

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
24 de diciembre de 2020 (24.12.2020) **WIPO | PCT**

(10) Número de publicación internacional
WO 2020/254701 A1

(51) Clasificación internacional de patentes:
H05B 6/70 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2020/070273

(22) Fecha de presentación internacional:
28 de abril de 2020 (28.04.2020)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201930549 17 de junio de 2019 (17.06.2019) ES

(71) Solicitantes: **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID** [ES/ES]; Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid (ES). **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID** [ES/ES]; Ciudad Universitaria de Cantoblanco, C/ Einstein, 3, 28049 Madrid (ES).

(72) Inventores: **REBOLLAR MACHAIN, Jesús María**; Universidad Politécnica de Madrid, Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid (ES). **MONTEJO GARAI, José Ramón**;

Universidad Politécnica de Madrid, Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid (ES). **RUIZ CRUZ, Jorge Alfonso**; Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, C/ Einstein, 3, 28049 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **UNGRÍA LÓPEZ, Javier**; Avda. Ramón y Cajal, 78, 28043 MADRID (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR IMPROVING THE ENERGETIC PERFORMANCE OF A HEATING PROCESS BY MICROWAVES

(54) Título: SISTEMA Y MÉTODO PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN PROCESO DE CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

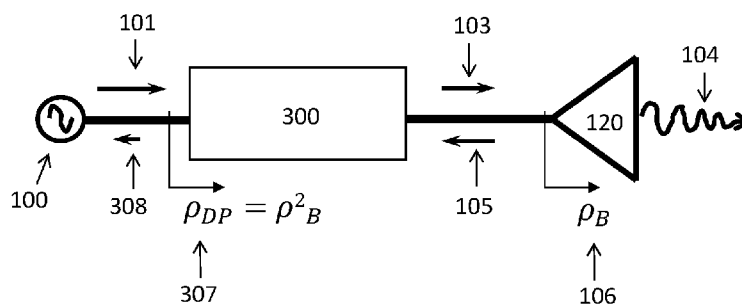


Fig. 5A

(57) Abstract: The present invention relates to a method and a system for heating via microwaves comprising: modal transition means which transform a linear polarisation input into a first circular polarisation; and a quasi-insulating, passive, reciprocal device with three electric gates, attachable to a microwave transmission chain, configured to reflect a second circular polarisation at right angles to the first, arising when said first circular polarisation is reflected in the load to be heated; thus, in a process of heating the load, with a reflection coefficient ρ , the reflection coefficient at the entrance of the quasi-insulating device is less than ρ and the power delivered to the load is maximised.

(57) Resumen: La presente invención se refiere a un método y un sistema para calentamiento por microondas que comprende: unos medios de transición modal que transforman una polarización lineal de entrada en una primera polarización circular; y un dispositivo quasi- aislador, pasivo, recíproco, con tres puertas eléctricas y acoplable a una cadena de transmisión de microondas, que está configurado para reflejar una segunda polarización circular ortogonal a la primera, que se produce cuando dicha primera polarización circular se refleja en la carga a calentar; así, en un proceso de calentamiento de la carga, de coeficiente de reflexión ρ , el coeficiente de reflexión en la entrada del dispositivo quasi- aislador resulta menor que ρ y se maximiza la potencia entregada a la carga.

(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

SISTEMA Y MÉTODO PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN PROCESO DE CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo técnico de las ondas microondas y más concretamente a la utilización de ondas microondas en procesos de calentamiento de sistemas industriales u hornos microondas, con un rendimiento energético mejorado.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las señales electromagnéticas de frecuencias en el rango entre 0,1 y 100 Gigahercios (GHz), se utilizan habitualmente para la transmisión y recepción de señales de información, empleando lo que se conoce como sistemas de microondas. Además de este uso en comunicaciones, es bien conocido el intercambio energético entre los campos electromagnéticos y la disipación de energía en forma de calor, que se utiliza de manera habitual en numerosos sistemas de calentamiento de uso industrial y también en los hornos de uso doméstico.

20

Una característica que marca por completo el funcionamiento de estos sistemas es la banda de frecuencias de funcionamiento, correspondiente a las denominadas bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical). Por ejemplo, para los hornos de microondas de uso doméstico, esta frecuencia es 2.45 GHz. Pero hay otra propiedad fundamental de los campos electromagnéticos que es la polarización. Esta se usa de manera habitual en sistemas de comunicaciones donde las distintas polarizaciones utilizadas son: vertical, horizontal, circular a derechas (C+) y circular a izquierdas (C-). En estos sistemas, se usa una figura de mérito que es la discriminación de polarizaciones ortogonales (vertical frente a horizontal y circular a derechas frente a circular a izquierdas) para medir la pureza de la misma. Son necesarios valores muy altos de discriminación (alta pureza de polarización) para separar las distintas polarizaciones y asegurar un correcto funcionamiento de estos sistemas.

25

30

En los sistemas de calentamiento de microondas, la propiedad de polarización queda en un segundo plano, puesto que el objetivo no es transportar información, sino convertir el campo electromagnético generado a través de un sistema alimentador, conectado por un

35

lado a un generador de señales de microondas, y por otro lado a una carga (el objeto a calentar), en disipación de calor en la carga.

En el funcionamiento habitual de un horno por ondas electromagnéticas de microondas para calentamiento de materiales, las cargas son muy diferentes y con propiedades electromagnéticas (tipo de material, forma, etc) muy diversas. Esto provoca que las ondas que se reflejan a la entrada del sistema alimentador puedan presentar grandes variaciones, con una potencia asociada muy significativa. Sin embargo, para un funcionamiento correcto del sistema (para alargar su vida útil, y por aumentar su eficiencia energética) interesa que el sistema alimentador sea capaz de entregar toda la potencia del generador sea cual fuere el material a calentar (es decir, usando la terminología de la ingeniería de circuitos de microondas, sea cual fuera la carga a la que se conecta al sistema de calentamiento), o por lo menos que el generador no se vea afectado por la reflexión del sistema alimentador y de la carga. Esta situación es la más realista, ya que anular por completo esa reflexión es un escenario poco probable desde el punto de vista técnico debido a la multitud de materiales, con sus respectivas formas, que pueden ser objeto del calentamiento.

Existen diversas soluciones para intentar paliar este efecto relacionado con la señal reflejada (caracterizada desde el punto de vista técnico con el coeficiente de reflexión) por el material a calentar. La mayoría de ellas se basan en el uso de dispositivos o circuitos de microondas conocidos como aisladores, circuladores y giradores (los tres son dispositivos no recíprocos) y, las respectivas combinaciones de estos dispositivos mediante circuitería adicional de frecuencias de microondas como acopladores híbridos (elementos recíprocos y no disipativos) y cargas adaptadas de referencia (elementos disipativos por definición). En general, cuanto más se quiere independizar el sistema alimentador de la carga, más costoso es económicamente. Más importante si cabe es que, incluso en el caso de que se consiga independizar el generador de la carga, el gasto energético sigue siendo considerable, al llegar a los elementos disipativos una parte de la potencia del generador, que puede llegar a ser muy significativa, y que no ha sido entregada a la carga a calentar.

Una primera solución que suele adoptarse para que el generador no se vea afectado es la de situar un aislador a la salida del generador. El aislador es, desde el punto de vista electromagnético, un dispositivo no recíproco realizado con ferritas, y económicamente

costoso. La potencia reflejada por la carga no llega al generador, al ser absorbida por el aislador (que es un elemento disipativo, es decir, en su interior se disipa en forma de calor esa energía reflejada por el material a calentar, produciéndose un desaprovechamiento de energía). Esta situación se representa en detalle en la **Figura 1**,
5 donde se muestra el esquema de la cadena de transmisión de la señal de microondas para calentamiento formado por un generador de microondas **100** y una antena de microondas (el aplicador del campo electromagnético excitado en el generador **100** al material a calentar) **120**. Entre ambos, para proteger al generador **100** se encuentra un aislador **102**, que permite el paso de la señal **101** del generador hacia la antena. La señal
10 **103** que llega a la antena, una parte es disipada en la carga **104**, pero otra parte **105** es reflejada hacia el generador. El parámetro que cuantifica el cociente de la señal reflejada **105** sobre la señal incidente **103** es el coeficiente de reflexión ρ_B **106** y viene determinado por las características (propiedades electromagnéticas, forma, temperatura, etc) del material a calentar. El aislador **102** en este caso protege al generador, absorbiendo
15 mediante disipación la señal reflejada **105**, y evitando que llegue al generador. Sin embargo, esta señal **105** se ha disipado sobre el aislador, en vez de sobre el material a calentar, disminuyendo el rendimiento energético.

Otra posibilidad basada en elementos no recíprocos es la de usar circuladores con un
20 elemento disipativo (cargas adaptadas de tipo resistivo) incorporado a propósito en el diseño para disipar la potencia que no se consigue entregar a la carga a calentar y es reflejada por ella hacia el generador. Esta situación se representa en detalle en la **Figura 2**, donde se muestra otro esquema de la cadena de transmisión de la señal de microondas para calentamiento, con el generador de microondas **100** y la antena de
25 microondas (el aplicador del campo al material a calentar) **120**. Entre ambos, para proteger al generador **100** se encuentra un circulador **108** (circuito de tres puertas), que permite el paso de la señal **101** del generador hacia la antena. La señal **103** que llega a la antena, una parte **104** es disipada en la carga a calentar, pero otra parte **105** es reflejada hacia el generador debido al coeficiente de reflexión ρ_B **106**. La carga disipativa **107**
30 situada en la puerta 3 del circulador **108** absorbe la señal reflejada **105**, evitando que llegue al generador. Igual que en el caso de la Figura 1, parte de la energía del generador **101** se ha disipado en un elemento (en este caso la carga **107**) y no en el material a calentar, disminuyendo por tanto el rendimiento energético.

Otras alternativas que pueden adoptarse son soluciones circuitalmente más complicadas como por ejemplo las basadas en el uso de un girador (no recíproco) más dos acopladores híbridos de 3 dB de acoplo (dispositivos pasivos y recíprocos) con dos elementos disipativos (cargas adaptadas) incorporadas en el diseño a propósito para

5 disipar la potencia que se refleja a la carga a calentar. De nuevo se produce el desaprovechamiento energético de toda la potencia reflejada por la antena hacia el generador. Esta situación se representa en detalle en la **Figura 3**, donde se muestra otro esquema de la cadena de transmisión de la señal de microondas para calentamiento en el que también se desaprovecha parte de la energía del generador de microondas **100**.

10 Entre el generador y la antena de microondas (el aplicador del campo al material a calentar) **120** se insertan dos circuitos conocidos como acopladores híbridos **202**, **204** de división 3 dB, y un girador **203** (circuito que cambia la fase de la onda transmitida en un sentido respecto de la onda transmitida en sentido contrario). La señal del generador **101** atraviesa estos componentes y se convierte en la señal **103** que excita el aplicador del

15 campo **120**. Una parte **104** se invierte en el calentamiento del material, pero otra parte **105** es reflejada debido a el coeficiente de reflexión ρ_B **106** y se disipa en las cargas disipativas **107**.

Por tanto, se echa en falta en el estado del arte una solución que mejore la protección del

20 generador de microondas ante la variabilidad en las condiciones de reflexión de cargas eventuales, sin penalizar el rendimiento energético, ya que las soluciones conocidas pasan por complejos sistemas basados en elementos disipadores de potencia, no recíprocos con una eficiencia energética mejorable.

25 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Con el fin de alcanzar los objetivos y evitar los inconvenientes mencionados anteriormente, la presente invención describe, en un primer aspecto un sistema para calentamiento por microondas que comprende:

- unos medios de transición modal configurados para transformar una polarización

30 lineal de entrada en una primera polarización circular; y

- un dispositivo quasi-aislador, pasivo, recíproco, con tres puertas eléctricas y acoplable a una cadena de transmisión de microondas, donde el dispositivo quasi-aislador está configurado para reflejar una segunda polarización circular ortogonal a la primera, donde la segunda polarización circular se produce cuando la primera

35 polarización circular de los medios de transición se refleja en una carga a calentar;

donde, en un proceso de calentamiento de la carga, de coeficiente de reflexión p , con la polarización circular de salida, el coeficiente de reflexión en la entrada del dispositivo quasi-aislador resulta menor que p . Así, ventajosamente, se maximiza la potencia entregada a la carga a calentar haciendo uso de las dos polarizaciones circulares ortogonales, donde una polarización circular en un sentido de giro se produce cuando la polarización circular ortogonal en el otro sentido se refleja en la carga.

En una de las realizaciones de la presente invención, donde se contempla un funcionamiento ideal del dispositivo quasi-aislador, se define su comportamiento mediante una matriz S de parámetros de dispersión con un coeficiente $S_{11}=0$ y unos coeficientes S_{12} y S_{13} que cumplen que la suma de sus cuadrados es igual a 0. En otras realizaciones de la invención, se contempla el diseño del dispositivo quasi-aislador con unos coeficientes aproximados a los definidos para un comportamiento ideal.

Así, cuando se acopla el sistema de la presente invención en una cadena de transmisión de microondas y se inicia un proceso de calentamiento de una carga que tiene un coeficiente de reflexión asociado de p_B , el coeficiente de reflexión a la entrada del dispositivo quasi-aislador resulta aproximadamente de p_B^2 . Por tanto, ventajosamente, para cargas como las que se usan en calentamiento que cumplen $0 < |p_B| < 1$, el coeficiente de reflexión p_B^2 a la entrada del dispositivo quasi-aislador es más pequeño que el que presentaría la conexión directa del generador con la carga de p_B . Esto se consigue en la presente invención aplicando conceptos de polarización, alejados del campo técnico del calentamiento, para mejorar la eficiencia y rendimiento en el proceso de calentamiento al reducir sorprendentemente la señal reflejada por la carga hacia el generador de microondas.

De acuerdo a una de las realizaciones de la presente invención, los medios de transición modal comprenden: unos medios para transformar la polarización lineal de entrada en dos polarizaciones lineales ortogonales; y unos medios desfasadores, configurados para desfasar 90° las dos polarizaciones lineales ortogonales.

Adicionalmente, en una de las realizaciones de la presente invención se contempla: una guía de onda de entrada conectada por uno de sus extremos a una puerta eléctrica de entrada del dispositivo quasi-aislador, donde la guía de onda de entrada es conectable por otro de sus extremos a un generador de microondas; y una guía de onda de salida,

conectada por uno de sus extremos a las puertas eléctricas de salida del dispositivo quasi-aislador, donde la guía de onda de salida es conectable por otro de sus extremos a una antena de microondas.

- 5 En una de las realizaciones de la presente invención, el sistema comprende una antena de microondas de tipo bocina, conectada a la guía de onda de salida y configurada para, al ser excitada por las microondas con polarización circular de salida, aplicar un campo electromagnético sobre la carga caracterizada por un coeficiente de reflexión p .
- 10 Opcionalmente, en una de las realizaciones de la invención se dispone un módulo adaptador entre las puertas de salida del dispositivo quasi-aislador y la entrada de la antena de microondas de tipo bocina. Así, ventajosamente, se puede adaptar la polarización circular que sale del desfasador a la señal que excitará el aplicador de campo electromagnético con la carga a calentar.

15

En caso de incorporar guías de onda y de entrada al sistema de la presente invención, de acuerdo a una realización particular, se escogen con doble simetría y la guía de onda de salida es una guía de onda circular que comprende una única puerta física de salida para las dos puertas eléctricas de salida del dispositivo quasi-aislador, cada una de ellas para cada uno de los dos modos TE_{11} de la guía de onda circular.

20

Alternativamente a las realizaciones con tecnología de guía de onda descritas, en una realización particular de la presente invención implementada con tecnología planar, los medios de transición modal están dispuestos en un sustrato dieléctrico y comprenden:

25 unos medios desfasadores configurados para desfasar una señal de entrada polarizada linealmente; y una antena tipo parche con dos entradas ortogonales conectadas a las puertas de salida eléctricas del dispositivo quasi-aislador, configurada para radiar un campo electromagnético de polarización circular.

25

- 30 Adicionalmente, una de las realizaciones comprende un polarizador de entrada conectado a una puerta eléctrica de entrada del dispositivo quasi-aislador, configurado para transformar una polarización circular de entrada en una polarización lineal de salida. Así, ventajosamente, el sistema de la presente invención puede adaptarse a escenarios en los que la entrada esté polarizada circularmente, sin cambiar su configuración y
- 35 funcionamiento más que añadiendo dicho polarizador de entrada.

En una de las realizaciones de la invención, los medios de transición modal forman parte del dispositivo quasi-aislador.

- 5 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método para calentamiento por microondas que comprende los pasos de: proporcionar una señal de microondas polarizada linealmente en una entrada de un dispositivo quasi-aislador, pasivo, recíproco, con tres puertas eléctricas y acoplable a una cadena de transmisión de microondas; transformar, en unos medios de transición modal, la señal de microondas polarizada
10 linealmente en una primera señal de microondas polarizada circularmente; aplicar, por una antena de microondas, la primera señal de microondas polarizada circularmente a una carga de coeficiente de reflexión ρ , de manera que una parte de la señal de microondas polarizada circularmente es reflejada en la carga y se produce una segunda señal polarizada circularmente ortogonal a la primera; y reflejar, en el dispositivo quasi-
15 aislador, la segunda señal polarizada circularmente y ortogonal a la primera, de manera que resulta un coeficiente de reflexión en la entrada del dispositivo quasi-aislador menor que ρ . Ventajosamente, se maximiza así la potencia entregada a la carga a calentar haciendo uso de las dos polarizaciones circulares ortogonales, donde una polarización circular en un sentido de giro se produce cuando la polarización circular ortogonal en el
20 otro sentido se refleja en la carga.

En una de las realizaciones de la invención, donde se contempla un funcionamiento ideal, el método además comprende definir el dispositivo quasi-aislador mediante una matriz S de parámetros de dispersión, estableciendo las siguientes condiciones: un coeficiente
25 $S_{11}=0$ y unos coeficientes S_{12} y S_{13} que cumplen que la suma de sus cuadrados es igual a 0.

En una de las realizaciones de la invención, transformar la señal de microondas polarizada linealmente en la primera señal de microondas polarizada circularmente
30 comprende: transformar la polarización lineal de entrada en dos polarizaciones lineales ortogonales; y desfazar 90° las dos polarizaciones lineales ortogonales.

Adicionalmente, una de las realizaciones de la presente invención comprende: generar la señal de microondas en un generador de microondas; guiar, por una guía de onda de
35 entrada, la señal de microondas hasta el dispositivo quasi-aislador; y guiar, por una guía

de onda de salida, la señal de microondas polarizada circularmente hasta una antena de microondas, configurada para aplicarla a la carga. Más específicamente, una realización particular además comprende determinar una frecuencia de trabajo y seleccionar una geometría para la guía de onda de entrada y la guía de onda de salida, en función de dicha frecuencia.

En una de las realizaciones de la invención, además se contempla transformar, por un polarizador de entrada conectado entre la entrada del dispositivo quasi-aislador y un generador de microondas con polarización circular, una señal polarizada circularmente en la señal de microondas polarizada linealmente que se proporciona en la entrada del dispositivo quasi-aislador.

Transformar la señal de microondas polarizada linealmente en una señal de microondas polarizada circularmente comprende, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, los pasos de: desfasar 90° la señal de microondas polarizada linealmente proporcionada en la entrada del dispositivo quasi-aislador; y proporcionar las dos señales desfasadas 90° en dos entradas dispuestas ortogonalmente en una antena planar, típicamente un parche microstrip, donde esta antena tipo planar está configurada para radiar la señal de microondas polarizada circularmente que se aplica a la carga.

Por todo lo anterior, la presente invención presenta multitud de ventajas que a pesar de estar enfocadas principalmente en la eficiencia y rendimiento del sistema de calentamiento, también reportan otros beneficios como por ejemplo la durabilidad del sistema y su menor coste y/o complejidad desde un punto de vista electromagnético.

El sistema y el método de la presente invención es aplicable a sistemas clásicos de calentamiento por microondas, como los mostrados en las Figuras 1, 2 y 3, justo antes de la antena (o aplicador de campo electromagnético), provocando ventajosamente que dichos sistemas operen en unas condiciones mucho más favorables al manejar una potencia reflejada hacia el generador mucho menor, al reducirse el coeficiente de reflexión a la entrada del dispositivo quasi-aislador a unos valores aproximados de ρ_B^2 , en comparación con el valor de ρ_B que se tiene sin la presente invención.

En una de las realizaciones de la invención, para una situación común de cargas con módulo del coeficiente de reflexión entre 0.6 y 0.98 (4.4 dB y 0.2 dB), la mejora del

rendimiento del sistema de calentamiento al añadir la presente invención respecto del sistema sin la presente invención, varía entre el 36% y 96%, de acuerdo a las Figura 7A-7B, y en particular a los resultados mostrados en la tabla de la Figura 7C.

5 Desde un punto de vista funcional, el sistema de la presente invención tiene un comportamiento muy similar a la del circuito de microondas conocido como *aislador*, ya que permite aislar el generador de la carga al convertir el coeficiente de reflexión de p_B a la salida en un valor aproximado a p_B^2 a la entrada. Obviamente, el aislamiento no es absoluto, por lo que se considera más apropiado definirlo como *quasi-aislador*.

10

Otra de las ventajas de la presente invención es que, a diferencia de los circuitos aisladores conocidos, el dispositivo quasi-aislador de la presente invención lo componen únicamente componentes recíprocos, es decir, solo está compuesto por materiales cuyas propiedades electromagnéticas dan lugar a circuitos que cumplen la propiedad conocida como *reciprocidad*.

15

Adicionalmente, el dispositivo quasi-aislador de la presente invención, desde un punto de vista de su definición circuital, es un circuito de microondas sin pérdidas, ya que no incluye elementos disipativos en su interior como los esquemas basados en circuladores o giradores con acopladores híbridos, que incorporan cargas donde se disipa la energía reflejada por la carga.

20

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación, se describen de manera breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

25

La **Figura 1** muestra el funcionamiento de un sistema de calentamiento, compuesto por un generador de microondas, una antena de microondas (el aplicador del campo electromagnético proveniente del generador al material a calentar), usando la solución para proteger al generador basada en el circuito de microondas conocido como aislador posicionado entre el generador y la antena.

30

La **Figura 2** muestra el funcionamiento de un sistema de calentamiento, compuesto por un generador de microondas, una antena de microondas (el aplicador del campo al

35

material a calentar), usando la solución para proteger al generador basada en el circuito de tres puertas de microondas conocido como circulador, posicionado entre el generador y la antena, con una de sus puertas conectada a una carga disipativa.

- 5 La **Figura 3** muestra el funcionamiento de un sistema de calentamiento, compuesto por un generador de microondas, una antena de microondas (el aplicador del campo al material a calentar), usando la solución para proteger al generador basada en un girador más dos acopladores híbridos con dos cargas disipativas.
- 10 Las **Figuras 4A, 4B y 4C** muestran el funcionamiento de un medio de transmisión (una guía o sistema de guiado) de características quirales, cuando se excita con una señal de microondas con polarización circular, dando lugar a señales reflejadas con distintas características, y permitiendo reducir el coeficiente de reflexión a la entrada del medio quiral.

15

La **Figura 5A** muestra el funcionamiento de un sistema de calentamiento, compuesto por un generador de microondas, una antena de microondas (el aplicador del campo al material a calentar), usando la solución objeto de la presente invención (el “*dispositivo quasi-aislador*”, el “Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas” ó “QARSP”) posicionado
20 entre el generador y la antena.

Las **Figuras 5B y 5C** muestran sencillas realizaciones del dispositivo de la presente invención en tecnología de guía de onda y en tecnología planar respectivamente.

- 25 Las **Figuras 6A y 6B** representan otros usos del Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas (QARSP) objeto de la presente invención en sistemas de calentamiento. En un caso se presenta un sistema de calentamiento que protege al generador de manera más sencilla y con un mayor ahorro energético que los sistemas convencionales. En otro caso se presenta un sistema con dos generadores de dos frecuencias distintas, donde también la
30 presente invención protege al generador de manera más sencilla y con un mayor ahorro energético que los sistemas convencionales .

- La **Figura 7A** representa el caso de conexión directa entre el generador del sistema de calentamiento y la antena (el aplicador del campo al material a calentar). En la **Figura 7B**
35 se posiciona el nuevo dispositivo objeto de la presente invención ente el generador y la

antena. La **Figura 7C** es una tabla de resumen de las prestaciones del nuevo dispositivo comparando las prestaciones del caso de la Figura 7A, con el caso de la Figura 7B. Las gráficas de estos parámetros considerados en las tablas se representan en las **Figuras 7D, 7E y 7F**, que representan el resumen de las prestaciones del nuevo dispositivo.

5

La **Figura 8** muestra una realización preferente del nuevo dispositivo, en base a un diagrama de bloques con funcionalidades bien definidas.

Las **Figuras 9A, 9B, 9C y 9D** representan la validación experimental de una de las posibles implementaciones del nuevo dispositivo quasi aislador o QARSP, mostrando la forma de realizar cada uno de los bloques, y comparando los resultados teóricos con los experimentales de un prototipo experimental medido con diferentes cargas de prueba representando distintos tipos de materiales a calentar.

15 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

El sistema y método de la presente invención, para mejorar el rendimiento energético en procesos de calentamiento por microondas, aplica conceptos de polarización alejados del campo técnico del calentamiento que, de manera sorprendente, resultan en la reducción de la señal reflejada hacia el generador de microondas por el material a calentar.

20

Se introducen a continuación, sólo con fines aclaratorios, unos esquemas de medios de transmisión quirales que representan un funcionamiento similar al de la presente invención. Los medios quirales únicamente permiten el paso de ciertas ondas, discriminando selectivamente la polarización circular positiva o negativa. Por tanto, este funcionamiento servirá de base conceptual para comprender el funcionamiento de la presente invención.

25

Las **Figuras 4A, 4B y 4C** resumen estos conceptos, aunque siempre en un ámbito distinto al del calentamiento por microondas de la presente invención, mostrando cómo convertir un coeficiente de reflexión p_B en la carga en un coeficiente de reflexión p_B^2 en la entrada. La consecuencia, puesto que el módulo del coeficiente de reflexión es un número menor que 1, es que al elevarlo al cuadrado éste es más pequeño, por lo que se consigue reducir la potencia reflejada. Las Figuras 4A y 4B muestran el funcionamiento básico (sin carga), y la Figura 4C muestra el funcionamiento con una carga.

35

Las guías quirales poseen la propiedad de que dejan pasar un campo con polarización circular C^+ y no permiten el paso de la polarización circular C^- (o viceversa). De acuerdo a esto, la **Figura 4A** muestra la incidencia por la izquierda a la guía quiral **210** de una onda **211** de amplitud a_1^0 con polarización circular C^+ . Esta señal se transmite a la salida **213** con una amplitud idealmente $b_3^0 = a_1^0$ con polarización circular C^+ igual que la polarización de la onda incidente. Si a la entrada incide una onda **212** con una amplitud a_2^0 con polarización circular C^- , esta se refleja por completo debido a las propiedades de la guía quiral.

La **Figura 4B** muestra la incidencia a la guía quiral **210** por la derecha de una onda **223** de amplitud a_3^0 con polarización circular C^+ . Esta señal se transmite a la salida **221** con una amplitud idealmente $b_1^0 = a_3^0$ con polarización circular C^+ igual que la de la onda incidente. Si por la derecha incide en el medio quiral una onda **224** con una amplitud a_4^0 con polarización circular C^- esta onda es idealmente reflejada por completo, de nuevo debido a las propiedades de la guía quiral.

En la **Figura 4C**, la guía quiral **210** se carga con un elemento (como un material a calentar) caracterizado por su coeficiente de reflexión p_B **240**. El sistema se alimenta con una señal **231** con polarización circular C^+ . Después de las sucesivas transmisiones y reflexiones **232**, **233**, **234**, **235**, se tiene que la señal reflejada a la entrada **236** tienen una amplitud de p_B^2 respecto de la amplitud de la onda incidente **231** (y con la misma polarización C^+). El coeficiente de reflexión a la entrada se ha convertido por tanto en p_B^2 .

Por tanto, a pesar de que las guías quirales precisan de señales polarizadas circularmente en la entrada, de que no son precisamente elementos convencionales y de que no se caracterizan por su aplicación en entornos con altos nivel de potencia, los esquemas de las figuras 4A-4C tienen una relación directa con el funcionamiento de la presente invención, en cuanto a que permiten reducir la reflexión sin elementos disipativos. Una vez introducidos estos conceptos se describe a continuación el dispositivo aislador de la presente invención, el cual también será denominado en este documento como dispositivo QARSP (acrónimo de *Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas*).

En la **Figura 5A** se muestra un diagrama de bloques de una realización de la invención, donde se contempla un sistema de calentamiento con un generador de microondas **100**,

una antena **120** (el aplicador del campo electromagnético proveniente del generador), y el dispositivo QARSP **300** para mejorar el rendimiento de la presente invención situado entre el generador de microondas y la antena. El dispositivo QARSP **300**, recíproco y sin pérdidas (esto es, sin elementos disipativos en su interior), y sin usar guías quirales, permite que una mayor parte de la potencia disponible del generador **101** se convierta en potencia entregada **104** a la carga a calentar. Por tanto, el dispositivo QARSP permite que la mayor parte de la potencia del generador se dedique al calentamiento de la carga sea cual fuere la carga, caracterizada por su coeficiente de reflexión ρ_B **106**. Cuando la señal del generador **101** incide sobre el nuevo dispositivo **300**, la mayor parte se transmite **103** hacia la carga, y sólo se refleja hacia el generador una señal **308** de pequeña potencia proveniente de la señal reflejada **105** por la carga con un coeficiente de reflexión ρ_B . Esta señal reflejada **308** lleva una fracción pequeña de la potencia del generador, en concreto, el dispositivo de la presente invención permite que el coeficiente de reflexión **307** a la entrada del generador se reduzca aproximadamente a ρ_B^2 .

La **figura 5B** representa una realización sencilla en tecnología de guía de onda del dispositivo **300**, donde éste se dispone esquematizado entre dos puertas físicas, que son una entrada en guía de onda rectangular que implementa una puerta eléctrica de entrada **61** y una salida en guía de onda circular que implementa las dos puertas eléctricas de salida **62** y **63**. Su funcionamiento puede resumirse en los pasos de: recibir una señal de entrada (polarización lineal en este caso) que excita el dispositivo y produce polarización circular de referencia C+ a su salida. A continuación, la reflexión de salida provocada por el objeto a calentar, hace que por la puerta de salida del dispositivo QARSP le incida señal de vuelta de amplitud proporcional a ρ_B y polarización circular C-. De esta señal que llega al dispositivo QARSP por su puerta de salida, una parte se refleja de nuevo en la puerta de salida hacia el objeto a calentar, contribuyendo por tanto al calentamiento; y otra parte se trasmite a la entrada del dispositivo QARSP como reflexión (en polarización lineal) hacia el generador conectado a la puerta de entrada del dispositivo QARSP. Como resultante de todo este proceso, la reflexión neta total que presenta el QARSP a la entrada es de amplitud proporcional a ρ_B^2 .

La **figura 5C** representa el mismo dispositivo QARSP de la presente invención, pero implementado con tecnología planar en lugar de guía de onda. En este caso las tres puertas eléctricas **61**, **62**, y **63**, que son una característica común a todas las realizaciones, se implementan en tres puertas físicas, donde las dos puertas de salida

proporcionan dos señales polarizadas linealmente, desfasadas 90° entre sí, que se conectan directamente a dos entradas ortogonales **73**, **74** de una antena tipo parche **71**, comprendida en el mismo sustrato dieléctrico **72** que el dispositivo QARSP, para emitir la polarización circular. Su funcionamiento es sustancialmente el mismo que en la realización anterior en guía de onda, ya que su comportamiento se define por la matriz de dispersión, tal y como se va explicar en detalle a continuación.

Todo lo anterior deriva en una mejora el rendimiento energético del proceso de calentamiento, el cual puede demostrarse numéricamente analizando el diseño del dispositivo QARSP de acuerdo a sus parámetros de dispersión, también conocidos como parámetros S, los cuales obvian el análisis electromagnético y modelan su comportamiento como línea de transmisión.

Asumiendo una descripción del dispositivo **300** de la presente invención mediante su matriz S o matriz de dispersión, lo que es un procedimiento habitual en ingeniería de microondas, se define entonces el dispositivo **300** quasi-aislador de la presente invención como un dispositivo pasivo, recíproco y sin pérdidas con tres puertas eléctricas. Así, cuando el dispositivo quasi-aislador o QARSP se utiliza en un proceso de calentamiento y encuentra una carga con un coeficiente de reflexión a la salida ρ_B , la amplitud de la señal reflejada en la entrada respecto de la transmitida (es decir, el coeficiente de reflexión a la entrada ρ_{ent}) se puede escribir como sigue en función de los parámetros S de su matriz de dispersión:

$$\rho_{ent} = S_{11} + \rho_B (S_{12}^2 + S_{13}^2) + \rho_B^2 (S_{11}S_{22}S_{12} + 2S_{12}S_{13}S_{23} + S_{13}^2S_{33}) + \rho_B^3 (..) \dots$$

Puesto que el dispositivo QARSP se ha definido como recíproco, su matriz de dispersión S es simétrica: $[S] = [S]^T$, es decir, los elementos de la matriz cumplen que: $S_{ij} = S_{ji}$, $i, j = 1, \dots, 3$.

Además, se impone en la presente invención que los parámetros S del dispositivo QARSP cumplen que:

$$S_{11} = 0;$$

es decir, el dispositivo está adaptado en la puerta de entrada. Esta propiedad (como la anterior de reciprocidad) es muy habitual en la ingeniería de microondas.

Por otro lado, se impone otra condición mucho más específica para el dispositivo quasi-aislador de la presente invención, y es que los parámetros de dispersión también cumplen que:

5

$$S_{12}^2 + S_{13}^2 = 0;$$

Esta condición de ajuste de transmisiones en módulo y fase es fundamental para satisfacer el objetivo de la presente invención de mejorar el rendimiento energético en un proceso de calentamiento.

10

De acuerdo a lo anterior, el coeficiente de reflexión a la entrada queda como:

$$\rho_{ent} = \rho_B^2 (S_{11}S_{22}S_{12} + 2S_{12}S_{13}S_{23} + S_{13}^2S_{33}) + \rho_B^3 (\dots);$$

15

que para $|\rho_B| < 1$ (cargas pasivas habituales), puede aproximarse por $\rho_{ent} = \rho_B^2$. Por tanto, la reflexión a la entrada ρ_{ent} es proporcional a ρ_B^2 ; y teniendo en cuenta que $|\rho_B| < 1$, se tiene finalmente que la señal reflejada a la entrada es muy inferior a la reflexión a la salida, lo que demuestra la mejora en la eficiencia energética que ventajosa y sorprendentemente proporciona el diseño del método y dispositivo de la presente invención.

20

Además, el diseño y fabricación del dispositivo QARSP es muy simple y no requiere de ningún material diferente al utilizado para la realización de la antena, preferiblemente un metal como aluminio, cobre o latón: el QARSP es recíproco y sin pérdidas y no contiene materiales como ferritas o elementos disipativos.

25

Por otro lado, el método y sistema de la presente invención es aplicable tanto a entornos domésticos como a entornos industriales de gran potencia, por lo que el diseño final del dispositivo QARSP únicamente dependerá de las condiciones de trabajo previstas, las cuales llevarán a cualquier experto en la materia a optar por las opciones de diseño más apropiadas para adaptarse por ejemplo a una frecuencia de trabajo determinada, seleccionar un tipo de tecnología en guía de onda o tecnología planar, seleccionar la geometría de las guías de onda, seleccionar una antena de microondas de tipo bocina o seleccionar una antena de tipo parche.

35

La **Figura 8** muestra una de las realizaciones del dispositivo QARSP **300** de la presente invención mediante bloques funcionales ya conocidos por separado en el ámbito de los circuitos de microondas, pero diseñados en conjunto para conseguir la funcionalidad del dispositivo quasi-aislador objeto de la presente invención, empleando circuitos recíprocos y sin pérdidas. Esta topología, una vez diseñados los componentes indicados, convierte el coeficiente de reflexión ρ_B **106** en un coeficiente de reflexión a la entrada **309** de aproximadamente ρ_B^2 . Cuando la señal **101** del generador con polarización lineal incide sobre el dispositivo quasi-aislador **300** de la presente invención, la mayor parte se transmite hacia la carga **104**. Sólo se refleja hacia el generador una señal **308** de pequeña potencia proveniente de la señal reflejada por la carga con un coeficiente de reflexión ρ_B **106**. Esta señal reflejada **308** lleva una fracción pequeña de la potencia del generador, en concreto, el dispositivo **300** de la presente invención permite que el coeficiente de reflexión a la entrada **309** del generador se reduzca a ρ_B^2 . La mayor parte de la potencia **104** se habrá disipado en la carga usando un campo con polarización circular.

Esta realización comprende los siguientes bloques funcionales:

- una transición modal **350** que es excitada por la señal **101** proveniente del generador (directamente como en la Figura 5A, o después de pasar por elementos adicionales). Este bloque **350** genera a su salida dos polarizaciones lineales ortogonales.
- un desfasador **351** de las dos polarizaciones lineales ortogonales a la entrada que desfasa estas dos polarizaciones 90° , resultando la salida en una polarización circular.
- Un módulo adaptador **352** de la polarización circular que sale del desfasador para adaptar la señal que excitará el aplicador de campo electromagnético con la carga a calentar.

Las **Figuras 6A y 6B** muestran un diagrama de bloques del dispositivo objeto de la presente invención en dos situaciones distintas.

En la **Figura 6A** se muestra una situación de ingeniería en la que se requiere que no exista ninguna potencia reflejada al generador **100**. Por tanto, se ha añadido un aislador **102** adicional. En este caso, la utilización del dispositivo quasi-aislador de la presente invención (también referido como *Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas* ó QARSP) **300**

permite manejar un aislador **102** mucho más sencillo, menos costoso y con mayor vida útil que el que sería necesario sin el dispositivo de la presente invención, ya que la potencia de la señal reflejada **308** que tiene que absorber es mucho menor. Todo esto se consigue de manera adicional al incremento de rendimiento energético ya descrito, puesto que la mayor parte de la potencia entregada por el generador se ha disipado en la carga a calentar (la cuantificación de este comportamiento se verá en las Figuras 7C-7F). Es decir, el dispositivo QARSP de la presente invención es aplicable en arquitecturas tradicionales, como las de las Figuras 1, 2 y 3, situándolo justo antes de la antena (o aplicador de campo electromagnético) **120**, donde se ve un coeficiente de reflexión ρ_B **106**.

En la **Figura 6B** se representa una aplicación de calentamiento que emplea dos fuentes de frecuencias distintas (f_1 y f_2 , respectivamente) proporcionadas por dos generadores **401**, **402**. La antena (el aplicador del campo electromagnético) **420** funciona en estas dos frecuencias, y al poner la carga a calentar se tiene un coeficiente de reflexión ρ_B **412** a esas dos frecuencias, que provoca que parte de la señal incidente **407** se convierta en señal reflejada **408** hacia el generador. Para esta aplicación el dispositivo QARSP **370** puede adaptarse/modificarse para trabajar en dos frecuencias. El nuevo dispositivo QARSP **370** mantiene un buen aislamiento entre generadores. En este caso entre el generador y el QARSP debe de introducirse un diplexor que sume la señal de los dos generadores f_1 y f_2 a la entrada del QARSP. Lo que se presenta en la figura 6B es que el dispositivo QARSP puede trabajar simultáneamente con dos frecuencias f_1 y f_2 , así como que las características de reflexión anteriormente mencionadas se mantienen, permitiendo que las señales reflejadas hacia el generador **404**, **406** tengan una amplitud ρ_B^2 respecto de las señales incidentes al QARSP **403**, **405**.

En las **Figuras 7A, 7B, 7C, 7D, 7E, 7F** se resume el funcionamiento del dispositivo objeto de la presente invención desde un punto de vista cuantitativo, comparando una situación de partida de conexión directa entre el generador de microondas y la antena (Figura 7A), con la situación en la que se posiciona el dispositivo QARSP de la presente invención entre ellos (Figura 7B).

En la **Figura 7A**, el generador **100** tiene una potencia disponible **101** de P-gen ("gen" indica *generador*). Debido a la carga a calentar, a la entrada de la antena (el aplicador del campo) **120** se tiene un coeficiente de reflexión ρ_B **106**. La potencia **104** que se entrega y

se disipa en la carga en forma de calor es P-carga-SD ("SD" indica "*sin dispositivo*", es decir, sin usar el nuevo dispositivo objeto de la presente invención). La potencia **105** que se refleja hacia el generador en esta situación es P-ref-SD ("ref" indica *reflejada*).

- 5 En la **Figura 7B**, el generador **100** tiene una *potencia disponible* **101** (P-gen). Debido a la carga a calentar, a la entrada de la antena (el aplicador del campo) **120** se tiene un coeficiente de reflexión p_B **106**. La potencia **204** que se entrega y se disipa en la carga en forma de calor es *potencia en la carga con dispositivo* (P-carga-CD), es decir, en esta situación se tiene el dispositivo **300** Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas ó QARSP
10 entre el generador **300** y la antena **120**. La potencia **205** que se refleja hacia el generador en esta situación se denomina *potencia reflejada con dispositivo* (P-ref-CD).

En la **Figura 7C**, se representa una tabla comparativa de la situación de los dos casos: el de la Figura 7A y el de la Figura 7B. La potencia del generador P-gen tanto en el caso de
15 la Figura 7A como el de la Figura 7B se mantiene sin pérdida a 1 W (primera columna), y se varía el módulo del coeficiente de reflexión $|p_B|$ de igual manera en los dos casos (es decir, se sitúa la misma carga a calentar en los dos casos, y para cada fila se evalúa qué es lo que pasa con diferentes cargas). La potencia entregada a la carga en los dos casos, *potencia en la carga sin dispositivo* (P-carga-SD) y *potencia en la carga con dispositivo*
20 (P-carga-CD), se cuantifica en la tercera columna (subdividida en dos) en forma de porcentaje respecto de la primera columna. La potencia perdida que se refleja hacia al generador en los dos casos, *potencia reflejada sin dispositivo* (P-ref-SD) y *potencia reflejada con dispositivo* (P-ref-CD), se cuantifica en la cuarta columna (subdividida en dos) en forma de porcentaje respecto de la primera columna. El rendimiento en forma de
25 porcentaje para cada caso se detalla en la quinta columna, que indica la potencia que se entrega a la carga respecto de la disponible del generador. La última, (sexta columna) indica el cociente entre el rendimiento del sistema con el dispositivo ("CD"), respecto del sistema sin dispositivo ("SD"), es decir, la mejora en rendimiento (si es un número mayor que 1) cuando se usa el dispositivo QARSP de la presente invención, respecto de no
30 usarlo. En esta figura se resalta la zona **400**, donde la mejora del rendimiento, justo cuando la carga provoca más reflexión del generador, es más notable, acercándose al doble para cargas con una reflexión muy alta. Es en esta situación donde la mejora que introduce la presente invención es más destacable, ya que es la situación más adversa para el generador, consiguiéndose entregar casi el doble más de potencia al usar el

dispositivo QARSP que sin utilizarlo, con lo que eso conlleva de ahorro energético y aumento de la vida del sistema completo.

En las **Figuras 7D y 7E** se ilustra la curva de potencia y rendimiento relacionada con las situaciones de las Figuras 7A y 7B. En el eje horizontal se representa la escala de módulos del coeficiente de reflexión de la carga, mientras que en el eje vertical se muestra una escala de potencias (en forma de porcentaje respecto de la potencia del generador) en la Figura 7D, y una escala de rendimiento (en porcentaje) en la Figura 7E. Las dos curvas de la **Figura 7D** corresponden a la potencia reflejada hacia el generador con dispositivo (curva **510**) y sin dispositivo (curva **520**), respectivamente, y la potencia entregada a la carga P-carga-CD, P-carga-SD, en las dos situaciones. Se observa cómo para cualquier carga, la potencia entregada usando el dispositivo QARSP de la presente invención es siempre mayor o igual a la del sistema que no usa dicho dispositivo. En los casos extremos en que no haya reflexión, es decir $|\rho_B|=0$, o haya reflexión total, es decir $|\rho_B|=1$, el dispositivo no aportaría ninguna ventaja, pero realmente estos dos casos no se dan en la práctica, ya que lo habitual en un sistema de calentamiento es tener la situación $0<|\rho_B|<1$. De igual manera, la potencia reflejada hacia el generador es siempre menor (excepto en los casos extremos ya comentados, donde sería igual) en el sistema que usa el dispositivo QARSP.

En las **Figuras 7E y 7F** se muestra más claramente esta ventaja. En la **Figura 7E** se representan las dos curvas de rendimiento (potencia entregada a la carga respecto de la potencia disponible del generador) en tanto por ciento para el sistema sin dispositivo QARSP (curva **610**) y con dispositivo QARSP (curva **620**). Estas curvas reflejan la gran importancia que desde el punto de vista energético proporciona el QARSP: cuando el coeficiente de reflexión es pequeño el rendimiento es próximo al máximo (100%) en ambas situaciones. Cuando el coeficiente de reflexión aumenta y el rendimiento del sistema sin dispositivo decrece, el dispositivo QARSP hace que la relación de rendimientos aumente de forma continua hasta llegar a duplicarse. Es decir, cuanto más energía se pierde en el sistema sin dispositivo (peor rendimiento) más efectivo resulta el empleo del método y dispositivo QARSP de la presente invención.

En la **Figura 7F** se representa la mejora de rendimiento en porcentaje (curva **710**). Tanto en la figura 7D como en la 7E y la 7F, la zona **500, 600, 700** en la que la mejora producida por el dispositivo QARSP es más apreciable es donde el coeficiente de

reflexión de la carga es más alto, lo que redundará en el mejor aprovechamiento energético introducido por la presente invención, que puede llegar casi a una mejora del rendimiento del 100%, cuando la carga tiene un coeficiente de reflexión muy alto.

Se describe a continuación una realización particular de la invención que ilustra las principales características y la versatilidad de la presente invención. Las **Figuras 9A, 9B, 9C y 9D** muestran la validación experimental de una implementación práctica del dispositivo QARSP de la presente invención. Esta validación se ha hecho en banda X de 11.9 a 12.1 GHz por simplicidad del utillaje de medida, pero el principio de diseño y de funcionamiento es exactamente el mismo en otras bandas de frecuencia utilizadas en procesos de calentamiento.

La **Figura 9A** muestra la representación de diseño asistido por ordenador (figura CAD) del dispositivo QARSP, donde se identifican la transición modal **350**, el desfasador **351** y el módulo adaptador **352** entre la puerta de salida del quasi-aislador y la puerta de entrada de la antena de bocina. Estos componentes se conectan al resto del sistema de calentamiento por la guía de onda circular **504** a la antena (el aplicador del campo electromagnético al objeto a calentar), y por la guía de onda rectangular **501** a la parte del sistema que enlaza con el generador de microondas. Todas las guías de onda y las distintas secciones que forman el dispositivo son metálicas, y en este caso de aluminio y rellenas de aire, cumpliendo por tanto que el dispositivo sea recíproco y sin pérdidas (en otros casos podrían diseñarse con otras formas y con otros materiales dieléctricos, pero siempre cumpliendo esta condición). Su comportamiento de quasi-aislador se verifica más adelante en la descripción de las Figuras 9D y 9E.

En la **Figura 9B** se muestra otra vista de la Fig. 9A donde se observa la guía circular de salida y su flange **504** para la conexión con el aplicador de campo, que en este caso es una antena de bocina cónica de banda X con entrada en guía circular del mismo tamaño que la guía circular de salida **504** del QARSP.

En la **Figura 9C** se muestra un esquema de medida con los elementos para la caracterización experimental de la presente invención. En esta figura se observa la guía rectangular **501** de entrada del dispositivo quasi-aislador, o QARSP, donde para su validación experimental se conecta al generador de un analizador de redes **520** mediante una transición **502** entre la guía rectangular y el cable coaxial **522** que da acceso al

analizador de redes **520**. A la salida de la bocina se coloca un panel absorbente **602**, para poder caracterizar la señal reflejada a la entrada del dispositivo QARSP y por tanto medir el coeficiente de reflexión a la entrada ρ_{DP} **309**. Este coeficiente idealmente es ρ_B^2 , siendo ρ_B **106** el coeficiente de reflexión con el que se carga el QARSP, que en este caso es el coeficiente de reflexión que se ve en la guía circular de salida **504** del QARSP producido por la transición **506** generadora de dicha reflexión.

Con este sistema de caracterización experimental, se han planteado cuatro casos (cuatro transiciones **506**) de estudio **910**, **920**, **930**, **940**, cada uno correspondiente a un coeficiente de reflexión ρ_B distinto en la guía circular de salida **504** del dispositivo quasi-aislador o QARSP. Para cada caso, se ha medido primero el ρ_B sin dispositivo QARSP (que sería la situación de la Figura 7A), y después con el dispositivo QARSP (situación de la Figura 7B), cuya validación práctica se realiza con el sistema mostrado en la Figura 9C.

La **Figura 9D** muestra los resultados experimentales obtenidos de los distintos coeficientes de reflexión medidos en decibelios respecto de la frecuencia para cada uno de los cuatro casos. En cada una de las cuatro gráficas **910**, **920**, **930**, **940** (una gráfica por caso), hay tres curvas. Dos son medidas: una primera curva **911**, **921**, **931**, **941** representa el coeficiente de reflexión ρ_B asociado a la carga y una segunda curva **912**, **922**, **932**, **942** el coeficiente ρ_{DP} a la entrada del QARSP. Este último coeficiente, para un QARSP ideal debería ser ρ_B^2 , y por ello se ha introducido una tercera curva **913**, **923**, **933**, **943** por cada gráfica que es directamente el valor de ρ_B^2 para cada frecuencia, con objeto de comparar con el medido. Se observa en las gráficas que los resultados teóricos (**913**, **923**, **933**, **943**) y experimentales (**912**, **922**, **932**, **942**) son muy parecidos. Por tanto, de acuerdo a los resultados se valida que el dispositivo mostrado en la Figura 9B se comporta muy aproximadamente como un dispositivo QARSP. Las pequeñas discrepancias, que incluso mejoran los resultados previstos en algunas frecuencias, son típicas de cualquier experimento de microondas de coste limitado.

Como tabla resumen se muestran a continuación los resultados específicos de cada una de las curvas para la frecuencia de 12GHz.

Resultados teóricos vs exp. a la frecuencia de 12 GHz	$ \rho_B $ (dB) (medido sin el dispositivo)	$ \rho_B $ (dB) (medido con el dispositivo QARSP)	$ \rho_B ^2$ (dB) (teórico, calculado a partir de la primera columna)
Caso 1 (910)	1.04	2.29	2.08
Caso 2 (920)	2.51	5.25	5.02
Caso 3 (930)	8.66	18.68	17.32
Caso 4 (940)	12.94	29.33	25.88

Por tanto, queda demostrado que este prototipo experimental es una adecuada implementación del dispositivo QARSP en banda X, y que por tanto da lugar a las ventajas ya comentadas en su aplicación a un sistema de calentamiento.

El ejemplo mostrado se basa en una de las posibles realizaciones del QARSP, pero no es más que una de las muchas posibilidades que se pueden diseñar convenientemente para obtener un circuito con las características de Quasi-Aislador-Recíproco-Sin Pérdidas como el descrito en la presente invención, para explotar sus ventajas en sistemas de calentamiento. Así, por ejemplo, pueden proponerse otras estructuras en tecnología planar, tanto strip como microstrip, basadas en la utilización de circuitos y antenas tanto en esta tecnología, como en las antenas de tipo parche o slot.

Estas y otras realizaciones, aunque se basen en tecnologías diferentes a la mostrada en profundidad en los ejemplos anteriores de las Figuras 8 y 9, podrían implementarse para cumplir las mismas funciones descritas para el método y dispositivo QARSP de la presente invención con simples variaciones y modificaciones evidentes para los expertos en la materia.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para calentamiento por microondas que comprende:

- unos medios de transición modal configurados para transformar una polarización lineal de entrada en una primera polarización circular; y

- un dispositivo quasi-aislador (300), pasivo, recíproco, con tres puertas eléctricas (61, 62, 63) y acoplable a una cadena de transmisión de microondas, donde el dispositivo quasi-aislador está configurado para reflejar una segunda polarización circular ortogonal a la primera, donde la segunda polarización circular se produce cuando la primera polarización circular se refleja en una carga a calentar;

donde, en un proceso de calentamiento de la carga, de coeficiente de reflexión p , con la primera polarización circular, el coeficiente de reflexión en la entrada del dispositivo quasi-aislador resulta menor que p .

2. Sistema de acuerdo a cualquiera la reivindicación 1 donde, el dispositivo quasi-aislador está definido por una matriz S de parámetros de dispersión con un coeficiente $S_{11}=0$ y unos coeficientes S_{12} y S_{13} que cumplen que la suma de sus cuadrados es igual a 0.

3. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde los medios de transición modal comprenden:

- unos medios (350) para transformar la polarización lineal de entrada en dos polarizaciones lineales ortogonales; y

- unos medios (351) desfasadores, configurados para desfasar 90° las dos polarizaciones lineales ortogonales.

4. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende:

- una guía de onda de entrada (501) conectada por uno de sus extremos a una puerta eléctrica de entrada (61) del dispositivo quasi-aislador, donde la guía de onda de entrada es conectable por otro de sus extremos a un generador de microondas; y

- una guía de onda de salida (504), conectada por uno de sus extremos a las puertas eléctricas de salida (62, 63) del dispositivo quasi-aislador, donde la guía de onda de salida es conectable por otro de sus extremos a una antena de microondas.

5. Sistema de acuerdo a la reivindicación 4 que además comprende una antena de microondas de tipo bocina (120), conectada a la guía de onda de salida y configurada para, al ser excitada por las microondas con la primera polarización circular, aplicar un campo electromagnético sobre la carga ρ .
6. Sistema de acuerdo a la reivindicación 5 que además comprende un módulo adaptador (352) dispuesto entre las puertas de salida del dispositivo quasi-aislador y una puerta de entrada de la antena de microondas de tipo bocina.
7. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4-6 donde la guía de onda de entrada y la guía de onda de salida tienen doble simetría, y donde la guía de onda de salida es una guía de onda circular que comprende una única puerta física de salida para las dos puertas eléctricas de salida (62, 63) del dispositivo quasi-aislador, cada una de ellas para cada uno de los dos modos TE_{11} de la guía de onda circular.
8. Sistema de acuerdo a la reivindicación 1 donde los medios de transición modal están dispuestos en un sustrato dieléctrico (72) y comprenden:
- unos medios desfasadores configurados para desfasar una señal de entrada polarizada linealmente; y
 - una antena tipo parche (71) con dos entradas ortogonales (73, 74) conectadas a las puertas de salida eléctricas (62, 63) del dispositivo quasi-aislador, configurada para radiar un campo electromagnético de polarización circular.
9. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende un polarizador de entrada conectado a una puerta eléctrica de entrada del dispositivo quasi-aislador, configurado para transformar una polarización circular de entrada en una polarización lineal de salida.
10. Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde los medios de transición modal forman parte del dispositivo quasi-aislador.
11. Método para calentamiento por microondas que comprende los pasos:

- proporcionar una señal de microondas polarizada linealmente en una entrada de un dispositivo quasi-aislador, pasivo, recíproco, con tres puertas eléctricas y acoplable a una cadena de transmisión de microondas,
- transformar, en unos medios de transición modal, la señal de microondas polarizada linealmente en una primera señal de microondas polarizada circularmente;
- aplicar, por una antena de microondas, la primera señal de microondas polarizada circularmente a una carga de coeficiente de reflexión ρ , de manera que una parte de la señal de microondas polarizada circularmente es reflejada en la carga y se produce una segunda señal polarizada circularmente ortogonal a la primera; y
- reflejar, en el dispositivo quasi-aislador, la segunda señal polarizada circularmente y ortogonal a la primera, de manera que se produce un coeficiente de reflexión en la entrada del dispositivo quasi-aislador menor que ρ .

12. Método de acuerdo a la reivindicación 11, que además comprende definir el dispositivo quasi-aislador mediante una matriz S de parámetros de dispersión, estableciendo las siguientes condiciones: un coeficiente $S_{11}=0$ y unos coeficientes S_{12} y S_{13} que cumplen que la suma de sus cuadrados es igual a 0;

13. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11-12 donde transformar la señal de microondas polarizada linealmente en la primera señal de microondas polarizada circularmente comprende:

- transformar la polarización lineal de entrada en dos polarizaciones lineales ortogonales; y
- desfasar 90° las dos polarizaciones lineales ortogonales.

14. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11-13 que además comprende:

- generar la señal de microondas en un generador de microondas;
- guiar, por una guía de onda de entrada, la señal de microondas hasta el dispositivo quasi-aislador;
- guiar, por una guía de onda de salida, la primera señal de microondas polarizada circularmente hasta una antena de microondas, configurada para aplicarla a la carga.

15. Método de acuerdo a la reivindicación 14, que además comprende determinar una frecuencia de trabajo y seleccionar una geometría para la guía de onda de entrada y la guía de onda de salida, en función de dicha frecuencia.

5

16. Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11-15 que además comprende transformar, por un polarizador de entrada conectado entre la entrada del dispositivo quasi-aislador y un generador de microondas con polarización circular, una señal polarizada circularmente en la señal de microondas polarizada linealmente que se proporciona en la entrada del dispositivo quasi-aislador.

10

17. Método de acuerdo a la reivindicación 11 donde transformar la señal de microondas polarizada linealmente en la primera señal de microondas polarizada circularmente comprende:

15

- desfasar 90° la señal de microondas polarizada linealmente proporcionada en la entrada del dispositivo quasi-aislador; y
- proporcionar las dos señales desfasadas 90° en dos entradas dispuestas ortogonalmente en una antena tipo parche microstrip, donde la antena tipo parche microstrip está configurada para radiar la primera señal de microondas polarizada circularmente que se aplica a la carga.

20

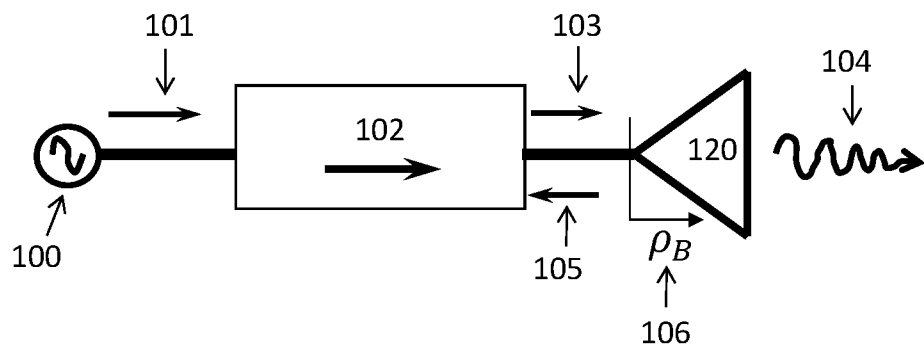


Fig. 1

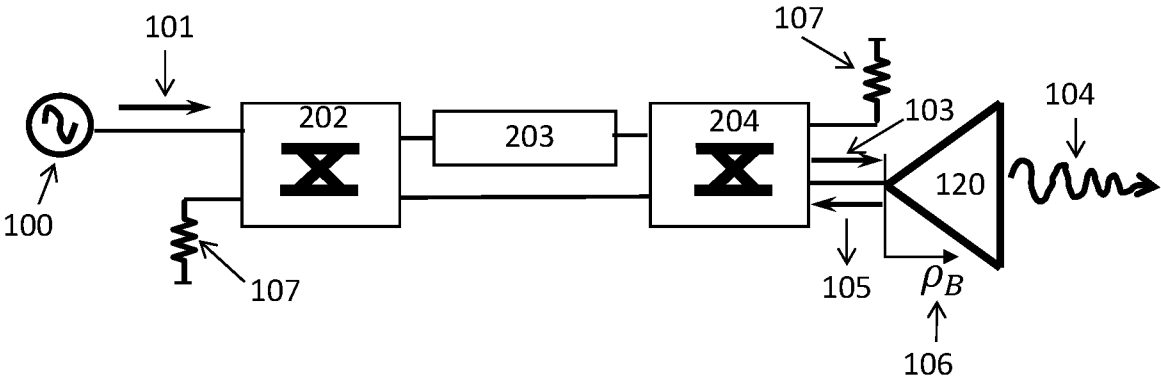
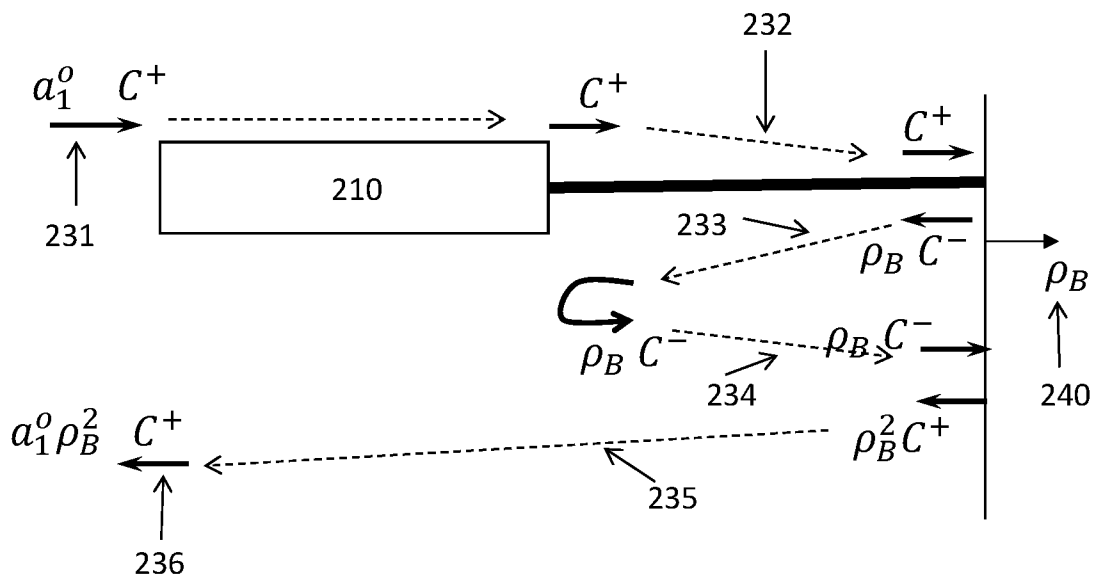
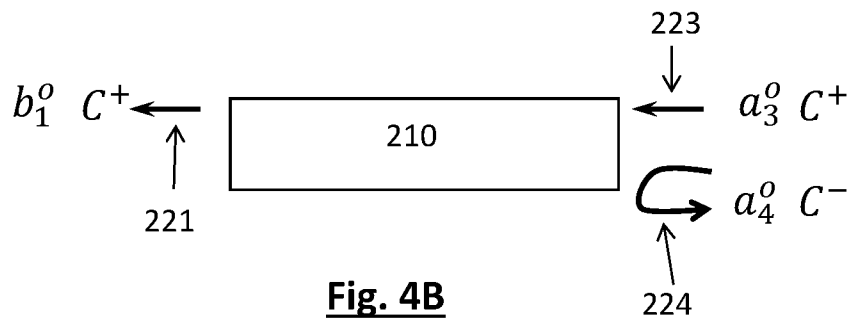
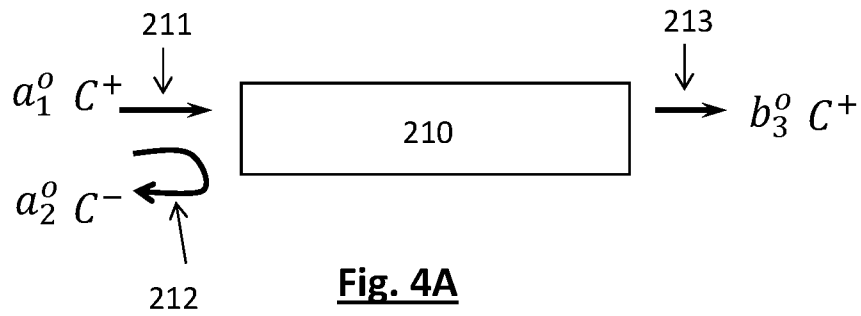
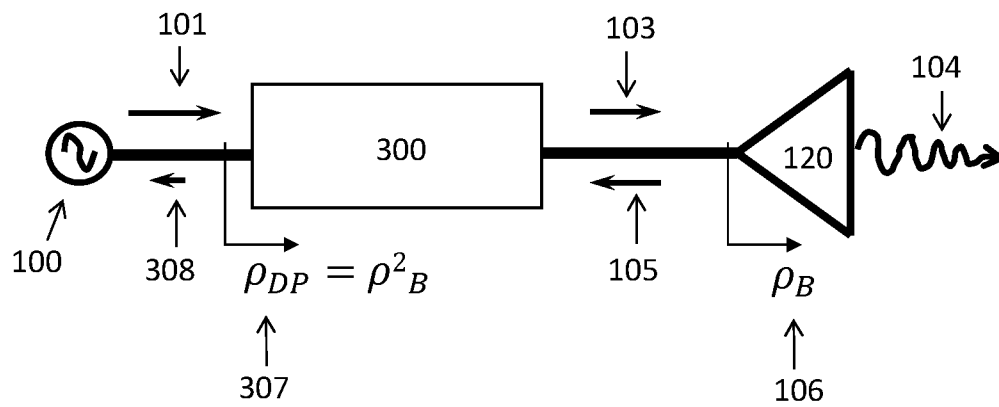
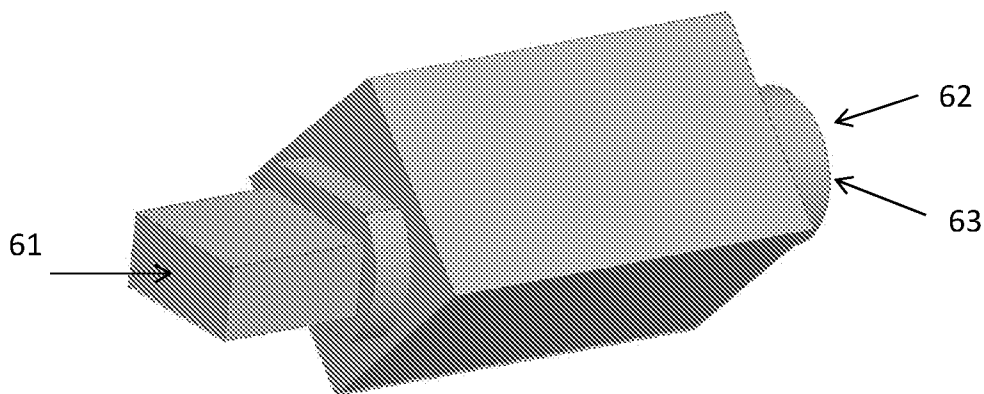
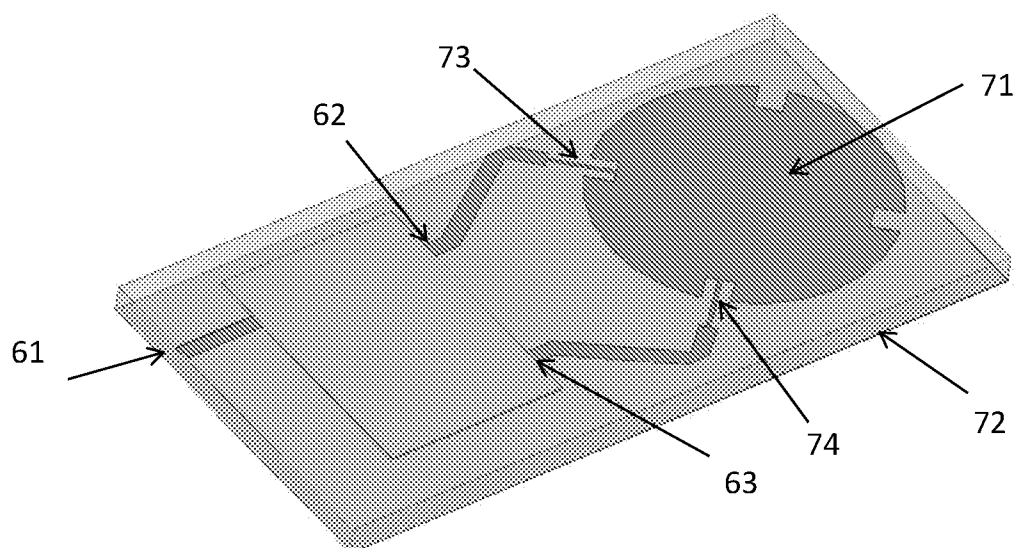


Fig. 3

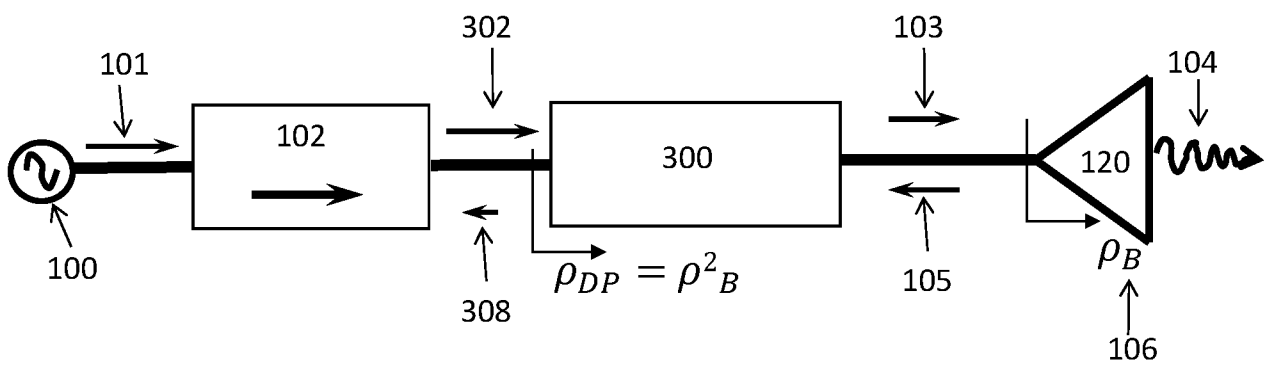
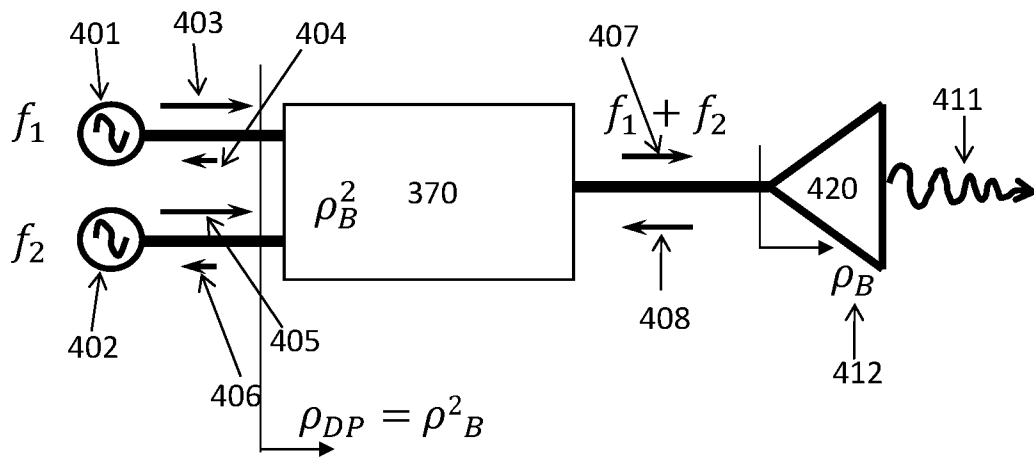
4/13



5/13

**Fig. 5A****Fig. 5B****Fig. 5C**

6/13

**Fig. 6A****Fig. 6B**

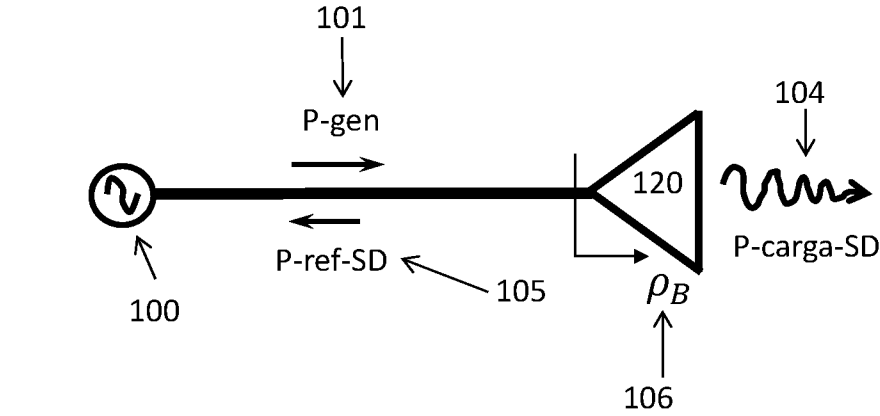


Fig. 7A

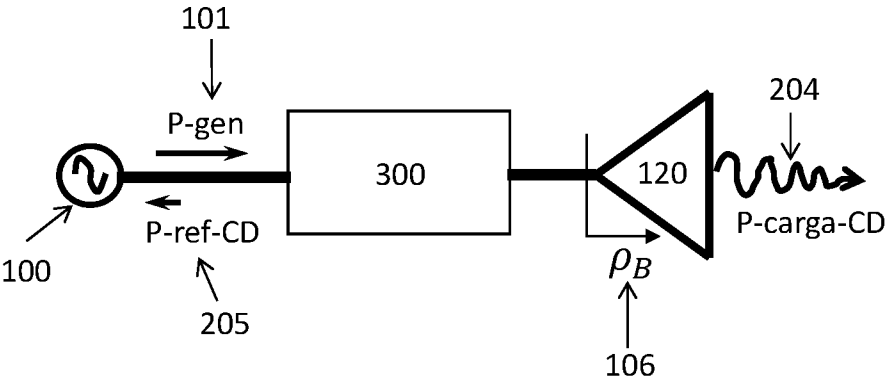


Fig. 7B

8/13

Potencia disponible del Generador	Coeficiente de reflexión asociado a la carga	Potencia entregada a la carga disipada en el calentamiento		Potencia perdida ref. hacia el generador respecto de la potencia del generador en porcentaje (%)		Rendimiento (potencia entregada a la carga respecto de la potencia disponible del generador) en porcentaje (%)		Mejora del rend. al usar el Disp. QARSP en porc. (%)
		Sin Dispos.	Con D. QARSP	Sin Dispos.	Con D. QARSP	Sin Dispos.	Con D. QARSP	
P-gen [W]	$ \rho_B $ unidades naturales (decibelios)	P-carga-SD [W]	P-carga-CD [W]	$100 \times (P\text{-ref-SD} / P\text{-gen})$	$100 \times (P\text{-ref-CD} / P\text{-gen})$	$R\text{-CD} = 100 \times (P\text{-carga-SD} / P\text{-gen})$	$R\text{-SD} = 100 \times (P\text{-carga-CD} / P\text{-gen})$	$100 \times (R\text{-CD} - R\text{-SD}) / R\text{-SD}$
1	0 (-inf dB)	1	1	0	0	100	100	0
1	0.1 (-20 dB)	0.99	0.9999	1	0.01	99	99.99	1
1	0.2 (-14 dB)	0.96	0.998	4	0.16	96	99.84	4
1	0.3 (-10.4 dB)	0.91	0.992	9	0.81	91	99.19	9
1	0.4 (-7.9 dB)	0.84	0.974	16	2.56	84	97.44	16
1	0.5 (-6dB)	0.75	0.938	25	6.25	75	93.75	25
1	0.6 (-4.4dB)	0.64	0.870	36	12.96	64	87.04	36
1	0.7 (-3dB)	0.51	0.76	49	24	51	76	49
1	0.8 (-1.9dB)	0.36	0.59	64	41	36	59	64
1	0.9 (-0.9 dB)	0.19	0.34	81	66	19	34	81
1	0.93 (-0.6 dB)	0.135	0.25	86.5	74.8	13.5	25.2	86.4
1	0.95 (-0.4 dB)	0.097	0.186	91.25	81.4	9.75	18.6	90.25
1	0.98 (-0.2 dB)	0.04	0.076	96	92.4	4	7.6	96.04
1	1 (0 dB)	0	0	100	100	0	0	--

400

Fig. 7C

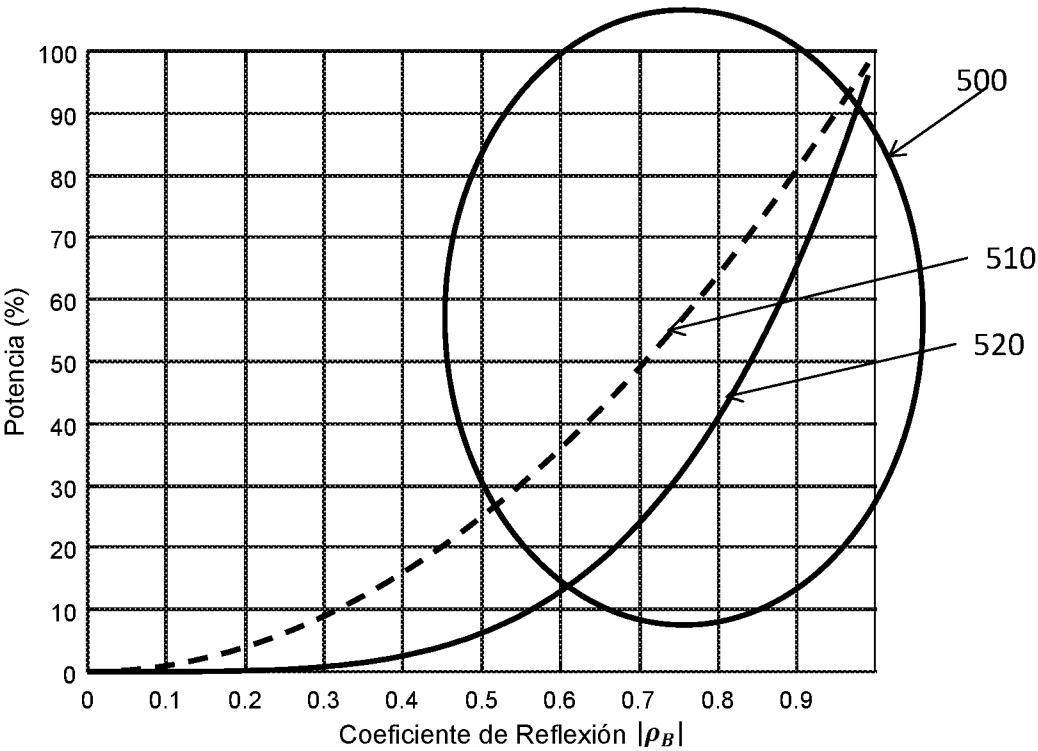


Fig. 7D

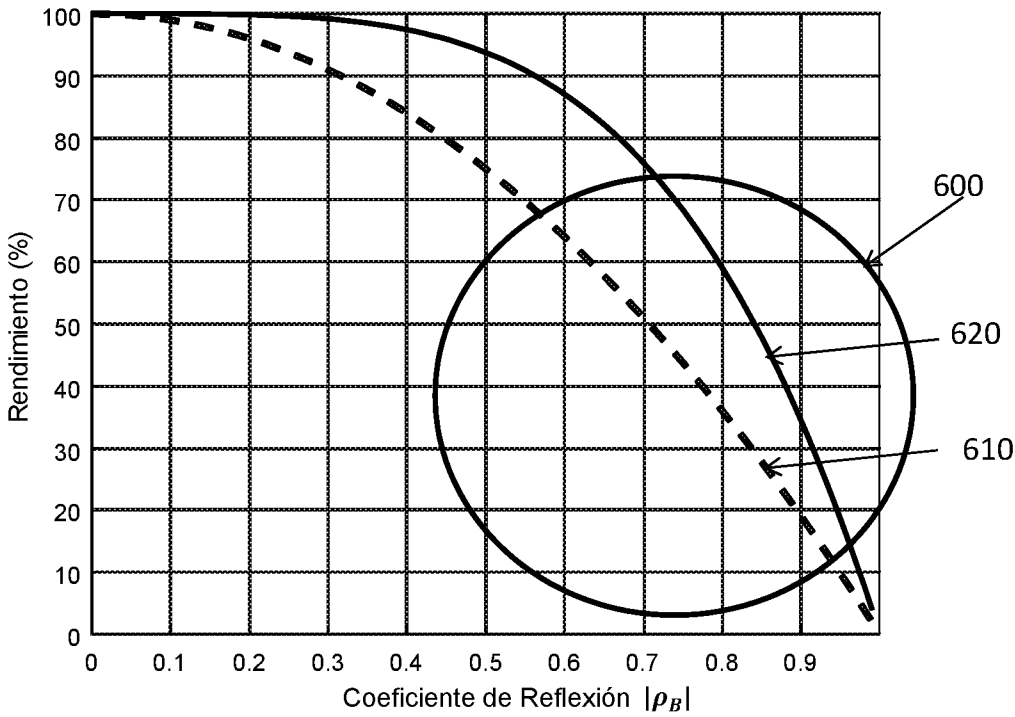


Fig. 7E

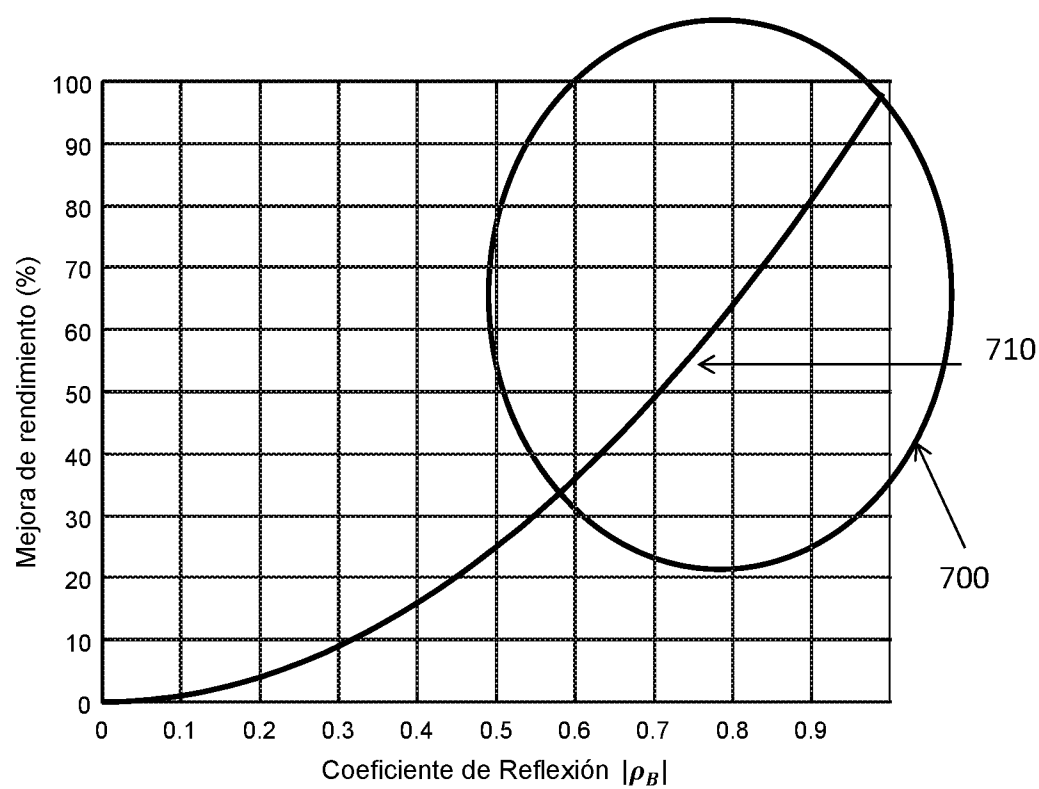
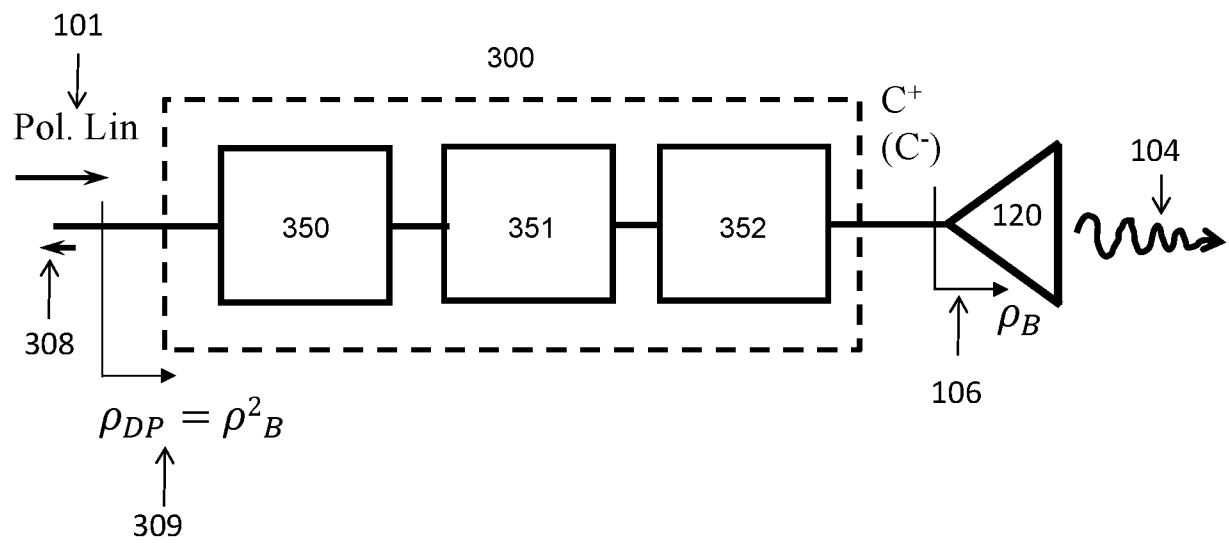


Fig. 7F

11/13

**Fig. 8**

12/13

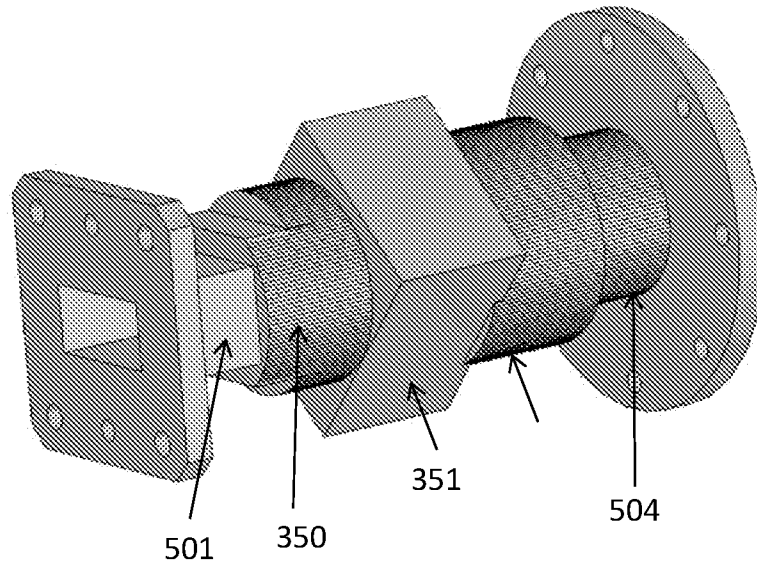


Fig. 9A

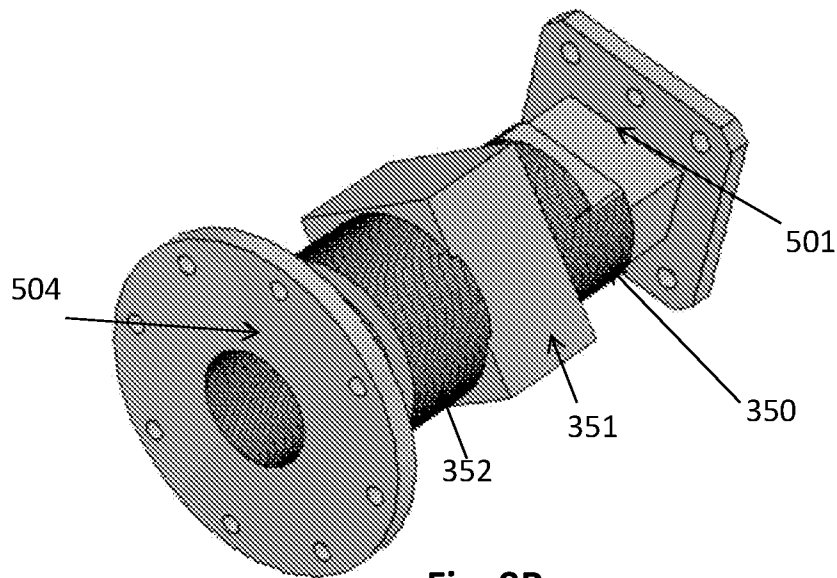


Fig. 9B

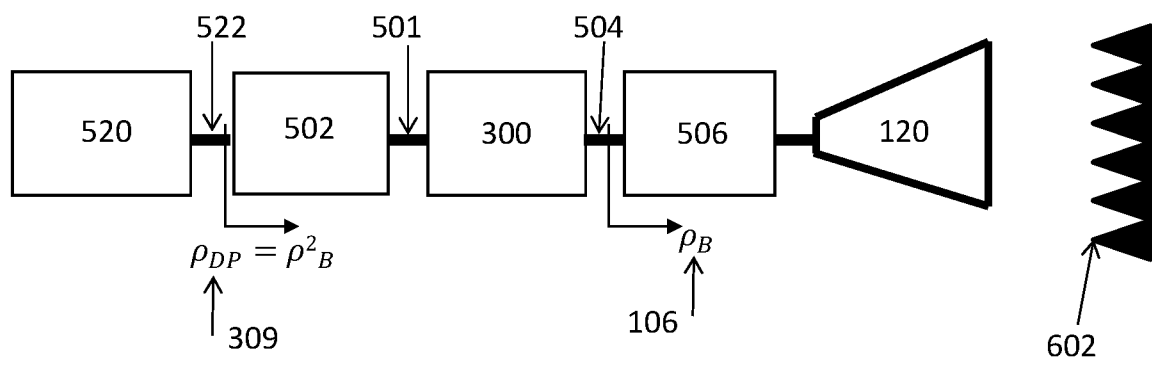
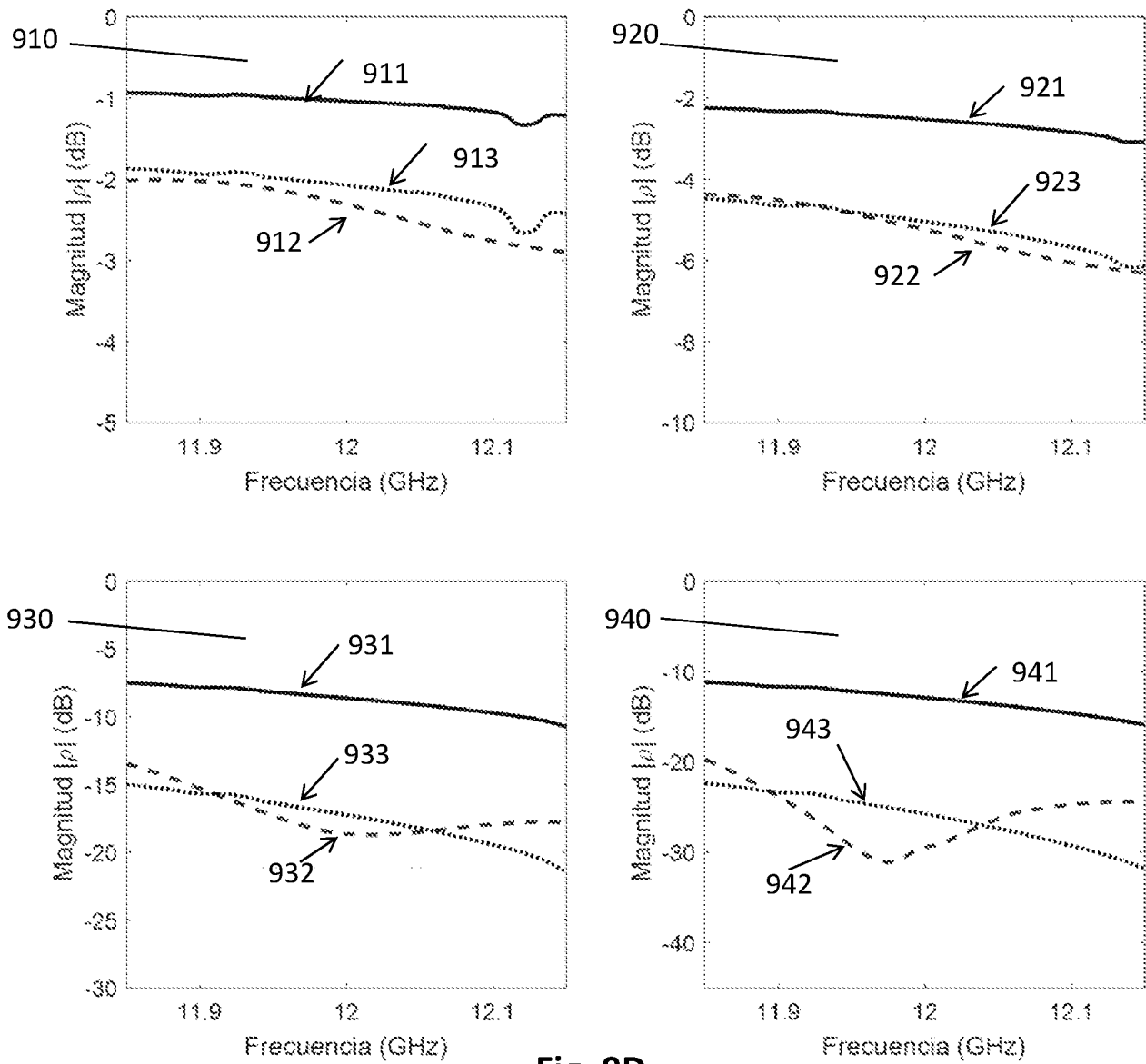


Fig. 9C

13/13

**Fig. 9D**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2020/070273

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05B6/70 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4336434 A (MILLER MATTHEW S) 22/06/1982, column 3, line 5 a column 13, line 14; figures 1-8.	1-17
A	SIMMONS A. Circularly polarized slot radiators. Ire Transactions On Antennas And Propagation, 19570101 IEEE, USA., 01/01/1957, Vol. 10, N° 1, pages 31 - 36, ISSN 0096-1973	1-17

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14/07/2020

Date of mailing of the international search report
(21/07/2020)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
J. Botella Maldonado

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495382

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2020/070273

Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US4336434 A	22.06.1982	CA1166703 A	01.05.1984
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2020/070273

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H05B6/70 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

H05B

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	US 4336434 A (MILLER MATTHEW S) 22/06/1982, columna 3, línea 5 a columna 13, línea 14; figuras 1-8.	1-17
A	SIMMONS A. Circularly polarized slot radiators. Ire Transactions On Antennas And Propagation, 19570101 IEEE, USA., 01/01/1957, Vol. 10, Nº 1, páginas 31 - 36, ISSN 0096-1973	1-17

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
14/07/2020

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
21 de julio de 2020 (21/07/2020)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
J. Botella Maldonado
Nº de teléfono 91 3495382

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional n°

PCT/ES2020/070273

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US4336434 A	22.06.1982	CA1166703 A	01.05.1984
-----	-----	-----	-----