

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 568 749**

21 Número de solicitud: 201431449

51 Int. Cl.:

**H05B 6/64** (2006.01)

**C09K 5/14** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**01.10.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**04.05.2016**

Fecha de la concesión:

**31.01.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**07.02.2017**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2015/070712**

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS (CSIC) (26.6%)  
C/ Serrano, 117  
28006 Madrid (Madrid) ES;  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
(13.3%) y  
MICROBIOTECH S.L (60.2%)**

72 Inventor/es:

**FERNANDEZ LOZANO, José Francisco;  
DE LOS REYES DAVÓ, Elias;  
DE LOS REYES CÁNOVAS, Ruth;  
GARCÍA SEVILLA, Javier;  
VELA CARRASCOSA, Enrique y  
JARA RICO, Antonio**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

54 Título: **CÉLULA CALEFACTORA, CALEFACTOR QUE HACE USO DE LA MISMA, SISTEMA DE CALEFACCIÓN Y USO DEL MISMO**

57 Resumen:

Célula calefactora, calefactor que hace uso de la misma, sistema de calefacción y uso del mismo. La presente invención detalla una solución al problema de transferir con alta eficiencia la energía microondas en calor mediante unidades calefactoras en forma de células calefactoras de baja potencia que permiten propagar la energía de microondas mediante líneas de transmisión eléctrica de modos transversales electromagnéticos a materiales cerámicos con altas pérdidas dieléctricas en la región de microondas. Dichas células calefactoras de baja potencia se integran en un calefactor unitario. El conjunto de calefactores unitarios conforman un sistema de calefacción con energía microondas que emplea una línea de baja potencia eléctrica.

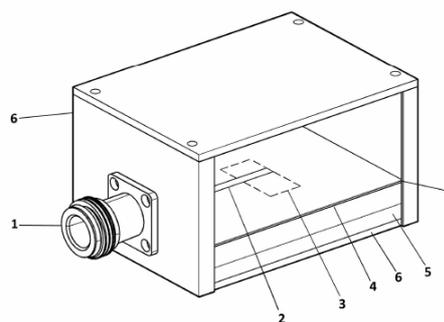


FIG. 1

ES 2 568 749 B1

**CÉLULA CALEFACTORA, CALEFACTOR QUE HACE USO DE LA MISMA,  
SISTEMA DE CALEFACCIÓN Y USO DEL MISMO**

**DESCRIPCIÓN**

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece al campo de los sistemas de generación de calor, en particular a un sistema de calefacción que emplea como elementos emisores de calor  
10 piezas de cerámica que se calientan mediante radiación de microondas distribuida por tecnología planar.

Más concretamente, la presente invención va dirigida al elemento calefactor que emplea composiciones cerámicas adaptadas como transductores que contienen susceptores de  
15 radiación microondas capaces de absorber la radiación microondas y transformarla en calor.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

La radiación térmica o radiación calorífica es la radiación emitida por un cuerpo debido a  
20 su temperatura. Un radiador es un tipo de emisor de calor cuya función es intercambiar calor del sistema de calefacción para cederlo al ambiente, y generalmente se trata de un dispositivo sin partes móviles ni producción de calor. Los radiadores son elementos discretos que forman parte de las instalaciones centralizadas de calefacción. En su origen los primeros sistemas de calefacción empleaban vapor y la alta temperatura superficial de los radiadores producían el intercambio de calor mediante radiación. La  
25 sustitución en los radiadores de vapor por agua redujo las temperaturas de funcionamiento y, dada la escasa superficie que presentan los radiadores, hace que la mayor parte del calor se intercambie por convección.

La emisión o disipación de calor de un radiador depende de la diferencia de temperaturas  
30 entre su superficie y el ambiente que lo rodea y de la cantidad de superficie en contacto con ese ambiente. A mayor superficie de intercambio y mayor diferencia de temperatura, mayor es el intercambio. En las instalaciones de climatización y especialmente en las de calefacción, un emisor es un dispositivo que emite calor, cediéndolo al ambiente

habitado.

5 Un calefactor incorpora elementos de generación de calor y un radiador térmico o emisor térmico. Un ejemplo consistiría en un aparato que se calienta por una resistencia eléctrica incorporada en el interior del emisor térmico. En este ejemplo se emplea el término de radiador eléctrico, si bien la diferencia entre un radiador y un calefactor radica en que el radiador no produce energía, se limita a ser un disipador del calor que llega al radiador generalmente por una red de tuberías por las que circula un fluido portador que se ha calentado en un dispositivo productor de calor situado en otro lugar.

10

Un calefactor eléctrico generalmente es un elemento unitario que emplea una resistencia eléctrica para producir calor. Las resistencias eléctricas presentan un consumo elevado de energía que requiere una potencia eléctrica importante. Típicamente un elemento unitario consume entorno a 2 kW/h. Según la norma ISO 7730 se define confort térmico como “Esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Este parámetro no es sencillo de calcular ya que se tienen en cuenta para ello numerosos factores desde ubicación, orientación y ventilación de la vivienda hasta actividades realizadas en ella e indumentaria de sus habitantes. Para unas condiciones habituales de uso, se estima que la temperatura óptima de confort es 22 °C.

20

Un sistema de calefacción requiere de un conjunto de elementos calefactores que implica una potencia eléctrica suministrada importante. La eficiencia de la radiación depende fundamentalmente de la inercia térmica del material intercambiador de calor. Normalmente éste material es metálico, lo que hace que sea necesaria una alimentación eléctrica continua para mantener su temperatura elevada, ya que los materiales metálicos poseen un bajísimo calor específico. Los calefactores portátiles que incorporan un elemento cerámico presentan una mayor inercia térmica. Un calefactor con elemento cerámico necesitará entre 80-100 W por cada m<sup>2</sup>, dependiendo de la calidad media de aislamiento. Una vivienda tipo de 80 m<sup>2</sup> requeriría al menos entre 6 a 8 kW/h de potencia eléctrica mínima contratada para satisfacer la demanda del sistema calefacción.

30

Las ventajas de los calefactores eléctricos están relacionadas con la ausencia de emisiones de gases o residuos en el lugar de producción de calor, esto es en el calefactor.

Con el objeto de aumentar la eficiencia de los sistemas de calefacción se incorporan acumuladores de calor para su liberación de forma sostenida y prolongada durante un tiempo determinado. Uno de los elementos empleados como acumuladores de calor son los bloques cerámicos con alta inercia térmica debido a su baja conductividad térmica y alta densidad. Una aplicación de los calefactores con acumulador térmico está relacionada con acumular calor en horas de exceso de producción de energía eléctrica y liberar este sin consumo de energía eléctrica en horas de mayor demanda. Los sistemas calefactores con acumuladores cerámicos presentan las limitaciones relacionadas con el empleo de resistencias eléctricas y su baja eficiencia, ya que por el efecto de la misma inercia térmica que permite que éstos materiales cerámicos liberen su calor muy lentamente, una de las limitaciones de estado de la técnica está relacionada con que los materiales cerámicos requieren de un tiempo muy prolongado para su calentamiento cuando se utilizan resistencias eléctricas.

Por tanto el estado de la técnica requiere nuevas soluciones que solventen los problemas mencionados. Entre las soluciones posibles se ha considerado el empleo de la radiación microondas como sistema de generación de calor.

Se denomina microondas a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de  $3 \times 10^{-9}$  s a  $3 \times 10^{-12}$  s y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. Otras definiciones, por ejemplo las de los estándares IEC 60050 y IEEE 100 sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 30 centímetros a 1 milímetro.

Al igual que en el caso de otros tipos de ondas electromagnéticas, las microondas pueden propagarse a través de medios dieléctricos y ser transmitidas o reflejadas en las interfaces formadas por las discontinuidades entre distintos medios. Desde mediados del siglo XX, han aparecido algunas aplicaciones en las que se ha utilizado la energía de microondas como medio para transferir energía a materiales aprovechando su interacción con los mismos.

Una de las aplicaciones más conocidas de las microondas es el horno de microondas,

que emplea un magnetrón para producir ondas a una frecuencia de aproximadamente 2.45 GHz. Estas ondas hacen vibrar o rotar las moléculas de agua generando de esta forma calor. Debido a que la mayor parte de los alimentos contienen un importante porcentaje de agua, pueden ser fácilmente cocinados de esta manera. El agua, grasas y otras sustancias presentes en los alimentos absorben la energía de las microondas en un proceso llamado calentamiento dieléctrico. Muchas moléculas son dipolos eléctricos, es decir, tienen una carga positiva parcial en un extremo y una carga negativa parcial en el otro, y, por tanto, giran en su intento de alinearse con el campo eléctrico alterno de las microondas. Al rotar, las moléculas chocan con otras y las ponen en movimiento, dispersando así la energía. Esta energía, cuando se dispersa como vibración molecular en sólidos y líquidos, se transforma en calor.

Los aplicadores de microondas son habitualmente cavidades multimodales, y la interacción entre los diversos modos electromagnéticos que en ellas se propagan y sus múltiples reflexiones fomentan una distribución de campo muy irregular que da lugar a calentamientos poco homogéneos, con aparición de puntos fríos y calientes. Además, estas técnicas basadas en cavidades multimodales son usualmente técnicas en desadaptación, aspecto que implica que una parte sustancial de la energía entregada a la carga es reflejada de nuevo hacia la fuente, reduciendo así la eficiencia de éstos métodos.

La energía de microondas no puede calentar todos los materiales: sólo los que, por su composición, son capaces de absorber la energía electromagnética y generar calor como el agua. Otros materiales, como los metales, reflejan las microondas de igual modo que un espejo refleja la luz visible. Finalmente, hay materiales dieléctricos como las cerámicas con composiciones como por ejemplo la alúmina que no es capaz de absorber la energía de microondas, dejándola pasar de la misma forma que la luz atraviesa un cristal transparente.

Asimismo, existe un conjunto de materiales llamados “susceptores” por su gran capacidad para absorber energía electromagnética y convertirla en calor ver *M. Gupta, Microwaves and metals. John Wiley & Sons, Singapore 2007*. Suele tratarse de metales conductivos como el grafito aunque alternativamente pueden ser utilizados acero inoxidable, molibdeno, carburo de silicio, aluminio u otros materiales conductivos, que se

encuentran embebidos en una matriz dieléctrica.

En el estado de la técnica se describen ampliamente diferentes soluciones para calentar un material absorbedor de radiación microondas. En algunos casos se emplean radiadores con líquidos como por ejemplo en el documento DE19949013 o elementos  
5 cerámicos como en el documento RO117643 o en el documento US20060639602 para absorber preferentemente la radiación microondas y almacenar dicha energía en forma de calor con el objeto de mantener la temperatura de un material de forma más prolongada. El problema no resuelto en el estado de la técnica radica en que la  
10 transmisión de microondas a un medio dieléctrico incluso si este es un susceptor potencial no es tan inmediata. Un problema en el estado de la técnica consiste en que en muchos casos la interfaz entre el aire y el susceptor de microondas es prácticamente una Pared Magnética, dado que dichos materiales presentan normalmente una muy alta constante dieléctrica (por ejemplo el agua -  $\epsilon' \cong 76$ , tejido hepático -  $\epsilon' \cong 44$  o carburo de  
15 silicio (SiC) -  $\epsilon' \cong 10$ ) mientras que el aire presenta  $\epsilon' \cong 1$ . Las soluciones empleadas para transformar energía microondas en calor están limitadas por la eficiencia del conjunto formado por el emisor de microondas y el medio dieléctrico que absorbe las microondas. El problema consiste en que la falta de sistemas adaptados reduce la eficacia generando además problemas de descargas eléctricas en un primer nivel que además son fuentes  
20 de radiación microondas no controlada. En este campo técnico también se conoce el documento EP2090869, donde se detalla un elemento de calefacción mediante microondas que hace uso de una línea de transmisión eléctrica en la banda de las microondas, línea de transmisión que se encuentra dispuesta sobre un material dieléctrico.

En el estado de la técnica existen además soluciones para homogeneizar la temperatura mediante el empleo de agitadores de modos y elementos móviles. Sin embargo, dichas soluciones requieren de métodos que son aparatosos, introducen elementos mecánicos y son en todo caso indeseables en un sistema de calefacción doméstico.

En esta invención se aborda una solución novedosa al problema de transferir con alta eficiencia la energía microondas en calor mediante unidades calefactoras en forma de células calefactoras de baja potencia que permiten propagar la energía de microondas mediante líneas de transmisión eléctrica de modos transversales electromagnéticos a

materiales cerámicos con altas pérdidas dieléctricas en la región de microondas. Esta transducción de calor se realiza de forma adaptada en regiones de alta eficiencia. Dichas células calefactoras de baja potencia se integran en un calefactor unitario que presenta funcionamiento autónomo y está caracterizado por generar calor de forma no recíproca, esto es, el tiempo de calentamiento es netamente inferior al de liberación del calor. El conjunto de calefactores unitarios conforman un sistema de calefacción en el que se alimentan de forma secuencial con energía microondas entre los calefactores unitarios. El sistema de calefacción así constituido emplea una línea de baja potencia eléctrica que permite reducir considerablemente los requerimientos de suministro eléctrico relacionados con sistemas convencionales de calefacción de alta potencia.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Para un mejor entendimiento de la invención se aporta primeramente un listado con las correspondientes definiciones de los términos usados a lo largo de este documento.

- Por el término “célula calefactora” se entiende una unidad estructural mínima de generación de calor que comprende una línea de transmisión eléctrica de modos transversales electromagnéticos y un material cerámico de altas pérdidas dieléctricas.
- Por el término “célula calefactora basada *microstrip*” se entiende una célula calefactora basada en transmisión de señales de microondas que presenta una franja de conducción separada de la franja de masa por una capa de sustrato dieléctrico; dicha célula calefactora basada *microstrip* y corresponde a una línea de transmisión eléctrica de modos transversales electromagnéticos formada por un conductor plano colocado sobre un sustrato fino que a su vez descansa sobre un plano de masa capaz de radiar ondas electromagnéticas al material cerámico de altas pérdidas que se le interpone, transfiriendo así la energía al mismo de forma adaptada y resonante.
- Por el término “célula calefactora *stripline*” se entiende una célula calefactora basada en el tipo de línea de transmisión para modos TEM (Transversal Electro-Magnéticos) denominado *stripline* y corresponde a una línea de transmisión eléctrica de modos transversales electromagnéticos formada por un conductor embebido en un material cerámico de altas pérdidas y que absorbe la energía

electromagnética que se propaga por dicha línea de transmisión a medida que avanza.

- Por el término “calefactor unitario” se entiende el aparato calefactor que integra varias células calefactoras de cualquiera de las clases descritas anteriormente y que supone la unidad autónoma funcional mínima.
- Por el término “sistema calefactor” se entiende el conjunto de calefactores unitarios controlados por un sistema informático.
- Por el término “divisor de potencia” se entiende un dispositivo que reparte la potencia que recibe a su entrada entre n salidas, habitualmente de forma igualitaria. Los divisores de potencia se emplean en radiofrecuencia y microondas, comunicaciones ópticas, etc, para enviar a varios dispositivos la potencia recibida por una sola puerta, manteniendo las impedancias adaptadas para tener un bajo nivel de potencia reflejada.
- Por el término “susceptor de microondas” se entiende un material que posee capacidad de absorber la radiación electromagnética en la banda de microondas y convertirlo en calor que generalmente se reemite en forma de radiación infrarroja.
- Por el término “material cerámico de altas pérdidas” se entiende un material inorgánico, no metálico y conformado que posee capacidad de absorber la radiación electromagnética y convertirlo en calor que generalmente se reemite en forma de radiación infrarroja.

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a una célula calefactora que comprende una línea de transmisión eléctrica de modos electromagnéticos transversales monomodales, un divisor de potencia de modos electromagnéticos transversales monomodales y una carga eléctrica en forma de material cerámico de altas pérdidas que está acoplada a dicha línea de transmisión eléctrica y caracterizada por presentar absorción de ondas electromagnéticas en la frecuencia de microondas. Las células calefactoras del sistema de calefacción están caracterizadas por transformar la radiación electromagnética a la frecuencia de microondas en energía térmica por generación de calor.

En una realización preferida del primer aspecto de la presente invención, la línea de transmisión eléctrica de modos electromagnéticos transversales monomodales puede ser

elegida entre:

- *microstrip* definida como una placa de circuito impreso que comprende una lámina metálica conductora separada de una lámina metálica de masa por una lámina dieléctrica. Ésta línea de transmisión se termina en una antena *microstrip* de ranura en plano de masa diseñada para radiar energía directamente al material cerámico de altas pérdidas con objeto de transferirle la energía que transporta la línea.
- *stripline* definida como un conductor central metálico entre dos planos de masa equidistantes al mismo. El espacio entre los planos de masa y el conductor está relleno por material cerámico de altas pérdidas, de forma que la propagación de la energía por la línea de transmisión se transfiere directamente a dicho material cerámico de altas pérdidas.

En una realización preferida del primer aspecto de la presente invención, la célula calefactora *microstrip* está caracterizada por presentar una transmisión eléctrica de modos electromagnéticos monomodal y resonante, basada en la radiación de una antena *microstrip* sobre una capa gruesa de material susceptible de microondas o carga eléctrica. El material susceptible de microondas se coloca en la zona de campo cercano reactivo de la antena, que se extiende desde la fuente de la excitación hasta una distancia de aproximadamente  $\lambda/(2\pi)$  donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación microondas y  $\pi$  es la constante pi con un valor de 3.1416.

La célula calefactora *microstrip* incluye en una misma estructura metálica, por ejemplo de aluminio, una antena de ranura en plano de masa *microstrip* soportada en una placa de sustrato dieléctrico, alimentada por una línea de transmisión y conectada a un conector de entrada tipo N. Se mantiene unida a la ranura la carga en forma de material cerámico de altas pérdidas a calentar y entre ambas se coloca un material aislante térmico transparente a las microondas. La célula calefactora comprende una estructura metálica reflectora en su base la cual que dirige la radiación hacia la carga en forma de material cerámico de altas pérdidas. La célula *microstrip* está blindada con conductores eléctricos en todas sus paredes laterales y también en la superficie libre del material cerámico de altas pérdidas a calentar.

Como es bien conocido de la teoría básica de antenas, cualquier material colocado en el campo cercano de una antena es susceptible de desadaptarla debido a que el campo

electromagnético radiado a ésta región, si es reflejado de alguna manera, induce corrientes en la antena con una relación de fase determinada con la excitación original. Dicho efecto lleva a un almacenamiento de energía en los electrones libres de la antena durante una determinada parte del ciclo de oscilación, seguido por la consecuente liberación de la misma y creando el efecto reactivo que le da nombre a ésta región. Esto obliga a la adaptación de impedancias para la condición de contorno presentada, confiriéndole a la célula calefactora *microstrip* su carácter resonante.

Cuando se toma el caso de una onda plana viajando en un medio con pérdidas, lineal, homogéneo e isótropo, toda la información relativa al flujo de potencia en el medio puede ser obtenida del teorema de Poynting. En un medio dieléctrico sin fuentes eléctricas o magnéticas internas, la potencia disipada puede ser calculada utilizando la siguiente expresión:

$$P_d = \omega/2 \int_V (\epsilon_0 \epsilon'' |E \vec{\phantom{E}}|^2 - \mu_0 \mu'' |H \vec{\phantom{H}}|^2) dV \quad [1]$$

Siendo  $P_d$  la potencia disipada en el material,  $\omega$  la frecuencia angular de la excitación,  $\epsilon_0$  la permitividad dieléctrica del vacío,  $\epsilon''$  la componente compleja de la permitividad relativa del material,  $\mu_0$  la permeabilidad magnética del vacío,  $\mu''$  la componente compleja de la permeabilidad relativa del material,  $E \vec{\phantom{E}}$  el vector campo eléctrico y  $H \vec{\phantom{H}}$  el vector campo magnético.

La ecuación [1] es adecuada para calcular la disipación de potencia para una onda plana propagándose en el interior de un material, una vez dentro del mismo. Suponiendo que el material no presenta pérdidas magnéticas ( $\mu'' = 0$ ), y tomando la excitación como una aproximación, se puede calcular la integral de la potencia disipada. Para hacerlo, la excitación se tomará como uniforme en el plano XY (el plano coincidente con la cara de la muestra más próxima a la antena) y aproximada por una onda plana propagándose en la dirección del eje Z. Si bien el problema electromagnético es mucho más complejo que ésta aproximación, las dimensiones de la muestra son pequeñas comparadas con su alta conductividad térmica ( $k \cong 400 \frac{W}{m \cdot K}$ ), que hace el error de aproximación despreciable para el resultado térmico. En este sentido la potencia disipada se puede determinar mediante la siguiente relación.

$$P_d \cong P_{ent} (1 - e^{-2\alpha h}) (1 - \Gamma^2) \eta_r \quad [2]$$

5 Donde  $\alpha$  es el coeficiente de pérdidas o la parte real de la constante de propagación compleja  $\gamma$ , que incluye la dependencia de la frecuencia de la excitación  $f$  y con el factor de pérdidas del material  $\tan\delta$ ;  $h$  es el espesor de la muestra del material;  $\Gamma$  es el factor de reflexión de la antena; y  $\eta_r$  es la eficiencia de radiación de la antena. La eficiencia de radiación y el factor de reflexión pueden ser fácilmente optimizables mediante el diseño de la antena, teniendo por lo tanto efecto nulo en la eficiencia. La eficiencia de la absorción de energía depende de la relación entre la profundidad de penetración ( $1/\alpha$ ) y 10 el espesor de la muestra, relación en la cual la frecuencia de la excitación tiene una importancia clave. La potencia disipada dependerá entonces de la frecuencia y del factor de pérdidas. Estos cálculos permiten establecer un rango de características del material cerámico de altas pérdidas requerido para su adaptación a regímenes de alta eficacia.

15

En una realización preferida del primer aspecto de la presente invención la carga eléctrica en forma de material cerámico de altas pérdidas está acoplada a la línea de transmisión eléctrica y está caracterizada por presentar absorción de ondas electromagnéticas en la frecuencia de microondas. La absorción de microondas en el 20 material cerámico se produce debido a la existencia de pérdidas dieléctricas en el mismo como, por ejemplo, una cerámica sinterizada de SiC o bien por la presencia de partículas susceptoras como, por ejemplo, partículas de SiC embebidas en una matriz cerámica. Los elementos absorbentes de radiación microondas transforman dicha radiación microondas en calor que se transferirá al resto de la matriz cerámica por conducción y 25 será liberado al ambiente por radiación con la inercia térmica correspondiente a un material cerámico. Por consiguiente, este nuevo material se comporta de forma no recíproca en cuanto al tiempo de calentamiento se refiere. Y como se verá más adelante el tiempo de calentamiento es más rápido que el tiempo de enfriamiento resultando en una ventaja para obtener generadores de calor de alta eficiencia.

30

En una realización preferida del primer aspecto de la presente invención el material cerámico de altas pérdidas está caracterizado por un factor de pérdidas en la frecuencia de microondas de al menos 0.10.

En otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *microstrip* consiste en una placa cerámica de SiC de 5x5 cm<sup>2</sup> de superficie y un espesor de 0.7 cm, con una densidad del 99% respecto de la densidad teórica, permitividad relativa y factor de pérdidas altos ( $\epsilon' \cong 10$ ,  $\tan \delta \cong 0.16$ ). En el escenario propuesto y para este material cerámico de altas pérdidas de SiC denso, la eficiencia de la célula calefactora de la presente invención sólo depende de la adaptación de la antena *microstrip* y su eficiencia de radiación. Con el objeto de maximizar las eficiencias de radiación y dado que los cálculos en campo cercano en un medio material con pérdidas pueden ser muy complejos, se puede obtener una solución razonable mediante la simulación electromagnética. Los cálculos de simulación muestran una eficiencia de radiación de  $\eta_r = 99.8\%$  con una adaptación de impedancias mejor que  $S_{11} = -20$  dB, consiguiendo una eficiencia total cercana al 99%. Un valor tan elevado de eficiencia es una clara ventaja para el estado de la técnica al posibilitar la transformación de energía eléctrica en calor con unas pérdidas energéticas sensiblemente inferiores a otros sistemas disponibles en el estado de la técnica de sistemas de calefacción.

El material cerámico de altas pérdidas de SiC denso de 50 gramos de masa está caracterizado por incrementar su temperatura en 150°C cuando se somete durante 30 segundos a radiación microondas de 2.45 GHz en el interior de un horno microondas convencional de 1000 W. En términos de potencia suministrada por unidad de masa para producir un  $\Delta T \sim 50$  °C requerido para actuar como calefactor la muestra consume 55.6 kWh.Kg<sup>-1</sup>. El tiempo requerido para disminuir su temperatura desde la máxima temperatura alcanzada en 1/3 es de 300 segundos. La velocidad de enfriamiento en el rango de temperaturas de interés, esto es, desde 90 a 70°C para mantener el  $\Delta T > 50$  °C requerido para calefactar es de 0.08 °C.s<sup>-1</sup>. Donde se determina que las velocidades de calentamiento de la placa cerámica registran valores entre 4.85 °C/s y 6 °C/s, mientras que las velocidades de enfriamiento de dicha placa cerámica son inferiores en más de un orden de magnitud con valores inferiores a 0.267 °C/s. Las velocidades de calentamiento generado por la absorción de microondas y la de enfriamiento por radiación de calor son diferentes. El material cerámico de altas pérdidas actúa como un generador de calor recíproco ya que absorbe la energía de microondas generando calor en un tiempo notablemente inferior al requerido para ceder dicho calor al medio. La diferencia entre las velocidades de calentamiento y enfriamiento puede ser optimizada mediante la

composición del material cerámico de altas pérdidas. De acuerdo con el incremento de temperatura determinado la transferencia de potencia no es total debido a la distribución no uniforme de los campos en el material cerámico de altas pérdidas y en el microondas debido al reducido tamaño de la cerámica en comparación con el tamaño de la cavidad multimodal.

En otra realización preferida del primer aspecto de la presente invención el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *microstrip* es un material compuesto que comprende al menos un 50% en peso de partículas de SiC y el resto está constituido por porosidad y un compuesto sílico-aluminoso para mantener los granos de carburo de silicio consolidados. El procedimiento de obtención seguido es mezclar 50% en peso de partículas de SiC con 32.5% en peso de arcilla kaolinítica y 17.5% en peso de un mineral de talco. La mezcla se homogeneiza siguiendo procesos conocidos en el campo del procesado de materiales cerámicos y la mezcla se optimiza para conseguir una pasta adecuada para prensar en seco, por ejemplo mediante humectación. El prensado se realiza mediante presión uniaxial a una presión de 250Kg/cm<sup>2</sup> y las piezas obtenidas secan durante 24 horas en estufa a 80°C. Posteriormente las placas cerámicas se someten a un tratamiento térmico en atmósfera de aire entre 1100 y 1250°C manteniendo al menos 30 minutos la temperatura máxima de calentamiento. Las velocidades de calentamiento son superiores a 3°C por minuto y el enfriamiento natural, aunque no restringido a este ciclo térmico.

En otra realización preferida del primer aspecto de la presente el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *microstrip* consiste en una placa cerámica de porcelana de un material compuesto de la composición anteriormente descrita de 8x3 cm<sup>2</sup> de superficie y un espesor de 0.7 cm, que comprende 50% en peso de partículas de SiC con un tamaño promedio de partícula superior a 3 μm y con una densidad del 85% respecto de la densidad teórica, permitividad relativa y factor de pérdidas altos ( $\epsilon' \cong 13$ ,  $\tan \delta \cong 0.16$ ).

En una realización alternativa del primer aspecto de la presente el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *microstrip* consiste en una placa cerámica de porcelana de un material compuesto de la composición anteriormente descrita de 14.8x14.8 cm<sup>2</sup> de superficie y un espesor de 1.1 cm de espesor. El material

cerámico de altas pérdidas de porcelana de la composición anteriormente descrita de 1300 gramos de masa está caracterizado por incrementar su temperatura en 120°C cuando se somete durante 90 segundos a radiación microondas de 2.45 GHz en el interior de un horno microondas convencional de 1600 W. En términos de potencia suministrada por unidad de masa para producir un  $\Delta T \sim 50^\circ\text{C}$  requerido para actuar como calefactor la muestra consume 3.9 kWh.Kg<sup>-1</sup>. El tiempo requerido para disminuir su temperatura desde la máxima temperatura alcanzada en 1/3 es de 1260 segundos. La velocidad de enfriamiento en el rango de temperaturas de interés, esto es, desde 90 a 70°C para mantener el  $\Delta T > 50^\circ\text{C}$  requerido para calefactar es de 0.025°C.s<sup>-1</sup>.

El material cerámico de altas pérdidas conformado como un material compuesto que comprende partículas de SiC presenta una ventaja para la absorción de energía de microondas al requerir consumos de potencia por unidad de masa sensiblemente inferiores a los empleados para una placa densa de SiC y la velocidad de enfriamiento es así mismo más lenta. Adicionalmente los materiales compuestos son conformables de acuerdo a procedimientos conocidos en la industria cerámica proporcionando así una gran disponibilidad de formas y dimensiones dentro de los límites de la técnica que resultan ventajosas para proporcionar elementos para el material cerámico de altas pérdidas.

En otra realización alternativa del primer aspecto de la presente invención, la célula calefactora *microstrip* se modificó incorporando un plano conductor en la cara libre del material cerámico de altas pérdidas de manera que los excedentes de la absorción de potencia no se pierden en espacio libre al ser reflejados de nuevo a la muestra y la antena, y siendo finalmente absorbidos tras diversas reflexiones entre las paredes eléctricas de la célula. El plano conductor está constituido por ejemplo por un material metálico como puede ser el aluminio, latón, acero inoxidable o por un recubrimiento que presente conducción metálica como por ejemplo un recubrimiento de pintura de plata. De ésta forma se consigue independizar el porcentaje de absorción de energía del espesor del material. Este nuevo diseño presenta una ventaja notable ya que para evitar la ineficiencia de la unidad calefactora se incorpora un plano conductor que además presenta la ventaja de mejorar la seguridad del dispositivo al impedir la salida de radiación de microondas fuera de la unidad calefactora. Otra ventaja de la presente invención al incorporar una carga eléctrica en forma de material cerámico de altas

pérdidas es que se evita la no-uniformidad de campo eléctrico dado su reducido tamaño con respecto a la fuente y la conductividad térmica de dicha carga cerámica.

5 En una realización todavía más preferida del primer aspecto de la presente invención el plano conductor en la cara libre del material cerámico de altas pérdidas de la célula calefactora incorporar canales metálicos para aumentar su superficie y transferir más eficientemente el calor al aire. El aumento de la superficie de intercambio de calor en el plano conductor permiten el flujo ascendente de aire calentado y actuando así como elemento disipador y radiador de energía calorífica. El plano de conductor metálico con  
10 elevada superficie presenta una ventaja al actuar como elemento disipador de calor.

En otra realización todavía más alternativa del primer aspecto de la presente invención la célula calefactora *stripline* está caracterizada por presentar una transmisión eléctrica de modos electromagnéticos monomodal de altas pérdidas y de banda muy ancha. La célula  
15 *stripline* comprende un conductor alojado en el interior de un material cerámicos de altas perdidas dieléctricas que actúa como susceptor de microondas o carga eléctrica, conformando así una línea de transmisión de muy altas pérdidas que es absorbente en una banda de frecuencias que comprende la región de frecuencias de microondas entre las que se incluye la banda ISM de 2.45 GHz.

20 La carga cerámica empleada en la célula *stripline* se acopla físicamente a la antena de transmisión de energía electromagnética para maximizar la absorción de energía en forma de radiación por microondas y su conversión efectiva en calor. Este acoplamiento físico es característico del tipo de línea de transmisión empleado en la presente  
25 invención. De forma adicional, las dimensiones y propiedades de la carga eléctrica en forma de material cerámico de altas pérdidas necesitan estar adaptadas a los parámetros de la línea de transmisión de energía electromagnética.

En cualquiera de las posibles realizaciones del primer aspecto de la invención la célula calefactora donde es del tipo *stripline*, está caracterizada por que el conductor central es  
30 un material metálico cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales, como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también pueden cumplir esa función. La forma del conductor central se elige entre las formas habituales que se

presentan para conductores metálicos como son hilos de sección circular obtenidos por técnicas de trefilado o láminas de sección rectangular obtenidas por laminado. La forma del conductor central de la línea stripline se reproduce en negativo en el interior del material cerámico de altas pérdidas. Mientras que el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *stripline* es un material cerámicos como el descrito previamente que comprende un 50% en peso de partículas de SiC y el resto está constituido por porosidad y un compuesto sílico-aluminoso para mantener los granos de carburo de silicio consolidados.

El material cerámico dispone de un hueco en su interior de dimensiones suficiente para alojar el conductor central. Este hueco se realiza de forma previa a al proceso de sinterización del material o se practica sobre el material cerámicos sinterizado por mecanizado de las piezas cerámicas siguiendo metodologías conocidas en el estado de la técnica. Cabe la posibilidad de que el material cerámico de altas pérdidas empleado en la célula calefactora *stripline* comprenda dos piezas de material cerámico de altas pérdidas de forma que en una de las caras respectivas se ha realizado un hueco o negativo de dimensiones correspondientes a la longitud del conductor central y a la mitad de su sección. Las dos piezas se unen de forma que la línea *stripline* quede engarzada en su interior. Las piezas cerámicas se pueden unir empleando por ejemplo un adhesivo. El empleo de adhesivos cerámicos que soporten altas temperaturas resulta en una ventaja para el correcto funcionamiento del dispositivo. El empleo de piezas de material cerámicos que reproduzcan en negativo la línea *stripline* resulta en una clara ventaja para la fabricación de las células calefactoras stripline pues permite producir de forma eficiente y económica piezas de dimensiones adecuadas basadas en la amplia flexibilidad de formas de los procesos cerámicos.

En aquellas realizaciones donde la célula calefactora es tipo *stripline*, la forma del conductor central y su grosor depende de la sección transversal de la línea de transmisión stripline, eligiéndose según ésta para obtener las características de propagación deseadas. La célula calefactora *stripline* se convierte en un transductor de radiación electromagnética en calor con la capacidad de convertir la potencia de la onda que se propaga en calor mediante una longitud de línea de transmisión mínima. La línea *stripline* se termina en cortocircuito y posee una longitud suficiente para transducir toda la potencia aceptada en un gran ancho de banda. Como es conocido de la teoría de líneas

de transmisión, la pérdida de potencia en una línea de transmisión cargada con un cortocircuito se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$P_{loss}|_{Z_L=0} = \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} (e^{2\alpha l} - e^{-2\alpha l}) \quad [3]$$

Siendo  $P_{loss}$  la potencia perdida en el material que rellena la línea de transmisión,  $V_0^+$  el valor de la onda de tensión incidente en dicha línea,  $Z_0$  la impedancia característica de la línea,  $\alpha$  el coeficiente de pérdidas definido anteriormente y  $l$  la longitud de la línea de transmisión *stripline*.

Tanto la onda progresiva como la regresiva producida por la carga reflectiva contribuyen a la pérdida de potencia siguiendo una ley exponencial que sólo depende de la longitud de la línea ( $l$ ) y el coeficiente de pérdidas ( $\alpha_d$ ). Tomando una posible forma del conductor central cilíndrica, la figura 11 muestra la impedancia característica de la línea para diferentes diámetros de la línea central ( $D$ ) a la frecuencia de 2.45 GHz.

La célula calefactora del primer aspecto de la presente invención el sistema de calefacción basado puede presentar un divisor de potencia de modos electromagnéticos transversales monomodales que comprende  $n$  salidas, siendo  $n$  un número natural positivo mayor de 1. Un divisor de potencia no normalizado reparte la potencia en al menos dos líneas de transmisión de forma igualitaria manteniendo las impedancias adaptadas para tener un bajo nivel de potencia reflejada. Un caso particular consiste en el empleo de divisores de potencia tipo Wilkinson que proveen un número par de elementos de salida.

El empleo de divisores de potencia presenta la ventaja de repartir de forma uniforme la potencia en las diferentes líneas de transmisión de modos electromagnéticos. La incorporación de un número de al menos dos células calefactoras *microstrip* o células calefactoras *stripline* permite el empleo de una fuente de radiación microondas de tipo magnetrón con potencias de hasta 1000 W. La radiación microondas se conduce a través de una guía coaxial, y el acoplamiento entre la radiación microondas generada por el magnetrón y dicha red de distribución se realiza mediante el empleo de un acoplador, como por ejemplo una transición guía-coaxial WR340. Dado que la potencia de un magnetrón es netamente superior a la potencia que puede disiparse mediante una única célula calefactora, el empleo de divisores de potencia permite dividir la misma de modo que, por ejemplo, a partir de un magnetrón que produzca 800 W de radiación microondas

y mediante 7 divisores de potencia se pueden alimentar 8 unidades calefactoras que pueden disipar una potencia máxima en cada una de ellas de 100 W. El empleo de 15 divisores proporciona así mismo una alimentación de energía de microondas para la alimentación de 16 unidades calefactoras que pueden disipar una potencia máxima, cada una de ellas, de 50 W.

En una realización preferida del segundo aspecto de presente invención el material cerámico de altas pérdidas empleado se corresponde con una pieza única cuya superficie es suficiente para albergar las antenas *microstrip* en un número tal que la potencia suministrada por el magnetrón pueda ser disipada. Este aspecto resulta en una clara ventaja para la generación de unidades calefactoras para sistemas de calefacción dado que permite el empleo de superficies cerámicas de un tamaño mayor al descrito en las realizaciones preferidas del primer aspecto de la presente invención. Asimismo, otra ventaja es la de calentar de forma homogénea y eficiente una pieza cerámica absorbadora de radiación electromagnética en el rango de microondas de una superficie de dimensiones superiores a la requerida para una célula unitaria.

En otra realización preferida del segundo aspecto de presente invención el material cerámico de altas pérdidas empleado se corresponde con dos piezas en cuya superficie se ha realizado un hueco o negativo de dimensiones correspondientes a la longitud del conductor central y a la mitad de su sección de forma tal que se albergan las líneas *stripline* en un número tal que la potencia suministrada por el magnetrón pueda ser disipada.

En otra realización preferida del segundo aspecto de presente invención el material cerámico de altas pérdidas empleado se corresponde con una pieza en cuyo interior se albergan las líneas *stripline* en un número tal que la potencia suministrada por el magnetrón pueda ser disipada.

En un tercer aspecto de la presente invención consiste en un sistema de calefacción que comprende calefactores que a su vez comprenden las células calefactoras del primer aspecto de la invención que comprenden una línea de transmisión eléctrica de modos electromagnéticos transversales y una carga cerámica acoplada con pérdidas dieléctricas. Cada sistema calefactor unitario comprende un sistema de control que

permite sincronizar los tiempo de suministro de energía eléctrica de forma tal que solamente se encuentre consumiendo energía eléctrica uno de las sistemas calefactores unitarios y limitados a la potencia máxima del magnetrón, por ejemplo 800 W. Cada sistema calefactor unitario emplea un tiempo en calentarse por absorción de la energía microondas que es un tiempo sensiblemente menor que el requerido para disipar la energía calorífica almacenada por dicha carga. De esta forma se puede disponer de tiempos de calentamiento de las células calefactoras suficientes para tener un conjunto de las mismas a la temperatura requerida para poder ser empleada como sistema de calefacción. Por ejemplo, 6 sistemas calefactores que requieran de 1 minuto para ser calentados desde 20 °C a 80 °C consumiendo 800 W pueden actuar de forma sincronizada mediante el correspondiente sistema de control para ser calentadas con una potencia máxima total de 800 W. De esta forma, esta realización resulta en una clara ventaja respecto al estado de la técnica en sistemas de calefacción porque permite disponer de un sistema de calefacción de alta eficiencia limitando la potencia suministrada por la instalación eléctrica.

El sistema de sincronización entre las diferentes células calefactoras se realiza por ejemplo mediante un sistema inalámbrico tipo wifi o cableado como tipo PLC, resultando en una clara ventaja, pues permite acoplar diferentes sistemas calefactores unitarios sin necesidad de que se encuentren conectados entre sí físicamente. El sistema de calefacción comprende así mismo un sistema de captación de datos de temperatura, un sistema de programación y un algoritmo para distribuir de forma eficiente los tiempos de calentamiento entre los diferentes sistemas unitarios de calefacción de forma que se emplee la energía eléctrica de forma eficiente. El sistema de calefacción así diseñado presenta la ventaja de ser flexible en su configuración.

En otra realización preferida del tercer aspecto de la presente invención el sistema de calefacción que comprende células calefactoras que comprenden una línea de transmisión eléctrica de modos electromagnéticos transversales y una carga cerámica acoplada con pérdidas dieléctricas se emplea para proporcionar confort térmico en forma de calefacción para espacios como son: habitaciones domésticas, oficinas, locales comerciales, locales industriales y en general espacios habitados.

En cualquiera de los distintos aspectos de la invención aquí descrita los calefactores

térmicos pueden disponer de un control de funcionamiento para ser integrado en una red de radiadores que conformen un sistema de calefacción con una notable mejora de la eficiencia energética sobre una red de radiadores de cualquier otra tecnología.

5 Un cuarto aspecto de la invención va referido al uso del sistema de calefacción empleando radiación microondas del tercer aspecto de la invención para confort térmico en forma de calefacción para espacios como habitaciones domésticas, oficinas, locales comerciales, locales industriales y en general espacios habitados.

## 10 DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

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

Figura 1. Muestra un esquema de la célula calefactora *microstrip* que comprende un conector de entrada tipo N, una línea de transmisión metálica, una antena de ranura en  
20 plano de masa *microstrip*, un material aislante térmico transparente a las microondas, un material cerámico de altas pérdidas dieléctricas, una estructura metálica que encierra completamente la célula cuya base conforma el plano reflector, y la placa de sustrato dieléctrico que sustenta la línea *microstrip*).

25 Figura 2. Muestra una gráfica denominada carta de Smith que representa el factor de reflexión de la célula de calentamiento stripline tanto en módulo como en fase en función de la longitud eléctrica de la célula. De la figura se deduce que tanto módulo como fase son decrecientes con la longitud eléctrica, considerando suficientes las respuestas contenidas en el interior de la línea discontinua.

30 Figura 3. Muestra una gráfica que representa el parámetro  $S_{11}$  como la relación entre la señal de microonda reflejada respecto a la señal de entrada o el parámetro de eficiencia en función de la frecuencia de microondas para una célula calefactora *microstrip* cuando está diseñada para radiación en espacio libre, cargada con un susceptible de microondas y

finalmente rediseñada para estar adaptada empleando un material cerámico de altas pérdidas.

5      Figura 4a-4c. Muestra unas gráficas de calentamiento de materiales cerámicos de altas pérdidas en un horno de microondas multimodal en función del tiempo de exposición a la radiación microondas.

10     Figura 5. Muestra un esquema de la célula calefactora *stripline* que comprende planos de masa, material cerámico de altas pérdidas y una línea de transmisión formada por un conductor central.

15     Figura 6. Muestra una gráfica que representa el parámetro  $S_{11}$  como la relación entre la señal de microonda reflejada respecto a la señal de entrada o el parámetro de eficiencia en función de la frecuencia de microondas para una célula calefactora *stripline* para diferentes longitudes de la línea de transmisión.

20     Figura 7. Muestra un esquema de la célula calefactora *stripline* comprendiendo líneas de transmisión en una única pieza que comprende plano de masa, material cerámico de altas pérdidas y líneas de transmisión formadas por conductores centrales.

25     Figura 8. Muestra un esquema de una agrupación de células calefactoras *microstrip* para el calentamiento uniforme sobre una pieza más grande de material cerámico de altas pérdidas, mediante el empleo líneas *microstrip* en configuración de divisores de Wilkinson, y antenas de ranura en plano de masa.

30     Figura 9. Muestra un esquema de los componentes que integran un calefactor unitario, a saber las células calefactoras, los divisores de potencia de Wilkilson , divisor de potencia no normalizado, la transición guía coaxial, el magnetrón y las conexiones pertinentes utilizando cable coaxial.

Figura 10. Muestra un esquema de los componentes que integran un sistema calefactor, a saber distintos calefactores unitarios, una unidad de control y una conexión de datos para el control que pudiera ser wifi o PLC.

Figura 11. Muestra una tabla que relaciona el diámetro del conductor central de la célula *stripline* con la impedancia característica de la línea vista desde el plano de excitación.

Figura 12. Muestra una tabla donde se muestra el valor del parámetro de dispersión  $S_{11}$  y el correspondiente porcentaje de potencia absorbida a la frecuencia de 2.45 GHz para diferentes longitudes de la línea de transmisión, una vez fijado el diámetro del conductor central de la línea en  $D=1$  mm.

### REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

10

Como caso práctico de realización de la invención, y sin carácter limitativo de la misma, se describen a continuación varios ejemplos de realización de las células calefactoras, alimentada por una línea *microstrip* o por una línea de transmisión *stripline*, de uno de los aspectos de la invención que implementan de forma simple los principales conceptos objeto de esta invención.

15

En el primer aspecto de la invención referido a una célula calefactora a partir de radiación de microondas, tenemos que dicha célula calefactora comprende en una estructura metálica (6) dotada de una base al menos un conector de entrada (1), una línea de transmisión eléctrica (2) de modos electromagnéticos transversales monomodales actuando como una antena (3) y que está hecha al menos de metal y/o material cerámico, un material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9) al cual se encuentra fijada la antena (3), y un plano reflector definido por la base de la estructura metálica (6) y situado a  $\lambda/4$  de la línea de transmisión eléctrica (2), siendo  $\lambda$  la longitud de onda de la radiación incidente en la célula, dirigiendo el plano reflector dicha radiación de microondas al material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9).

20

25

Adicionalmente se puede equipar la célula calefactora con un divisor de modos electromagnéticos transversales monomodales

30

En una posible primera realización, la célula calefactora a partir de radiación de microondas puede tener la línea de transmisión eléctrica (2) definida por una lámina metálica conductora separada de una lámina metálica de masa por una lámina dieléctrica y fijada una ranura del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) y sustentada

por una placa de sustrato dieléctrico (7). En esta posible realización la célula calefactora adicionalmente comprende un material aislante térmico transparente a las microondas (4), ubicado entre el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9) y la antena (3) cuando la línea de transmisión eléctrica (2) es una lámina metálica conductora separada de una lámina metálica de masa por una lámina dieléctrica.

En una posible segunda realización la célula calefactora a partir de radiación de microondas puede tener la línea de transmisión eléctrica (2) definida por un conductor central metálico (10) que se encuentra ubicado en el interior del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9) una zona comprendida en un eje de simetría del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9) entre dos planos de masa equidistantes al conductor central metálico (10).

En el caso de elegir la segunda opción, el conductor central metálico (10) se encuentra ubicado en una zona comprendida en un eje de simetría vertical del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9) que preferentemente divide en dos partes iguales el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9).

Asimismo, el conductor central (10) se encuentra preferentemente ubicado en un hueco del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9), hueco que más preferentemente tiene unas dimensiones respectivamente correspondientes a la longitud del conductor central, que es preferentemente superior a 10 cm y a la mitad de la sección del conductor central, pudiendo el conductor central (10) presentar, en cualquiera de los ejemplos referidos, una sección transversal circular, cuadrada o rectangular.

El funcionamiento de uno de los aspectos de la invención se puede observar a la vista de las figuras 4a-4c donde en la figura 4a muestra una gráfica referida al calentamiento-enfriamiento de una placa cerámica de SiC de 5x5 cm<sup>2</sup> de superficie y un espesor de 0.7 cm, con una densidad del 99% respecto de la densidad teórica; el calentamiento se realiza en un horno microondas de 1000 W; la figura 4b muestra una gráfica referida al calentamiento-enfriamiento del material cerámico de altas pérdidas (5,9) con un 50% en peso de partículas de SiC y el resto está constituido por porosidad y un compuesto sílico-aluminoso para mantener los granos de carburo de silicio consolidados; la placa de

14.8x14.8 cm<sup>2</sup> de superficie y un espesor de 1.1 cm de espesor posee 1300 gramos de masa; el calentamiento se realiza en un horno microondas de 1600 W; y la Figura 4c muestra una gráfica referida a las curvas de calentamiento-enfriamiento de ciclos consecutivos.

5

Asimismo se prevé la posibilidad de que material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9) tenga un plano conductor, preferiblemente de un material que comprende aluminio, en al menos una de sus cara, preferiblemente en una cara donde no se encuentra acoplada la línea..

10

**Ejemplo 1.** Célula calefactora con la la antena de ranura en plano de masa (3) *microstrip* empleando el citado material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) de la figura 1 que comprende SiC, preferiblemente más de un 50% en peso de SiC.

15

Se refiere a una célula calefactora tipo *microstrip* envuelta en la misma estructura metálica (6), preferentemente aluminio, la antena (3) es de tipo de ranura en plano de masa es decir tipo *microstrip* alimentada por la línea de transmisión (2) y conectada al conector de entrada (1) tipo N. Se mantiene la antena (3) de ranura en plano de masa, fijada mediante adhesivo a una lámina de fibra de alúmina que actúa como material aislante térmico transparente a las microondas (4) a las temperaturas de trabajo de la célula calefactora y, a continuación de ésta el material cerámico de altas pérdidas (5) que puede ser preferiblemente una placa de SiC 100%. La estructura metálica (6)

20

define en su base un plano reflector de aluminio situado a  $\frac{\lambda}{4}$  de la antena (3) por tanto dado que esta se encuentra en la citada ranura del material cerámico de altas pérdidas (5) a la misma distancia de la ranura del material cerámico de altas pérdidas (5). Estando el plano reflector destinado a dirigir una radiación de longitud de onda  $\lambda$  incidente en la célula hacia el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5). La disposición de los elementos que conforman la célula se esquematiza en la Figura 1.

25

30

La potencia que puede soportar la antena (3) de ranura en plano de masa alimentada por una línea *microstrip* o una línea de transmisión *stripline* puede llegar a 300 W a esta frecuencia. Por cuestiones de seguridad la potencia debe limitarse a 100 W en una superficie de 5x5 cm<sup>2</sup> suponiendo que esté completamente adaptada (VSWR  $\geq$  20

dB). Para la placa densa de SiC del 100% de 6 mm de espesor y superficie de 5x5 cm<sup>2</sup> la masa total sería:

$$m(\text{gr}) = 3.153 \text{ gr/cm}^3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 0.6 \text{ cm}^3 \cong 50 \text{ gr}$$

5  $m(\text{gr}) = 3.153 \text{ gr/cm}^3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 0.6 \text{ cm}^3 \cong 50 \text{ gr}$

Para aumentar la temperatura de esta pieza desde 20 °C hasta 80 °C, es decir, un incremento de temperatura  $\Delta T = 60$  °C en un tiempo de 1 min = 60 s se requiere:

10 
$$\text{Potencia} = \frac{50 \cdot 60 \cdot 0.7}{60} = 35 \text{ W} < 100 \text{ W (limite de potencia)}$$

$$\text{Potencia} = \frac{50 \cdot 60 \cdot 0.7}{60} = 35 \text{ W} < 100 \text{ W (limite de potencia)}$$

15 Por lo tanto se conseguiría un calentamiento de la placa adecuado para que dicha unidad calefactora actúe como elemento generador de calor.

20 La Fig. 3 muestra las respuestas medidas de la antena cuando la misma está diseñada para radiación en espacio libre, después cargada con un susceptor de microondas y finalmente rediseñada y reimpressa para la adaptación en presencia del material cerámico de altas pérdidas (5). Las simulaciones muestran una eficiencia de radiación de  $\eta_r = 99.8\%$ , como se esperaba dadas las bajas pérdidas del sustrato, y las medidas muestran una adaptación de impedancias mejor que  $S_{11} = -20 \text{ dB}$ , consiguiendo una eficiencia total cercana al 99%.

25 **Ejemplo 2.** Célula calefactora *stripline* empleando material cerámico de altas pérdidas (9) de la figura 5, material cerámico de altas pérdidas (9) de porcelana con 50% en peso de SiC.

30 En este caso tenemos una célula calefactora tipo *stripline* que comprende el citado conductor central de un material metálico (10), preferiblemente de cobre de 1 mm de diámetro que se mecanizó a partir de una lámina de cobre. La forma del conductor central metálico (10) de la línea *stripline* se reprodujo en negativo en el interior del

material cerámico de altas pérdidas (9) consistente en un compuesto tipo porcelana que comprende 50% en peso de partículas de SiC y el resto está constituido por porosidad y un compuesto sílico-aluminoso para mantener los granos de carburo de silicio consolidados.

5

La Fig. 7 muestra el factor de reflexión frente a la frecuencia en esta figura se puede observar un conductor central metálico (10). La célula calefactora *stripline* se comportó como un dispositivo de banda ancha. La transferencia energética tuvo una eficiencia superior al 99%, ya que toda la energía absorbida por el dispositivo es convertida en calor sin ninguna clase de fugas o reflexiones.

10

Con cualquiera de las posibles configuraciones de célula calefactora, y añadiendo divisores de potencia, y al menos un magnetrón, tenemos un calefactor de radiación microondas, ya que el magnetrón se encargaría de generar la radiación de microondas que requiere la célula calefactora. Adicionalmente se puede equipar el calefactor con una unidad de comunicación y una unidad de control.

15

Si se requiere según instalación, se puede definir un sistema de calefacción empleando radiación microondas mediante la interconexión de una serie de calefactores de radiación microondas como el descrito en el párrafo anterior. A este sistema, para su óptimo funcionamiento, se le podría implementar tanto un algoritmo de control como un sistema inteligente de control.

20

25

30

## **REIVINDICACIONES**

1. Célula calefactora a partir de radiación de microondas caracterizada por que comprende, encerrados en una estructura metálica (6) dotada de una base:
- 5
- al menos un conector de entrada (1),
  - una línea de transmisión eléctrica (2) de modos electromagnéticos transversales monomodales actuando como una antena (3),
  - un material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9) al cual se encuentra fijada la antena (3), y
- 10
- un plano reflector definido por la base de la estructura metálica (6) y situado a  $\frac{\lambda}{4}$  de la línea de transmisión eléctrica (2), siendo  $\lambda$  la longitud de onda de la radiación incidente en la célula, dirigiendo el plano reflector dicha radiación de microondas al material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9).
- 15
2. Célula calefactora a partir de radiación de microondas según la reivindicación 1 caracterizada por que adicionalmente comprende un divisor de modos electromagnéticos transversales monomodales..
3. Célula calefactora según reivindicación 2 caracterizada por que la línea de
- 20
- transmisión eléctrica (2) de modos electromagnéticos transversales monomodales se selecciona de entre:
- una lámina metálica conductora separada de una lámina metálica de masa por una lámina dieléctrica y fijada a una ranura del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) y sustentada por una placa de sustrato dieléctrico (7), y
- 25
- un conductor central metálico (10) que se encuentra ubicado en el interior del material cerámico (9) entre dos planos de masa equidistantes al conductor central metálico (10); y
- 30
- porque la célula calefactora adicionalmente comprende un material aislante térmico transparente a las microondas (4), ubicado entre el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) y la antena (3) cuando la línea de transmisión eléctrica (2) es una lámina metálica conductora separada de una lámina metálica de masa por una lámina dieléctrica.

4. Célula calefactora según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 caracterizada por que el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5,9) tiene un valor de pérdidas dieléctricas en la región de radiación electromagnética de microondas  $\geq 0.10$ .

5

5. Célula calefactora según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizada por que el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) comprende una proporción de al menos 50% en peso de SiC.

10

6. Célula calefactora según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 caracterizada por que el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (5) comprende un plano conductor en al menos una de sus caras.

15

7. Célula calefactora según reivindicación 5 caracterizada por que el plano conductor es de un material que comprende aluminio.

20

8. Célula calefactora según reivindicación 3 caracterizada por que el conductor central metálico (10) se encuentra ubicado en una zona comprendida en un eje de simetría del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9).

9. Célula calefactora según reivindicación 8 caracterizada por que el eje de simetría es un eje de simetría vertical que divide en dos partes iguales el material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9).

25

10. Célula calefactora según reivindicación 3 caracterizada por que el conductor central metálico (10) se encuentra ubicado en un hueco del material cerámico de altas pérdidas dieléctricas (9), hueco que tiene unas dimensiones respectivamente correspondientes a la longitud del conductor central metálico (10) y a la mitad de la sección del conductor central metálico (10).

30

11. Célula calefactora según reivindicación 3 o una cualquiera de 8 a 10 caracterizada por que el conductor central metálico (10) tiene una longitud superior a 10 cm.

12. Célula calefactora según reivindicación 3 o una cualquiera de 8 a 11 caracterizada por que el conductor central metálico (10) tiene una sección transversal que se selecciona de entre el grupo consistente en:

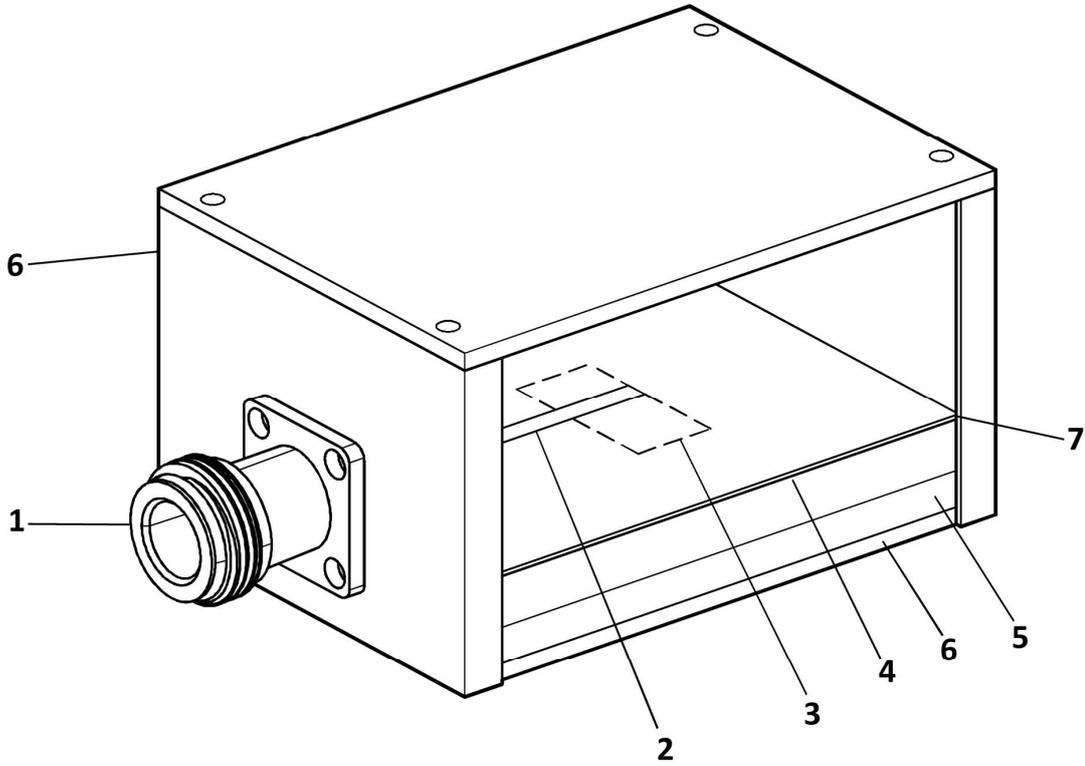
- circular,
- 5 - cuadrada, y
- rectangular.

13. Calefactor de radiación microondas caracterizado por que comprende al menos un célula calefactora como la descrita en las reivindicaciones 1 a 12, divisores de potencia, y al menos un magnetrón.

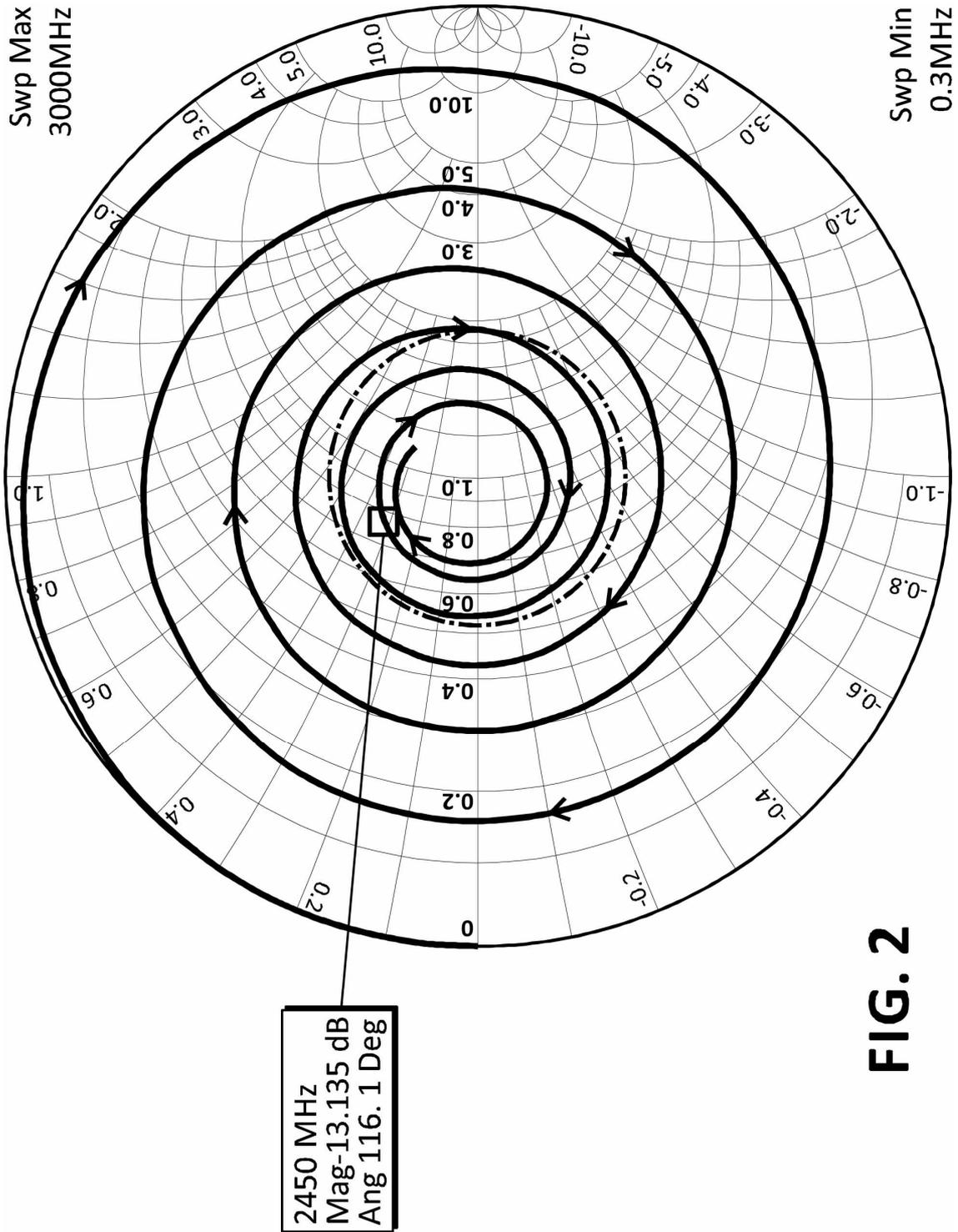
14. Calefactor de radiación microondas según reivindicación 13 caracterizado por que adicionalmente comprende una unidad de comunicación y una unidad de control.

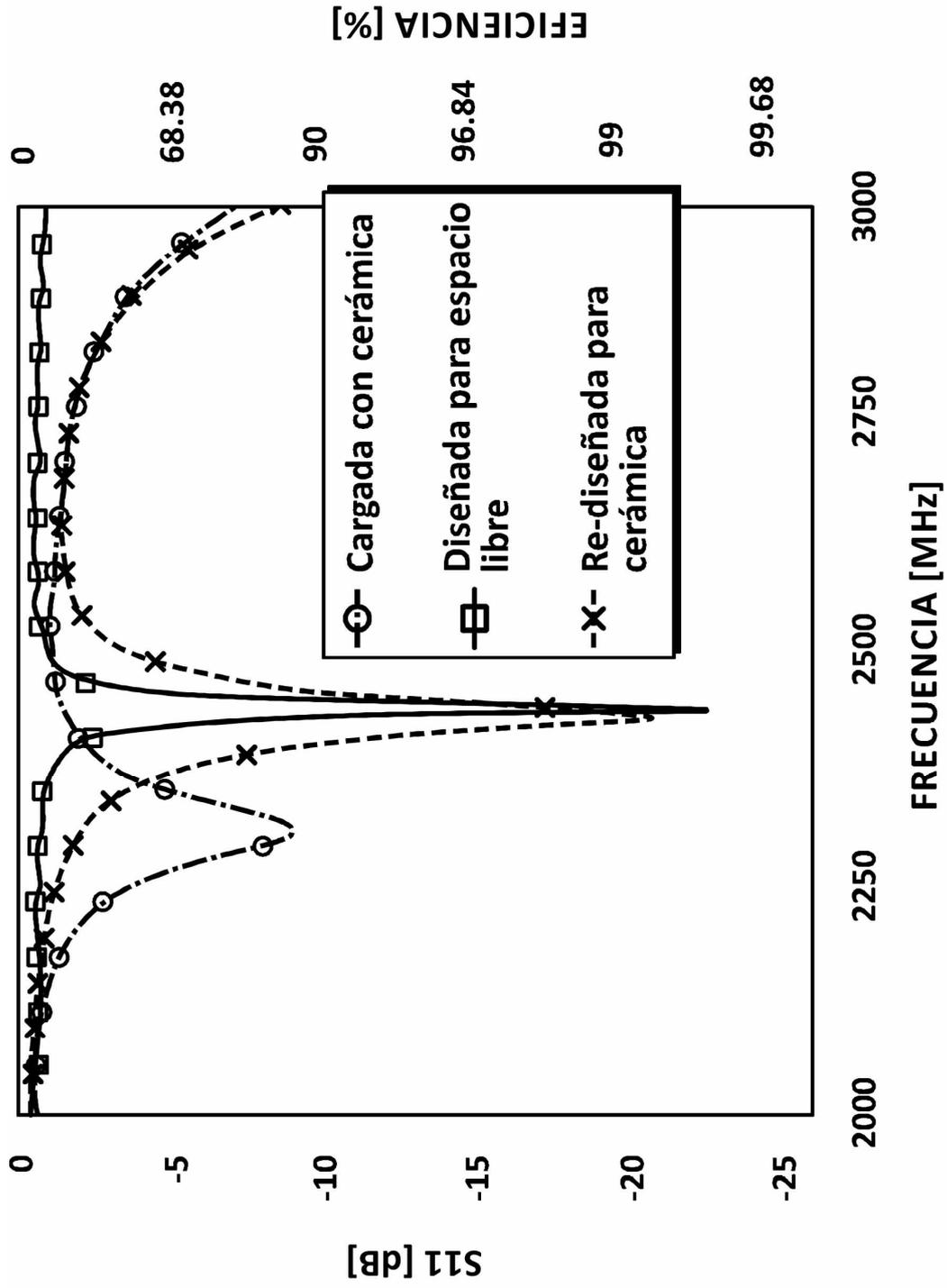
15 15. Sistema de calefacción empleando radiación microondas caracterizado por que comprende interconectados una serie de calefactores de radiación microondas según una cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, un algoritmo de control y un sistema inteligente de control.

20 16. Uso del sistema de calefacción empleando radiación microondas según la reivindicación 16 para confort térmico en forma de calefacción para espacios como habitaciones domésticas, oficinas, locales comerciales, locales industriales y en general espacios habitados.

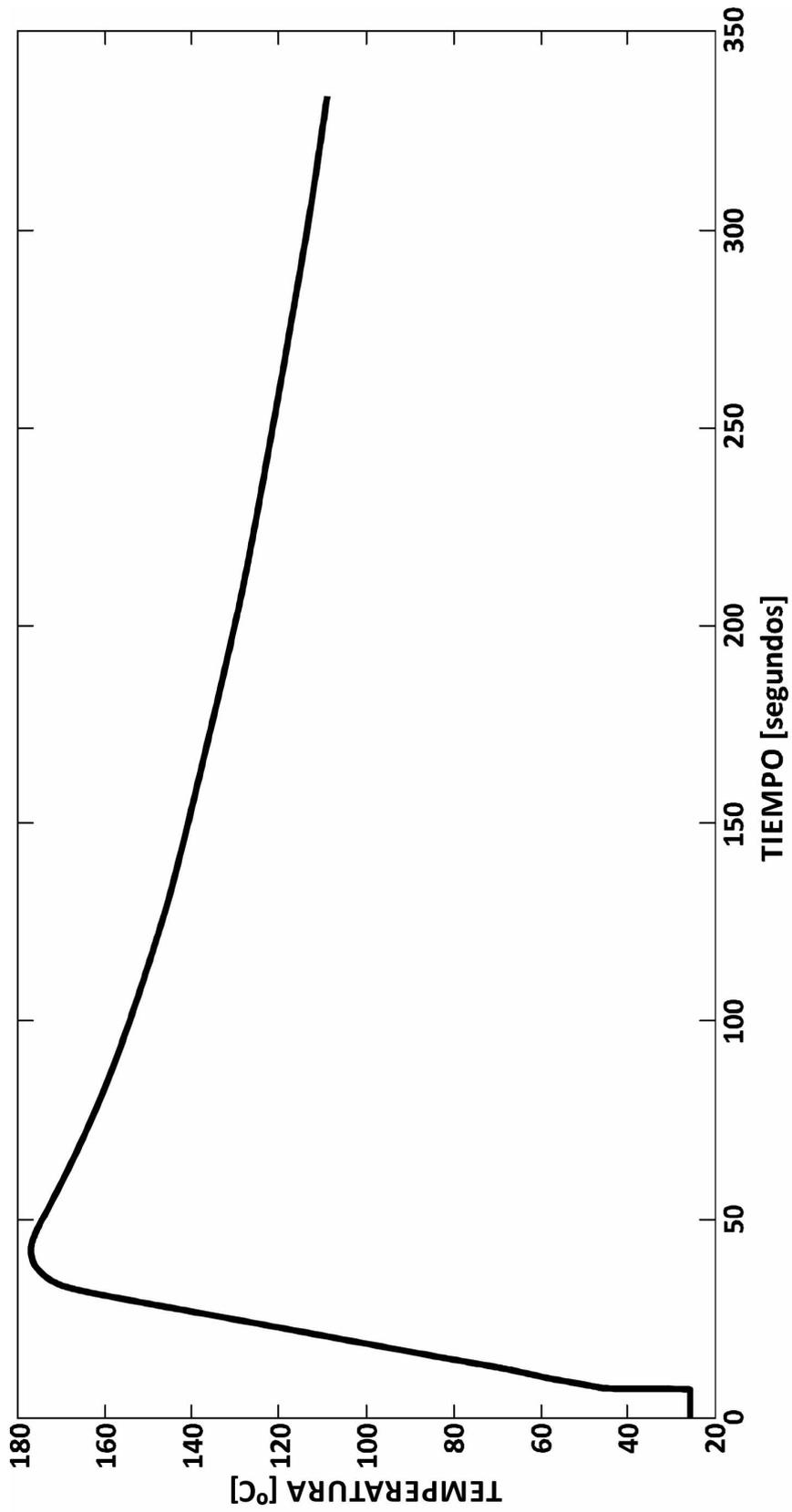


**FIG. 1**

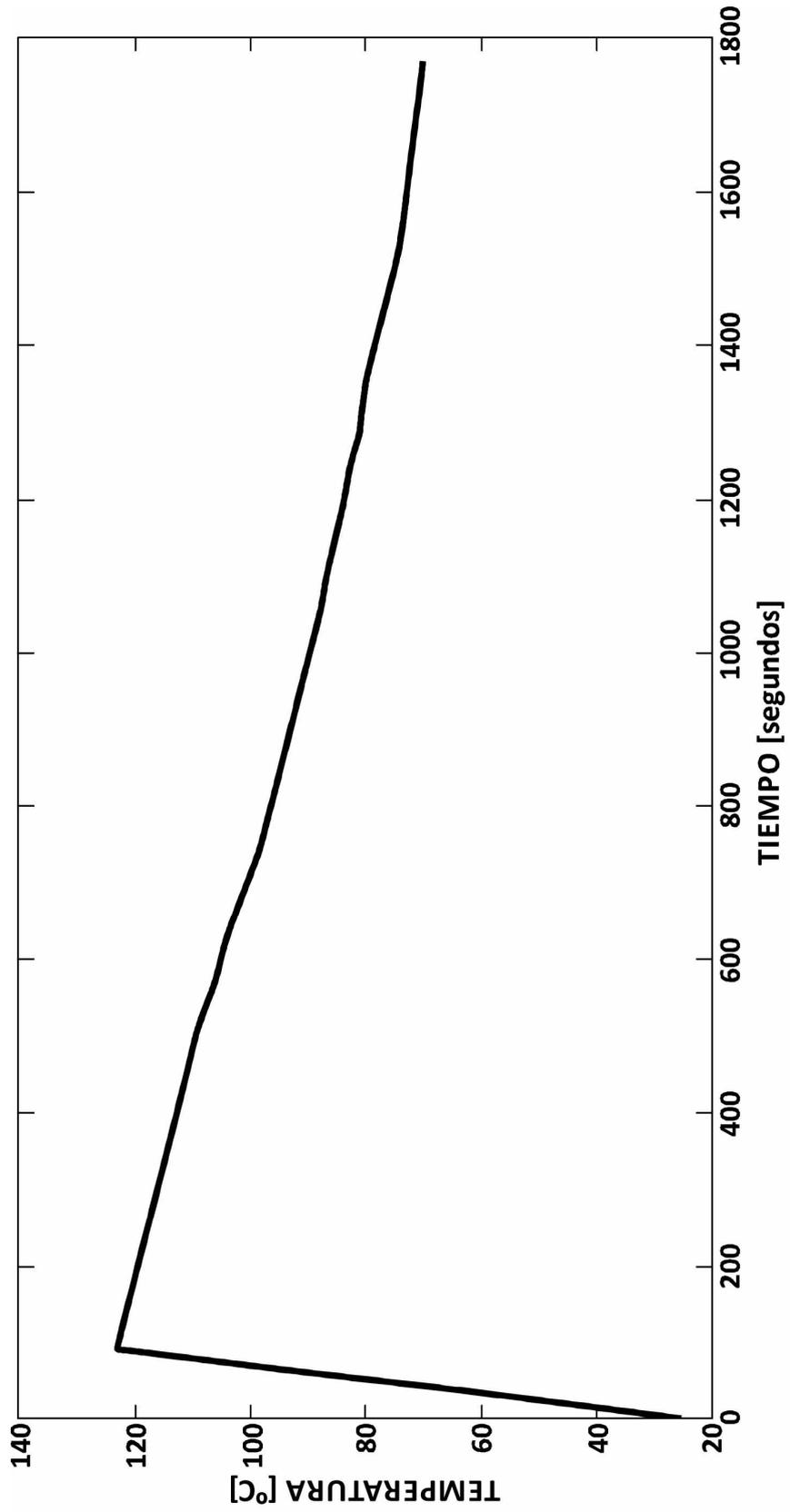




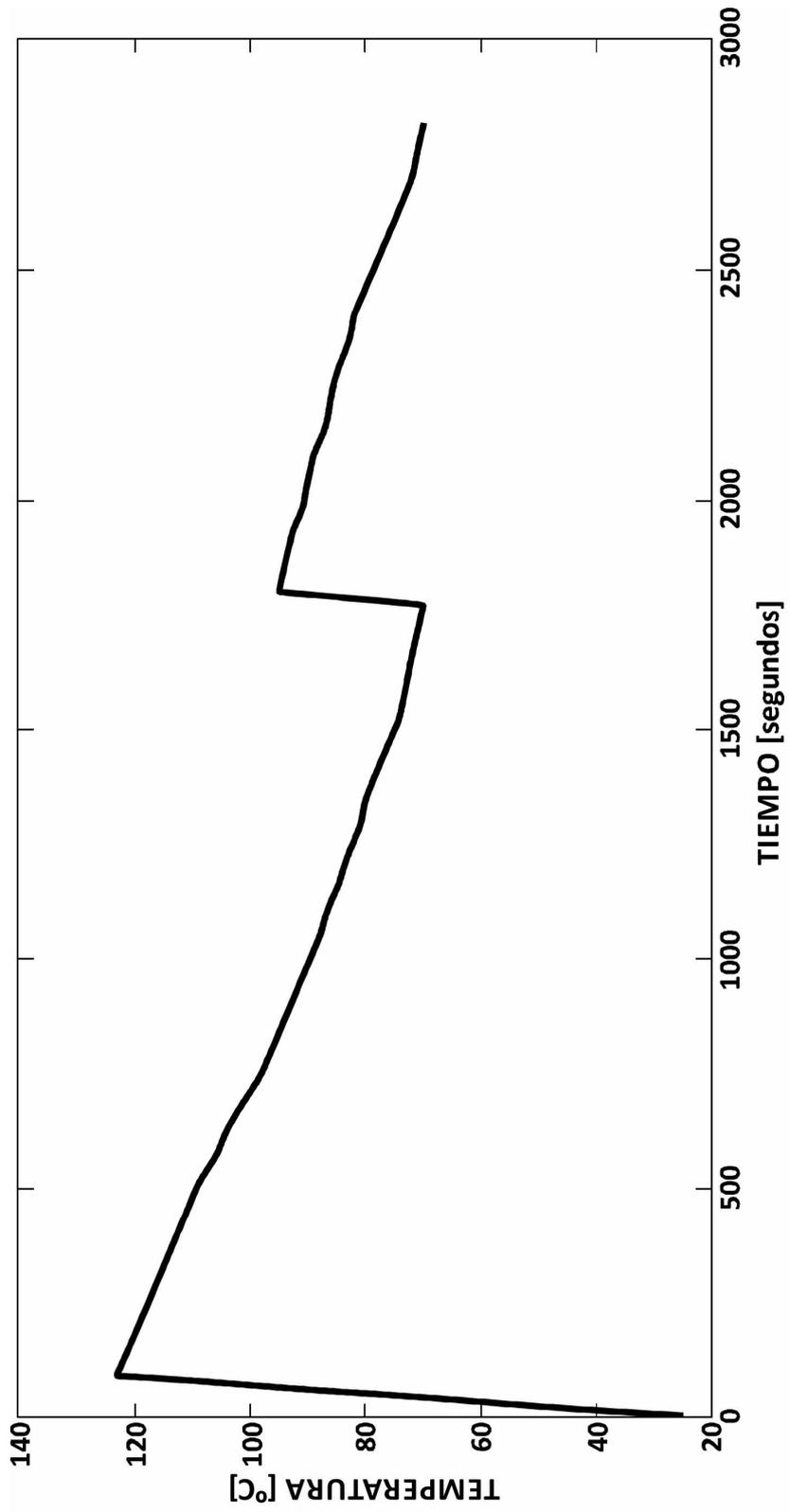
**FIG. 3**



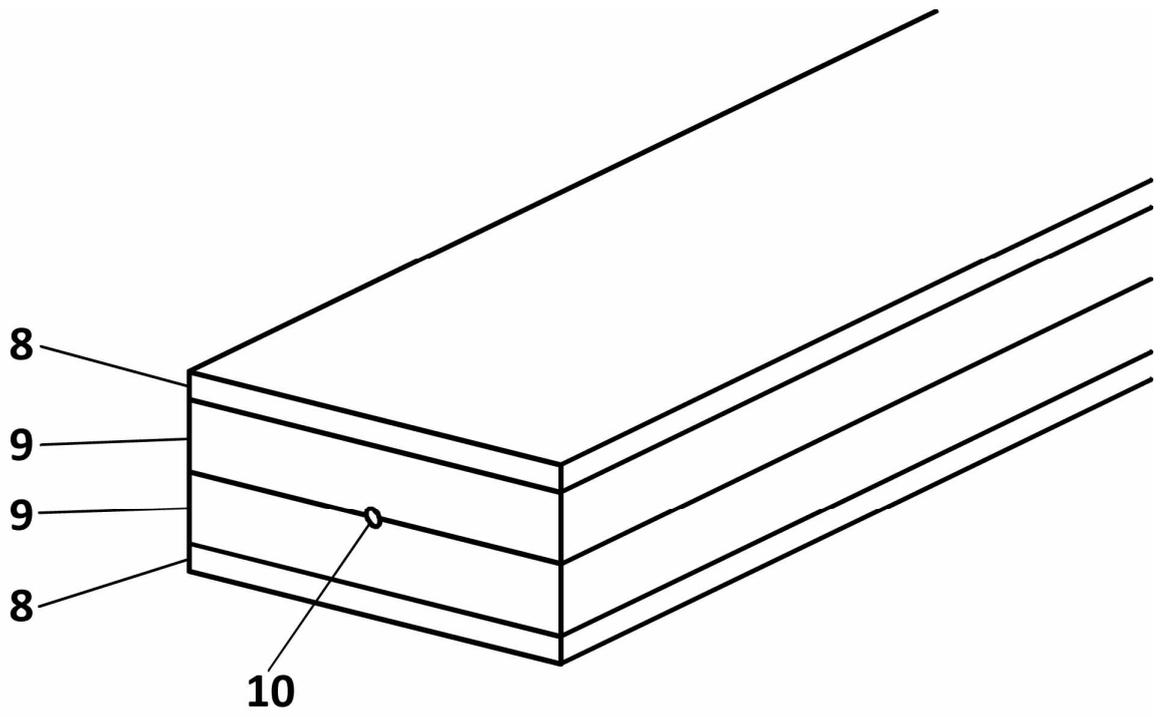
**FIG. 4A**



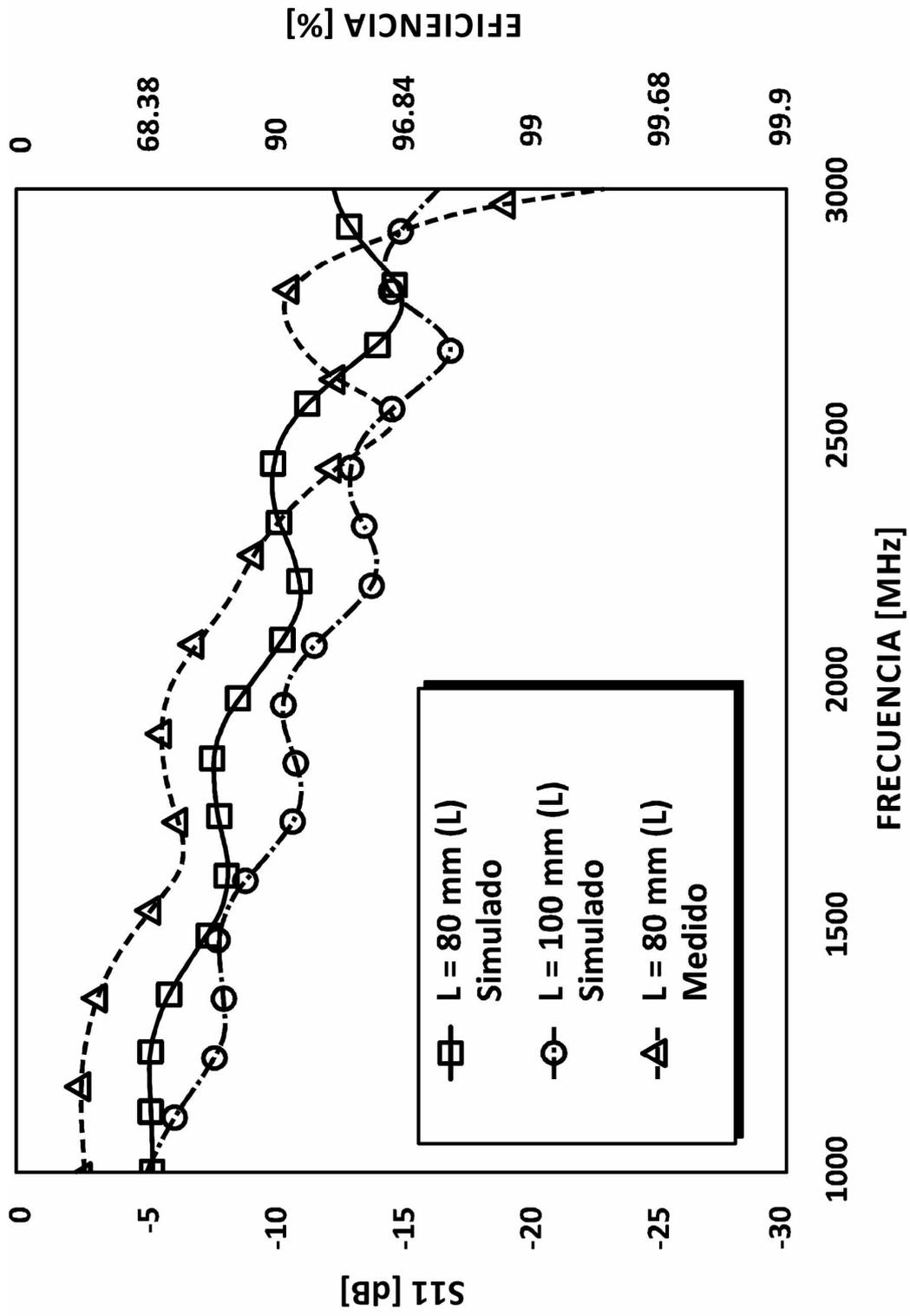
**FIG. 4B**



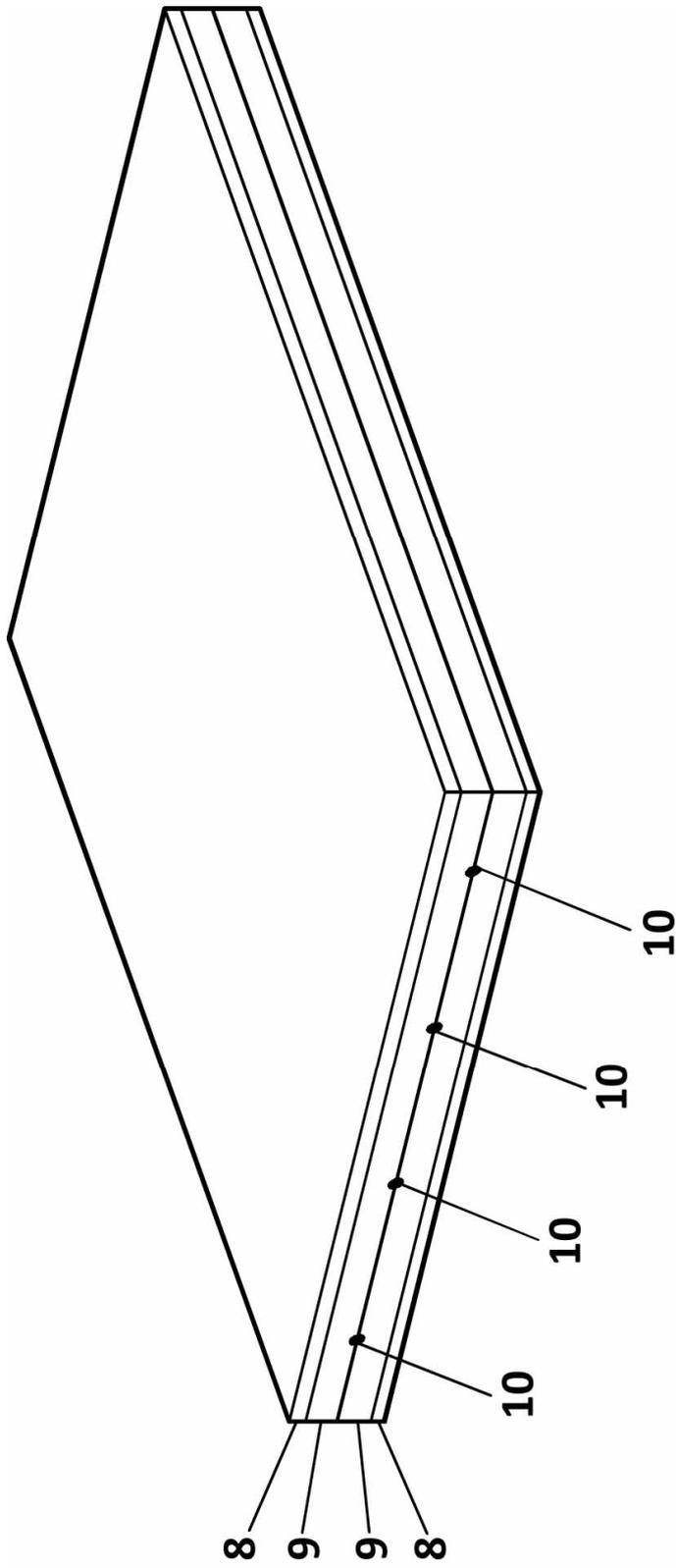
**FIG. 4C**



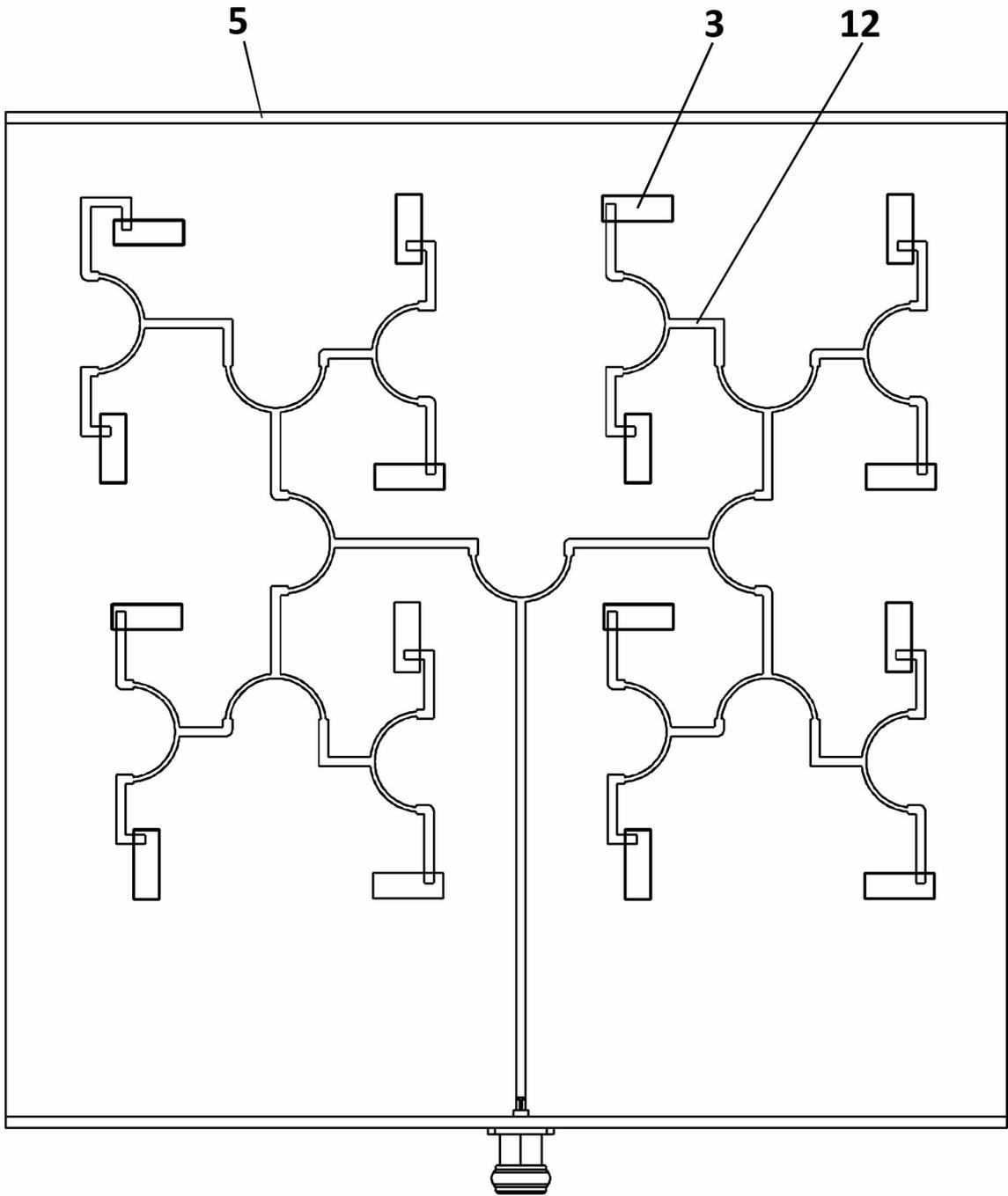
**FIG. 5**



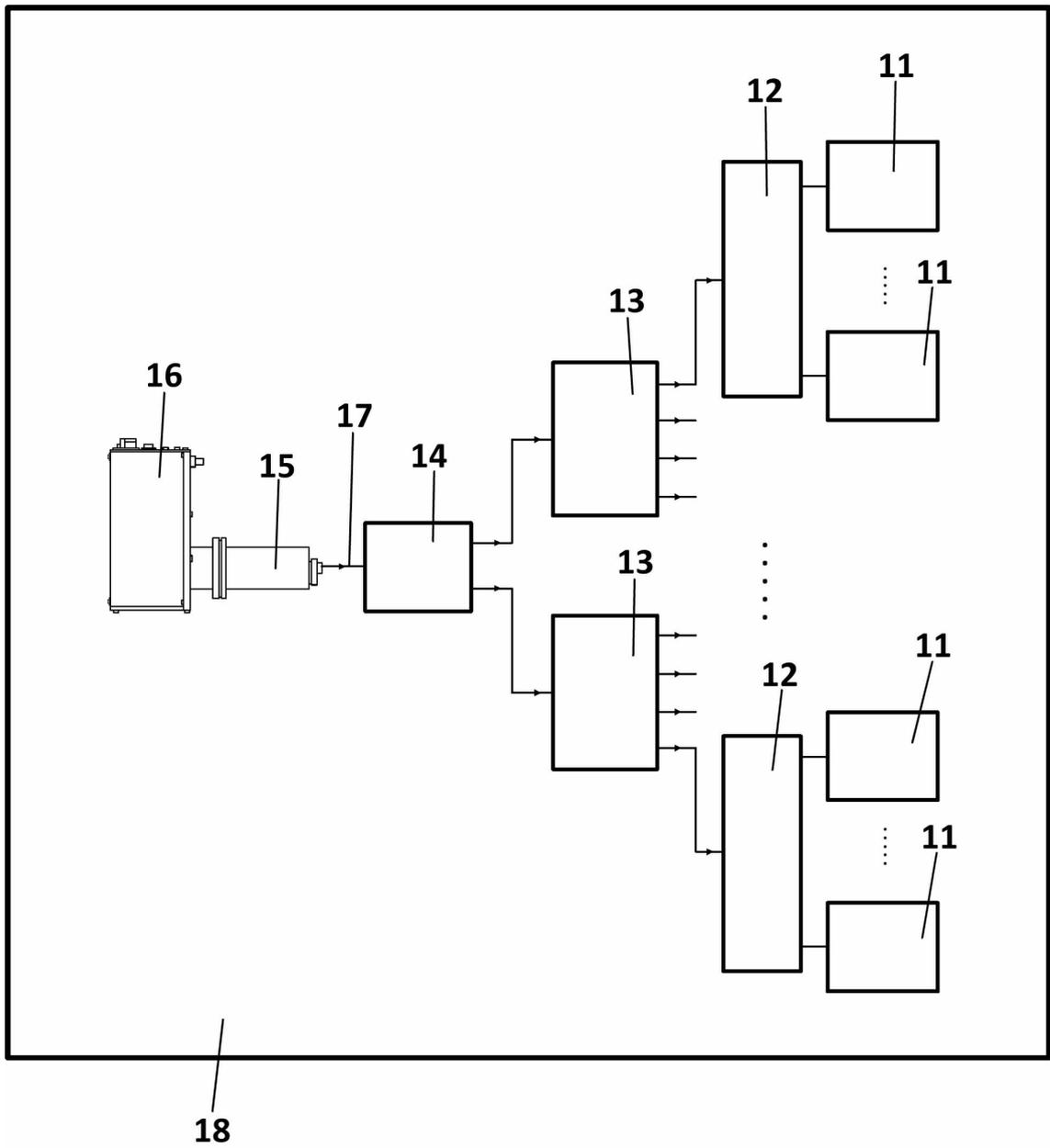
**FIG. 6**



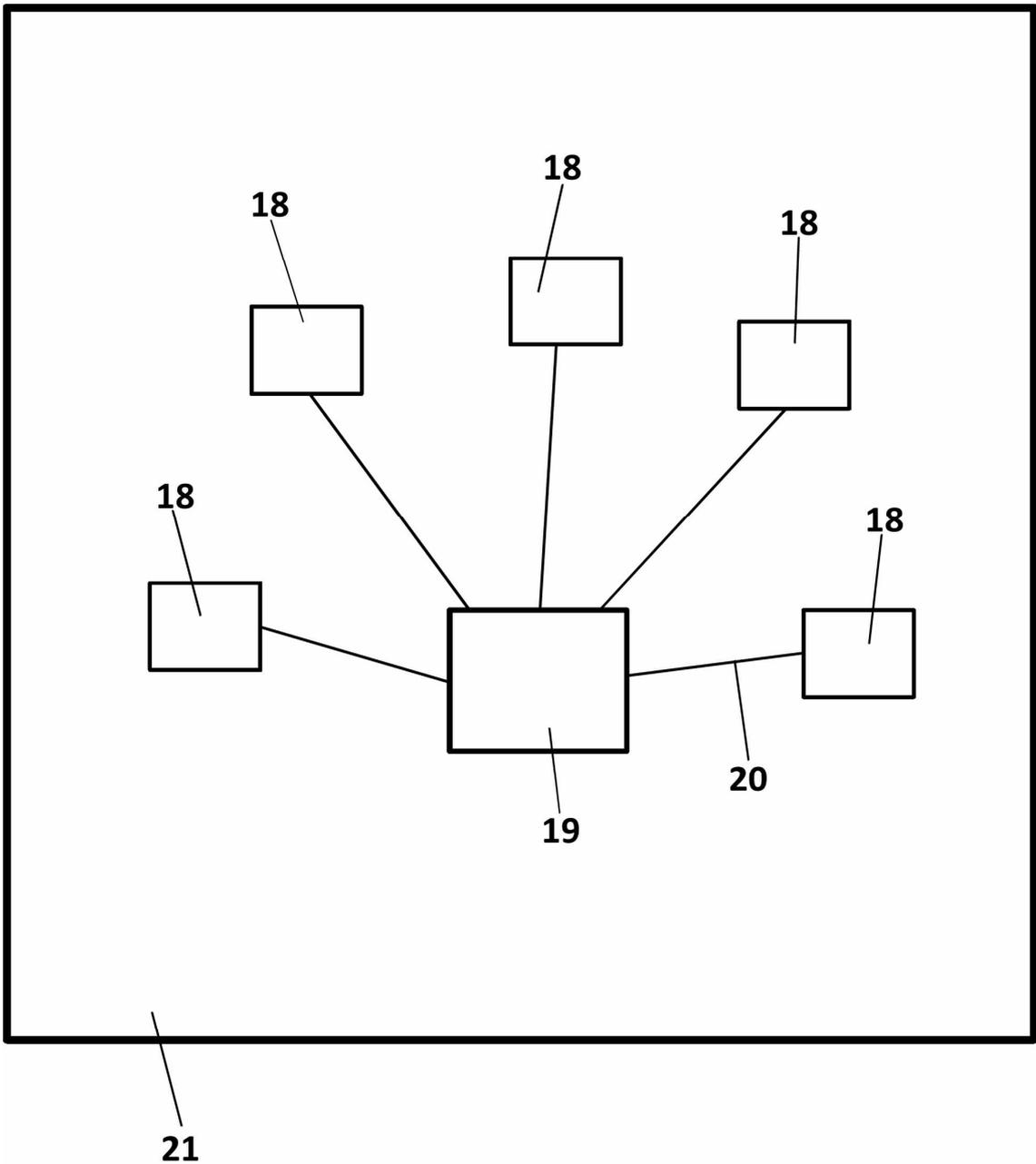
**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**

<b>Diámetro conductor central <math>D</math></b>	<b>Impedancia característica <math>Z_0</math></b>
0.3 mm	$72.454 + j 2.81$
0.5 mm	$62.008 + j 2.82$
1 mm	$48.627 + j 2.84$
1.5 mm	$40.837 + j 2.84$
2 mm	$35.355 + j 2.84$

**FIG. 11**

<b>Longitud de la línea <math>L</math></b>	<b><math>S_{11}</math></b>	<b>Porcentaje de potencia absorbida</b>
80 mm	10.06 dB	90.14 %
100 mm	13.13 dB	95.14 %
120 mm	15.28 dB	97.035 %
150 mm	23.54 dB	99.56 %

**FIG. 12**