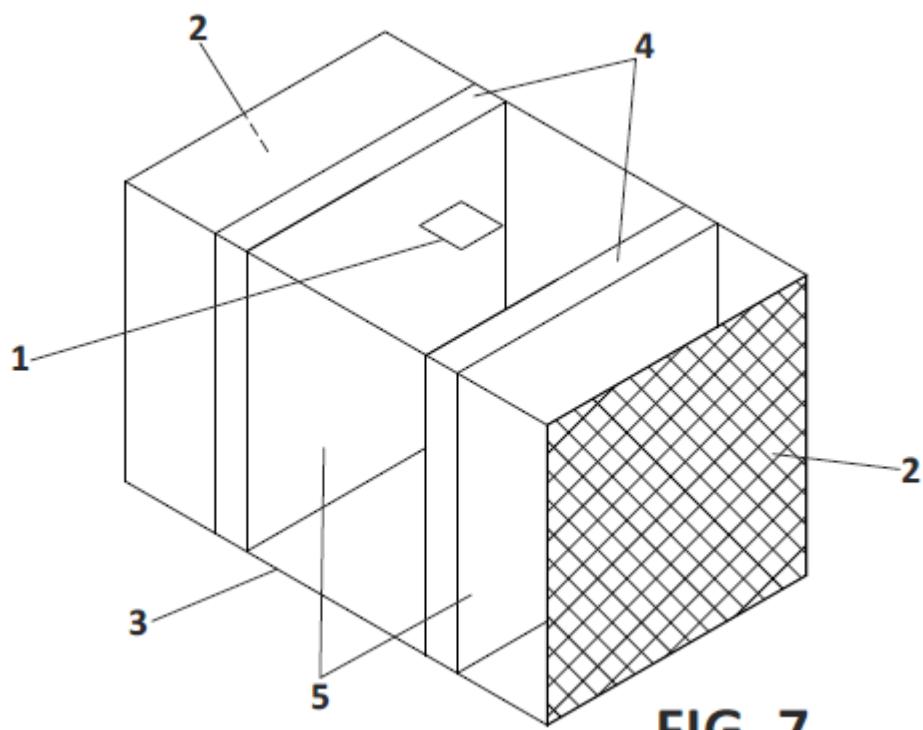


FIG. 7