

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 214**

51 Int. Cl.:

A61B 18/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2010 E 10787523 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2501317**

54 Título: **Un aparato de microondas**

30 Prioridad:

18.11.2009 US 262206 P

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

27.06.2016

73 Titular/es:

**EMBLATION LIMITED (100.0%)
3 Forrester Lodge
Inglewood, Alloa FK10 2HU, GB**

72 Inventor/es:

**MCERLEAN, EAMON y
BEALE, GARY**

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 575 214 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un aparato de microondas

Campo de la invención

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un aparato de microondas, por ejemplo un aparato para medir la potencia directa y reflejada en frecuencias de microondas, incluyendo sistemas generadores de potencia de microondas que miden la potencia directa o reflejada. El aparato es aplicable tanto a aplicaciones de microondas industriales como médicas.

Antecedentes de la invención

10 **[0002]** La medición de potencia reflejada de sistemas generadores de microondas conocidos se utiliza normalmente como un mecanismo indirecto para determinar el nivel de potencia aplicada (dado que la energía depositada en el material objetivo no se puede obtener fácilmente de manera directa). En el caso de que se exceda un nivel predeterminado de potencia reflejada, el sistema generador puede apagarse de manera rápida y segura, evitando daños al equipo y evitando que dispositivos defectuosos funcionen debido a una mala interpretación del sistema.

15 **[0003]** En aplicaciones médicas la medición de potencia reflejada puede actuar como un mecanismo de seguridad para detectar y reaccionar ante fallos de los dispositivos, problemas de conexión y algunas formas de uso indebido. La ventaja de las mediciones de reflexión es que los tratamientos ciegos se pueden monitorizar en tiempo real sin requerir que el usuario examine el lugar de tratamiento, lo que podría provocar que se administrara potencia adicional, lo que podría causar de manera inadvertida acontecimientos adversos. En cambio, un dispositivo médico totalmente adecuado podría malinterpretarse de manera accidental como defectuoso dando lugar a que el usuario abandone un tratamiento causando un peligro y un riesgo innecesarios a un paciente y requiriendo una reprogramación del tratamiento.

20 **[0004]** En los aparatos conocidos, los circuitos de potencia directa e inversa se utilizan para medir la energía suministrada a y reflejada a partir de los componentes de carga conectados a un generador de microondas. La precisión de esa medición es importante puesto que se puede utilizar como un monitor de seguridad o para proteger la circuitería del amplificador en el generador a partir de altos niveles de potencia reflejada que pueden dañar el *hardware*.

25 **[0005]** En el caso de un componente de carga que refleja una parte de energía incidente del microondas, se establece un voltaje de onda estacionaria que varía de manera sinusoidal en amplitud con la distancia (longitud de fase eléctrica) a partir del componente desadaptado. La relación entre el voltaje máximo (antinodo) y el voltaje mínimo adyacente (nodo) en una línea de transmisión es relativa a la proporción de la energía reflejada y la energía suministrada y se denomina la relación de voltajes de onda estacionaria (VSWR, por sus siglas en inglés)

30 **[0006]** Los componentes de microondas típicos se diseñan y se miden utilizando un equipo de medición de red de vectores (magnitud y fase) donde los efectos de fase de cable de medición y los desajustes se calibran utilizando un *software* sofisticado basado en técnicas de calibración. Estos componentes se diseñan y se comparan con estándares de referencia de 50 Ω muy precisos. Los componentes normales diferirán ligeramente de los estándares de referencia presentando una desadaptación que causará algún grado menor de VSWR. El problema sólo se vuelve significativo en casos en los que en la adaptación del componente es escasa. En el caso de las aplicaciones médicas, la adaptación del aplicador al sistema es a menudo peor que la pérdida de retorno del componente industrial normal de - 20dB (VSWR 1,22:1) que puede dar lugar a niveles significativos de VSWR.

35 **[0007]** Para los sistemas de microondas que emplean una única frecuencia de funcionamiento, la circuitería de medición de potencia inversa medirá solamente un único punto de la sinusoide de VSWR. Puesto que la sinusoide de VSWR varía con la distancia, los cambios en la longitud de la trayectoria provocarán que la medición de potencia reflejada siga el perfil de la sinusoide de VSWR. Este efecto podría hacer que el circuito de medición de potencia inversa midiera en cualquier parte desde un máximo de VSWR hasta un mínimo de VSWR para dos componentes desadaptados idénticos que difieren solo en la longitud de fase. En un sistema que depende de la medición de la potencia inversa para indicar el rendimiento, esto representa una medición ambigua y poco fiable.

40 **[0008]** En los sistemas generadores conocidos, la potencia de microondas se mide a menudo utilizando diodos detectores que proporcionan una medición de potencia relacionada con el voltaje. Estos sistemas están contruidos a partir de combinaciones de componentes diseñados y comparados con estándares de referencia de impedancia de 50 Ω precisos utilizando un equipo de prueba de vectores (magnitud y fase). Sin embargo, se espera que los sistemas acabados realicen mediciones críticas sin referencia a ninguna forma de calibración *in situ*. En cambio, las características de funcionamiento de los sistemas se determinan a partir de señales

reflejadas medidas (a menudo medidas en una sola ubicación y frecuencia) basándose en propiedades de los componentes individuales predeterminadas con respecto a los estándares de referencia. La omisión de calibración enfatiza los efectos de la variación y la longitud de fase de cable en la medición de potencia. También es una práctica común generar señales de microondas utilizando generadores de microondas de onda continua (CW, por sus siglas en inglés). Dichos generadores de CW están a menudo limitados a generar energía de microondas en un solo punto de frecuencia fija, por ejemplo, 2,45 GHz, debido a la utilización de la tecnología basada en el magnetrón que solo puede proporcionar energía en frecuencias fijas. La variación de los parámetros físicos del dispositivo junto con el funcionamiento de CW y la falta de calibración puede dar lugar a una variación considerable en las mediciones.

5
10 **[0009]** Otro factor que se pasa por alto en los sistemas conocidos es el efecto de las desadaptaciones en cascada. Por ejemplo, los componentes diseñados para una terminación de $50\ \Omega$ se pueden conectar a otros componentes desadaptados y la longitud de fase eléctrica de las interconexiones tales como cables o longitud de fase de los aplicadores se puede ignorar o desconocer causando incertidumbres de desadaptación. Esa es una fuente de error a menudo pasada por alto en las mediciones de microondas. El diseño y la calibración del equipo, en concreto el equipo médico, debe tener en cuenta las imprecisiones de medición para demostrar competencia.

[0010] Debe entenderse que, sin tener en cuenta los efectos anteriormente mencionados de la VSWR y las ondas estacionarias en las mediciones de potencia reflejada, la potencia total suministrada a una carga debe permanecer relativamente constante independientemente de las variaciones menores en la longitud de cable siempre y cuando la carga sea de un valor constante.

20 **[0011]** Se sabe que mide la potencia inversa utilizando un acoplador direccional conectado a un diodo detector. La VSWR se calcula estableciendo la relación entre potencia directa e inversa medida. En la mayoría de sistemas la onda estacionaria de potencia inversa se mide en un solo punto de frecuencia. El efecto de la onda estacionaria no es evidente en esta única medición de punto de frecuencia hasta que los parámetros tales como la adaptación o la longitud de fase se varían (como sucede a menudo con las tolerancias de fabricación de los componentes).

25
30 **[0012]** Una limitación en la utilización de acopladores o componentes de medición que dependen de la impedancia en los circuitos detectores de potencia es que estos dispositivos son a menudo adecuados para la comparación con las terminaciones adaptadas. En el caso de los acopladores direccionales, el factor de acoplamiento y la directividad se verán afectados por la impedancia presentada en los puertos del dispositivo. El funcionamiento de un circuito detector que utiliza un acoplador o cualquier otra disposición de los componentes sensibles a la impedancia (por ejemplo, acoplador/aislador) se verán afectados por la impedancia variable presentada a los puertos.

35 **[0013]** Esta característica es aceptable en las aplicaciones industriales en las que el dispositivo en prueba (DUT, por sus siglas en inglés) posee normalmente una adaptación de $-14\ \text{dB}$ o mejor (VSWR 2:1). En las aplicaciones médicas, la adaptación del aplicador o antena puede diferir considerablemente de $50\ \Omega$ y puede estar comprendida entre $-20\ \text{dB}$ (VSWR 1,22:1) y $-6\ \text{dB}$ (VSWR 3,01:1), o peor dependiendo de la aplicación. La impedancia efectiva del aplicador o antena también puede cambiar a medida que las propiedades del tejido cambian durante un tratamiento que requiere un sistema de medición que pueda admitir un amplio rango de variación de impedancia. Esto es particularmente importante en las mediciones de potencia reflejada en las que se ha configurado un sistema médico para medir la potencia reflejada utilizando componentes de referencia de $50\ \Omega$ estándar. Cuando se conecta a una nueva impedancia, la configuración continuará refiriendo todas las mediciones al estándar de referencia de $50\ \Omega$ dando lugar a incertidumbre y escasa fiabilidad de las mediciones de potencia reflejada donde la impedancia difiere de $50\ \Omega$. Esta limitación de medición relacionada con la impedancia también puede estar sujeta a los efectos de fase que se pueden reducir utilizando una fuente de barrido como se describe en el presente documento o mediante cualquier otro método que tome una medición media sobre las variaciones en la fase barriendo la fase ya sea de manera mecánica o eléctrica. El efecto de la variación de la medición sensible a la impedancia en sí añade una fuente de error independiente adicional en las mediciones de potencia.

45
50 **[0014]** En US20090076492, US7070595, US2006087649 y US 20080319434 se describen sistemas que utilizan mediciones de potencia reflejada y determinación de VSWR en la monitorización y el control de la aplicación de la potencia de microondas para aplicaciones médicas.

55 **[0015]** US 20090076492 y US 7070595 describen el ajuste de un parámetro del sistema, tal como la longitud de fase, o el movimiento de una frecuencia de salida, con el fin de funcionar en una posición de VSWR medida más baja, que se percibe como la disposición de funcionamiento óptima. Sin embargo, ese enfoque tiene el defecto de que el funcionamiento del sistema total no se mejora mientras la impedancia de la antena sigue inalterada y la potencia suministrada sigue siendo la misma. El único cambio es que el punto de referencia de la medición de VSWR se mueve a un punto nulo en el que la señal reflejada se anula parcialmente frente a la señal transmitida. De esta manera, dichos sistemas proporcionan una medición poco fiable de la potencia reflejada o de la VSWR, en la que no es posible basarse por motivos críticos de seguridad.

Sumario de la invención

[0016] Los aspectos de la invención son conformes a las reivindicaciones independientes adjuntas.

[0017] En un primer aspecto independiente de la invención se proporciona un aparato de microondas que comprende;- una fuente de microondas para proporcionar una señal de microondas, conectable a una carga; un medio de control configurado en funcionamiento para seleccionar características de potencia y frecuencia de la señal de microondas con el fin de realizar una operación deseada en o por la carga, en el que las características de frecuencia seleccionada para realizar la operación deseada comprenden la variación en un rango de frecuencia de una frecuencia de la señal de microondas proporcionada por la fuente durante la realización de la operación deseada; un detector de microondas para la realización de mediciones de microondas, dispuesto para recibir reflexiones procedentes de y/o transmisiones hacia la carga en funcionamiento y configurado para realizar varias mediciones durante la operación deseada, correspondiendo cada medición a una frecuencia respectiva de varias frecuencias diferentes del rango de frecuencia; y un medio para determinar a partir de las diversas mediciones una medida de reflexión y/o una medida de transmisión, en el que el medio de determinación está configurado para procesar las diversas mediciones juntas con el fin de obtener la medida de reflexión y/o la medida de transmisión para el rango de frecuencia. Pueden proporcionarse varios detectores de microondas. El detector de microondas o cada detector de microondas puede comprender un detector de potencia de microondas.

[0018] Variando la frecuencia de la señal de microondas en un rango de frecuencia, se puede obtener una medida de reflexión y/o transmisión más precisa. Por ejemplo, los efectos de la onda estacionaria se pueden determinar de manera más precisa.

[0019] El medio de control se puede configurar para controlar al menos una propiedad de la señal de microondas proporcionada por la fuente de microondas, por ejemplo para realizar una operación en o por la carga. El medio de control se puede configurar para variar la frecuencia de la señal de microondas de manera sustancial durante la realización de la operación. La operación puede comprender una ablación u otra operación mediante calentamiento y, por ejemplo, se puede realizar en tejido biológico.

[0020] La variación de la frecuencia puede comprender la variación de la frecuencia entre una frecuencia máxima y una frecuencia mínima, siendo la frecuencia máxima y la mínima la frecuencia más alta y la más baja del rango. El medio de medición se puede configurar para procesar juntas y/o comparar las diversas mediciones con el fin de determinar la medida de la reflexión.

[0021] La realización de una medición que corresponde a una frecuencia del rango de frecuencia de la señal de microondas proporcionada por la fuente puede comprender la medición en esa frecuencia. La medición puede comprender por ejemplo la medición de una señal recibida derivada de la reflexión de la señal de microondas en esa frecuencia proporcionada por la fuente y/o la medición de una señal recibida de manera sustancialmente simultánea con el suministro de la señal de microondas en esa frecuencia por la fuente.

[0022] Cada medición puede comprender una medición de una señal reflejada o transmitida sola o puede comprender una medición de una señal reflejada superpuesta con una señal transmitida, por ejemplo la señal proporcionada por la fuente. El detector de microondas puede estar dispuesto para recibir una superposición de radiación reflejada y aplicada. El detector de microondas puede ser controlado, por ejemplo por el medio de control, para realizar las diversas mediciones.

[0023] El medio de control puede comprender un controlador, por ejemplo un microprocesador programado de manera adecuada. El controlador puede configurarse para controlar la al menos una propiedad de la señal de microondas aplicando al menos una señal de control a la fuente de microondas o a un componente, por ejemplo un oscilador, un filtro o un amplificador, asociado a la fuente de microondas. De manera alternativa o adicional, el medio de control puede comprender un oscilador de frecuencia de barrido y/o un amplificador.

[0024] La carga puede comprender, por ejemplo, un aplicador o una antena.

[0025] La fuente de microondas se puede conectar a la carga mediante una línea de transmisión de manera que en funcionamiento se forma un voltaje de onda estacionaria en la línea de transmisión por la superposición de la señal de microondas proporcionada por la fuente y una reflexión de la señal de microondas, variando la amplitud del voltaje de onda estacionaria (VSW) entre un máximo y un mínimo con posición sobre la línea de transmisión en un ciclo VSW, y el rango de frecuencia puede ser tal que la variación de la frecuencia por el medio de control sobre el rango de frecuencia aplicada provoca que el VSW en una localización del detector de microondas varíe en al menos un ciclo VSW.

[0026] Mediante la variación durante al menos un ciclo VSW, se puede obtener un conocimiento más completo de las características de la señal reflejada.

- [0027] La fuente de microondas se puede conectar a la carga mediante una línea de transmisión que tiene una longitud L y el rango de frecuencia puede tener una anchura superior o igual a $c/2L$, en el que c es la velocidad de la luz en el vacío.
- 5 [0028] Se ha constatado que variando la frecuencia en un rango de tal anchura, se pueden medir las señales reflejadas a través de al menos un ciclo VSW.
- [0029] El rango de frecuencia puede tener una anchura superior o igual a 50 MHz, opcionalmente superior o igual a 200 MHz, opcionalmente superior o igual a 500 MHz. Esa anchura puede proporcionar una medición precisa de VSW u otros efectos de fase u onda estacionaria.
- 10 [0030] El rango de frecuencia puede tener una anchura inferior o igual a 1000 MHz, opcionalmente inferior o igual a 500 MHz. Limitando la anchura del rango de frecuencia se puede proporcionar un procedimiento más rápido y eficiente en algunas circunstancias.
- [0031] El medio de control se puede configurar para variar la frecuencia de la señal de microondas barriendo la frecuencia en el rango de frecuencia. El barrido puede comprender la variación de la frecuencia de manera sustancialmente continua.
- 15 [0032] El medio de control se puede configurar para variar la frecuencia de la radiación de microondas en el rango de frecuencia aplicada controlando la señal para tener una secuencia de frecuencias diferentes.
- [0033] La secuencia puede ser una secuencia de frecuencias predeterminadas y/o una secuencia de frecuencias determinada de conformidad con un algoritmo predeterminado, y/o una secuencia de frecuencias sustancialmente aleatoria. El medio de control puede controlar la señal para saltar entre las diferentes
- 20 frecuencias en la secuencia.
- [0034] El medio de control puede estar configurado para variar repetidamente la frecuencia de la señal de microondas en el rango de frecuencia. Por ejemplo, el medio de control puede barrer repetidamente la frecuencia en el rango de frecuencia o puede repetir la secuencia.
- [0035] La señal de microondas puede comprender una señal pulsante o una señal de onda continua.
- 25 [0036] La señal de microondas puede comprender una señal pulsante y el medio de control puede estar configurado para variar la frecuencia de la señal durante cada pulso. El medio de control puede estar configurado para variar la frecuencia de la señal en el rango de frecuencia en un ciclo de repetición y la duración de cada ciclo puede ser inferior a la duración de cada pulso. La duración de cada ciclo puede ser inferior o igual a una décima parte de la duración de cada pulso.
- 30 [0037] La medida de la reflexión obtenida para el rango de frecuencia aplicada puede ser representativa de una cantidad media o máxima de reflexión obtenida para el rango de frecuencia y/o la medida de transmisión para el rango de frecuencia aplicada puede ser representativa de una cantidad media o máxima de transmisión obtenida para el rango de frecuencia. Por ejemplo, la medida de la reflexión puede ser representativa de una potencia reflejada media o máxima.
- 35 [0038] El detector de microondas puede estar configurado además para medir la señal de microondas proporcionada por la fuente y una reflexión de la señal de microondas y para determinar una relación de voltajes de onda estacionaria (VSWR) de la señal proporcionada medida y la reflexión medida.
- [0039] El detector de microondas puede estar configurado para medir la señal de microondas proporcionada por la fuente independientemente de la reflexión, o puede estar configurado para medir la superposición de la señal
- 40 de microondas proporcionada por la fuente y la reflexión.
- [0040] La medida de la cantidad de reflexión puede comprender una VSWR para el rango de frecuencia, por ejemplo una VSWR máxima o media para el rango de frecuencia.
- [0041] El aparato puede comprender un medio de monitorización configurado para comparar la medida de la cantidad de reflexión y/o transmisión con un umbral.
- 45 [0042] El medio de control puede estar configurado para variar al menos una propiedad de la señal de microondas proporcionada por la fuente dependiendo de la comparación.
- [0043] El medio de control puede estar configurado para reducir o aumentar la potencia de la señal de microondas dependiendo de la comparación y/o para detener la aplicación de la señal de microondas a la carga dependiendo de la comparación.
- 50 [0044] La fuente de microondas puede comprender un generador de señales de microondas interno y un oscilador de frecuencia de barrido. El oscilador de frecuencia de barrido puede tener un ancho de banda de barrido superior o igual a $c/2L$.

- [0045]** La fuente de microondas puede comprender un oscilador de microondas externo, un amplificador para la amplificación de las señales procedentes del oscilador de microondas externo con el fin de proporcionar la señal de microondas y un medio para la aplicación de una señal de control al amplificador con el fin de controlar la señal de microondas.
- 5 **[0046]** El detector de microondas puede comprender al menos uno de:- un acoplador direccional y un circulador de microondas; un circuito detector de microondas de potencia inversa para medir la potencia reflejada devuelta hacia el generador desde la carga; un circuito de medición de potencia inversa.
- [0047]** El acoplador direccional y el circulador de microondas pueden tener un ancho de banda operativo de al menos $c/2L$. El circuito detector de microondas de potencia inversa puede comprender diodos detectores de microondas. El circuito de medición de potencia inversa puede estar configurado para muestrear y promediar la señal de voltaje dependiente de la frecuencia proporcionada por un diodo detector de microondas para reducir la influencia de la VSWR en la señal de potencia reflejada.
- 10 **[0048]** El medio de control puede estar configurado para proporcionar una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés) para controlar la potencia media suministrada. El medio de control puede estar configurado para proporcionar una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM) con una frecuencia de conmutación ON/OFF inferior a la de la frecuencia de barrido del generador de señales.
- 15 **[0049]** La fuente de microondas puede comprender un oscilador de frecuencia de barrido y un amplificador de microondas y el medio de control está configurado para dirigir el amplificador de microondas en una región lineal de su característica de rendimiento en funcionamiento;
- 20 **[0050]** Por consiguiente, se puede proporcionar una aumento de control con potencia de salida sustancialmente continua.
- [0051]** El generador de señales de microondas puede comprender un oscilador de frecuencia de barrido que tiene un sistema de modulación de barrido de frecuencia, por ejemplo espectro ensanchado o salto de frecuencia.
- 25 **[0052]** La fuente de microondas se puede conectar a una carga que comprende una sonda o aplicador, por ejemplo una sonda o aplicador para aplicar radiación de microondas a un tejido biológico.
- [0053]** El medio de control puede estar configurado para controlar la fuente en funcionamiento con el fin de proporcionar una señal de microondas para realizar una operación, por ejemplo una operación de ablación, en tejido biológico.
- 30 **[0054]** La carga puede estar conectada a al menos uno de un acoplador de microondas y un circulador de microondas.
- [0055]** El aparato puede comprender además un medio de almacenamiento para almacenar datos de calibración que relaciona los valores de medición con el valor de impedancia de carga, y el medio de control puede estar configurado para aplicar una corrección a las mediciones basándose en los datos de calibración.
- 35 **[0056]** Los valores de medición de los datos de calibración pueden comprender al menos uno de un nivel de señal transmitida, un nivel de señal reflejada y una relación entre la transmisión y la reflexión.
- [0057]** El medio de control puede estar configurado para controlar la fuente en funcionamiento con el fin de proporcionar la señal de microondas con una potencia en el rango 1 W-300 W.
- 40 **[0058]** También se proporciona un método de monitorización de reflexión de microondas, que comprende la provisión de una señal de microondas a una carga; la variación de la frecuencia de la señal de microondas en un rango de frecuencia; la realización de varias mediciones de microondas, cada una a una frecuencia respectiva de varias frecuencias diferentes del rango de frecuencia de la señal de microondas proporcionada por la fuente y cada una comprendiendo una reflexión y/o transmisión de la señal de microondas; y la determinación a partir de las diversas mediciones de una medida de reflexión y/o transmisión.
- 45 **[0059]** El método puede comprender además la provisión de una señal de microondas a la carga mediante una línea de transmisión, de manera que en funcionamiento se forma un voltaje de onda estacionaria en la línea de transmisión por la superposición de la señal de microondas proporcionada por la fuente y una reflexión de la señal de microondas, variando la amplitud del voltaje de onda estacionaria (VSW) entre un máximo y un mínimo con posición sobre la línea de transmisión en un ciclo VSW, y el rango de frecuencia puede ser tal que la variación de la frecuencia por el medio de control sobre el rango de frecuencia aplicada en funcionamiento provoca que el VSW en una localización de medición varíe en al menos un ciclo VSW.
- 50

- [0060]** La señal de microondas puede proporcionarse a la carga mediante la o una línea de transmisión que tiene una longitud L y el rango de frecuencia puede tener una anchura superior o igual a $c/2L$, en el que c es la velocidad de la luz.
- 5 **[0061]** El método puede comprender además la variación de la frecuencia de la señal de microondas barriendo la frecuencia en el rango de frecuencia.
- [0062]** El método puede comprender además la variación de la frecuencia de la señal de microondas en el rango de frecuencia aplicada controlando la señal para tener una secuencia de frecuencias diferentes.
- 10 **[0063]** La medida de la reflexión y/o transmisión obtenida para el rango de frecuencia aplicada puede ser representativa de una cantidad media o máxima de reflexión y/o transmisión obtenida para el rango de frecuencia.
- [0064]** El método puede comprender además la medición de la señal de microondas proporcionada por la fuente, la medición de una reflexión de la señal de microondas y la determinación de una relación de voltajes de onda estacionaria (VSWR) de la señal proporcionada medida y la reflexión medida. La medida de la cantidad de reflexión puede comprender una VSWR para el rango de frecuencia, por ejemplo una VSWR máxima o media para el rango de frecuencia.
- 15 **[0065]** El método puede comprender además la comparación de la medida de la cantidad de reflexión y/o transmisión con un umbral y la variación de al menos una propiedad de la señal de microondas proporcionada por la fuente dependiendo de la comparación.
- [0066]** El método puede comprender además la sustitución de la carga por varias cargas de referencia, teniendo cada carga de referencia una impedancia conocida, y la realización de mediciones de calibración para cada una de las cargas de referencia.
- 20 **[0067]** Las mediciones de calibración pueden comprender mediciones de al menos uno de un nivel de señal transmitida, un nivel de señal reflejada y una relación entre transmisión y reflexión.
- [0068]** El método puede comprender además la aplicación de una corrección a las mediciones de microondas basándose en las mediciones de calibración.
- 25 **[0069]** La carga se puede conectar a al menos uno de un acoplador de microondas y un circulador de microondas y la corrección puede ser de tal manera que compense las mediciones de microondas con el fin de linealizar una respuesta de factor de acoplamiento.
- [0070]** El método puede comprender además la reducción o el aumento de la potencia de la señal de microondas dependiendo de la comparación y/o la detención de la aplicación de la señal de microondas a la carga dependiendo de la comparación.
- 30 **[0071]** También se proporciona un producto de programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador ejecutables para llevar a cabo un método como se reivindica o se describe en el presente documento.
- [0072]** También se proporciona un aparato de microondas que comprende:- una fuente de microondas para la provisión de una señal de microondas, conectable a una carga, y configurada en funcionamiento para variar en un rango de frecuencia una frecuencia de la señal de microondas; un detector de microondas para la realización de mediciones de microondas, dispuesto para recibir reflexiones procedentes de la carga en funcionamiento y para la realización de varias mediciones, correspondiendo cada medición a una frecuencia respectiva de varias frecuencias diferentes del rango de frecuencia; y un dispositivo de procesamiento para la determinación a partir de las diversas mediciones de una medida de reflexión.
- 35 **[0073]** También se proporcionan un método y un aparato para medir la potencia de microondas reflejada suministrada a un generador de microondas utilizando una frecuencia de operación de barrido combinada con el promedio de la potencia reflejada para minimizar los efectos de la relación de voltajes de onda estacionaria en las mediciones de potencia reflejada.
- 40 **[0074]** También se proporciona un generador de potencia de frecuencia de microondas que comprende: un generador de señales de microondas interno con un oscilador de frecuencia de barrido que tiene un ancho de banda de barrido superior o igual a $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y/o un amplificador que tiene un ancho de banda operativo de al menos $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y/o un acoplador direccional y un circulador de microondas que tiene un ancho de banda operativo de al menos $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y un circuito detector de microondas de potencia inversa que utiliza diodos detectores de microondas para medir la potencia reflejada devuelta hacia el generador desde la carga; y/o un circuito de medición de potencia inversa para muestrear y promediar la señal de voltaje dependiente de la frecuencia proporcionada por un diodo detector de microondas para reducir la influencia de la VSWR en la señal de potencia reflejada.
- 50

- [0075]** El dispositivo puede tener una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM) para controlar la potencia media suministrada. El dispositivo puede tener una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM) con una frecuencia de conmutación ON/OFF inferior a la de la frecuencia de barrido del generador de señales.
- 5 **[0076]** El dispositivo puede ser facilitado por un oscilador de frecuencia de barrido interno de manera que el amplificador de microondas se dirige en la región lineal de su característica de rendimiento permitiendo un aumento de control con la potencia de salida continua.
- [0077]** El dispositivo puede tener un generador de señales de microondas que posee un oscilador de frecuencia de barrido que tiene un sistema de modulación de barrido de frecuencia tal como espectro ensanchado o salto de frecuencia.
- 10 **[0078]** También se proporciona un generador de potencia de frecuencia de microondas que comprende: un generador de señales de microondas interno con un oscilador de frecuencia variable que tiene un ancho de banda de barrido superior o igual a $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y/o un generador de señales de microondas externo con un oscilador de frecuencia variable que tiene un ancho de banda de barrido superior o igual a $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y un amplificador que tiene un ancho de banda operativo de al menos $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y un acoplador direccional que tiene un ancho de banda operativo de al menos $(C/2 \times \text{Longitud de cable})$; y un circuito detector de microondas de potencia inversa que utiliza diodos detectores de microondas para medir la potencia reflejada devuelta hacia el generador desde la carga; y un circuito de medición de potencia inversa para muestrear y promediar la señal de voltaje dependiente de la frecuencia proporcionada por un diodo detector de microondas con el fin de reducir la influencia de la VSWR en la señal de potencia reflejada.
- 15 **[0079]** El dispositivo puede tener una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM) para controlar la potencia media suministrada. El dispositivo puede tener una señal de salida modulada por ancho de pulsos (PWM) con una frecuencia de conmutación ON/OFF inferior a la de la frecuencia de barrido del generador de señales.
- 20 **[0080]** El dispositivo se puede conmutar entre un generador de señales de microondas interno o externo. El dispositivo puede ser facilitado por un oscilador de frecuencia de barrido de manera que el amplificador de microondas se dirige en la región lineal de su característica de rendimiento permitiendo un aumento de control con la potencia de salida continua. El dispositivo puede ser facilitado por un oscilador de frecuencia de barrido que tiene un sistema de modulación de barrido de frecuencia, por ejemplo espectro ensanchado o salto de frecuencia.
- 25 **[0081]** También se pueden proporcionar un método y un aparato para medir la potencia de microondas reflejada suministrada a un generador de microondas donde la impedancia de la carga afecta a la medición de la relación entre la potencia directa y la potencia reflejada.
- 30 **[0082]** La relación se puede medir para diversos estándares de referencia de impedancia de puerto, por ejemplo impedancias tales como -1,5 dB, -3 dB, -6 dB -12 db, -20 dB, un circuito eléctrico abierto, un cortocircuito eléctrico donde la relación se mide para la misma potencia en la entrada al acoplador direccional. Este rendimiento de relación frente a impedancia puede ser no lineal y se puede corregir utilizando un medio de control, que puede comprender un circuito de linealización o una tabla de consulta basada en un microprocesador para proporcionar un factor de acoplamiento que no dependa de la impedancia de salida.
- 35 **[0083]** La señal de relación medida se puede utilizar para determinar la impedancia de puerto de un dispositivo conector y con este conocimiento utilizarla para generar una señal que se pueda utilizar como un medio de control tal como un circuito de linealización o una tabla de consulta basada en un microprocesador para corregir una señal medida que de otra manera se vería influida por la impedancia de puerto proporcionando de esta manera una medición más precisa.
- 40 **[0084]** También se proporciona un método para la monitorización de una reflexión o transmisión de microondas, que comprende:- la provisión de una señal de microondas a una carga conectada a un acoplador de microondas y/o un circulador de microondas; la realización de varias mediciones de microondas, cada una a una impedancia respectiva de un rango de varias impedancias diferentes y comprendiendo cada una la transmisión y la reflexión de la señal de microondas; y la determinación a partir de las diversas mediciones de una medida de la relación entre la transmisión y la reflexión en relación con la impedancia de carga. El método puede comprender la utilización de la relación entre la transmisión y la reflexión frente a la relación de la impedancia de carga para compensar las mediciones tomadas utilizando un acoplador de microondas con el fin de linealizar la respuesta del factor de acoplamiento.
- 45 **[0085]** También se puede proporcionar un aparato o método sustancialmente como se describe en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos.
- 50 **[0085]** También se puede proporcionar un aparato o método sustancialmente como se describe en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos.
- 55

[0086] Cualquier característica en un aspecto de la invención puede aplicarse a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación adecuada. Por ejemplo, las características del aparato pueden aplicarse a las características del método y viceversa.

Descripción detallada de los modos de realización

5 **[0087]** A continuación se describen modos de realización de la invención, a modo de ejemplos no limitantes, y se ilustran en las siguientes figuras, en las que:-

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un modo de realización de un sistema de microondas;
 Las Figuras 2a y 2b son ilustraciones esquemáticas de una variación de la potencia de salida y la frecuencia aplicada con el tiempo, para onda continua y salidas de pulsos;
 10 La Figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de microondas de conformidad con un modo de realización alternativo.
 La Figura 4 es una ilustración esquemática de la variación de la potencia de salida y la frecuencia aplicada con el tiempo, para un sistema de modulación de salto de frecuencia.
 Las Figuras 5 a 12 son gráficos de pérdida de retorno como una función de la frecuencia aplicada para varias combinaciones de impedancia de entrada, impedancia de línea de transmisión e impedancia de terminación.
 La Figura 13 es un gráfico del ancho de banda de barrido de frecuencia mínimo requerido para capturar un ciclo VSWR completo, como una función de la longitud de cable;
 La Figura 14 es una ilustración esquemática de un modo de realización utilizado para realizar mediciones experimentales con el fin de ilustrar los efectos de la variación en la longitud de la línea de transmisión;
 20 La Figura 15 es un gráfico de la señal de microondas reflejada medida como una función de la variación de fase aplicada por el desfasador (correspondiente a una variación en la longitud de cable) para varias anchuras de barrido de frecuencia; y
 La Figura 16 es un gráfico del porcentaje de reducción medido en la ondulación de barrido comparado con una ondulación de CW, como una función del ancho de barrido;
 25 La Figura 17a es una ilustración esquemática de un modo de realización utilizado para realizar mediciones de potencia directa e inversa;
 La Figura 17b es una representación esquemática de un circulador de microondas estándar;
 La Figura 17c es una representación esquemática de un acoplador de microondas estándar;
 30 La Figura 18a es una ilustración esquemática de un modo de realización utilizado para linealizar el voltaje del detector frente a la potencia medida;
 La Figura 18b es una ilustración esquemática de un modo de realización utilizado para linealizar la potencia medida (de un acoplador) frente a la impedancia;
 La Figura 19a es un gráfico de la potencia reflejada medida de una fuente de 100 W, como una función de varias impedancias de puerto en comparación con la potencia reflejada medida teórica;
 35 La Figura 19b es un gráfico de la potencia reflejada medida de una fuente de 100 W corregida para la impedancia de puerto, como una función de varias impedancias de puerto;
 La Figura 19c es un gráfico de la potencia reflejada medida de una fuente de 100 W corregida para la impedancia de puerto, como una función de varias impedancias de puerto;
 40 La Figura 20 es un gráfico del factor de acoplamiento como una función de la relación de voltaje e incluye e ilustra la utilización de un factor de corrección lineal y polinomial para estabilizar el factor de acoplamiento para variaciones en la relación de voltaje;
 La Figura 21a es una ilustración esquemática de un modo de realización de un acoplador de microondas;
 La Figura 21b es una ilustración esquemática de una medición de potencia reflejada que se ve afectada por la señal de directividad en un acoplador de microondas y
 45 La Figura 22 es una representación funcional de un circuito análogo para la linealización, el ajuste de curvas o la calibración de una señal de detector medida.

[0088] En la Figura 1 se ilustra un modo de realización de un sistema generador de potencia de microondas para aplicaciones médicas.

50 **[0089]** El sistema comprende una fuente de microondas que comprende un oscilador 2 (en este caso, un M3500-2032 de Micronetics) operable para generar una señal alterna de alta frecuencia, normalmente a un nivel de potencia bajo (hasta +10 dBm) y un amplificador 4 (en este caso, un BBM3T6AMQ de Empower) conectado al oscilador 2 y operable para amplificar la señal del oscilador de potencia baja a un nivel de potencia más alto (por ejemplo 20-200 W) y con entradas o salidas coaxiales tanto SMA como de tipo N. Se puede utilizar cualquier oscilador adecuado, por ejemplo cualquier oscilador con resonador dieléctrico (DRO, por sus siglas en inglés) o cualquier oscilador de cristal (XO, por sus siglas en inglés) siempre y cuando posean el ancho de banda de frecuencia deseado.
 55

[0090] El amplificador 4 está conectado a un circulador de microondas 6 (en este caso un CS-2.500 de MECA), que permite el flujo de señales en una dirección y un acoplador de microondas (en este caso un 722N-30-3.100 de MECA) que proporciona una muestra de la señal en un puerto aislado (no mostrado).
 60

- 5 **[0091]** El acoplador de microondas y el circulador de microondas 6 es conectable a una línea de transmisión 8, en forma de cable coaxial de alta frecuencia (por ejemplo con una impedancia de 50Ω , en este caso SUCOFLEX 400 de Huber + Suhner) en el modo de realización ilustrado, con una longitud física (y longitud de fase eléctrica asociada), que está dispuesto para suministrar energía de alta potencia a una carga 10. La carga 10 puede, por ejemplo, ser un absorbente tal como una carga resistiva (en este caso, una terminación macho-N: CTN-250-1 de MECA) o un radiador de energía tal como una antena, una sonda o un aplicador (en este caso, un aplicador de microondas TE-18B Azwell) para utilizarse en la aplicación de radiación a un medio absorbente tal como un tejido o cualquier otro material.
- 10 **[0092]** En el modo de realización de la Figura 1, la carga 10 comprende una sonda para la aplicación de radiación de microondas a tejidos biológicos con el fin de realizar un procedimiento de ablación en el tejido biológico. Otras aplicaciones posibles incluyen la aplicación de energía a cualquier otro material para fines de calentamiento o secado tales como el secado de granos o pulpa de madera o cualquier otro material procesado con alto contenido de humedad. De manera similar, se puede aplicar energía de microondas a materiales como parte de técnicas de procesamiento químico o en procesos de sinterización cerámica.
- 15 **[0093]** El sistema también comprende un controlador 12, que es operable para controlar el funcionamiento del oscilador y/o el amplificador, para controlar, por lo tanto, una o más propiedades de la radiación de microondas generada por la fuente de microondas. El controlador 12 incluye circuitos de medición de potencia directa e inversa 14, 16 que comprenden dispositivos de diodos detectores (en este caso, un 33330C Option 003 de Agilent) que son operables para medir señales directas e inversas en el puerto del acoplador de microondas 6.
- 20 En funcionamiento los circuitos de medición de potencia directa e inversa proporcionan voltajes de salida dependientes de la potencia que se miden en tiempo real en un circuito comparador estándar o se muestrean y digitalizan (por ejemplo, la relación de muestreo podría ser de 20 -200 KHz) y se analizan por el controlador 12.
- 25 **[0094]** Aunque los detalles de cada uno del oscilador, el amplificador, el acoplador, el circulador, el cable y la carga utilizados en el modo de realización de la Figura 1 se proporcionan anteriormente, incluido el fabricante y los números de los modelos, se puede utilizar cualquier componente adecuado y los modos de realización no están limitados a los componentes particulares descritos en relación con la Figura 1.
- 30 **[0095]** En funcionamiento una señal de microondas de características de frecuencia y potencia deseadas se aplica a la carga 10 a través de la línea de transmisión 8, bajo control del controlador 12. Las características de frecuencia y potencia se seleccionan normalmente por el controlador con el fin de proporcionar la realización de una operación deseada en o por la carga. En el modo de realización de la Figura 1, las características de frecuencia y potencia se seleccionan para proporcionar un efecto de calentamiento deseado en una región de tejido biológico con el fin de realizar una operación de ablación en la región del tejido.
- 35 **[0096]** Durante la aplicación de la señal de microondas a la carga, el componente de la señal aplicada que se refleja desde la carga es medido por el circuito de medición de potencia inversa 14 y monitorizado por el controlador 12. La señal aplicada a través de la línea de transmisión es medida por el circuito de medición de potencia directa 16. El controlador 12 puede utilizar las señales aplicadas y las señales reflejadas medidas para determinar un valor para la VSWR, que proporciona una indicación de la adaptación de impedancias del generador a la carga. En modos de realización alternativos, la circuitería de medición mide una superposición de las señales aplicadas y las señales reflejadas en lugar de medir las señales aplicadas y las señales reflejadas por separado.
- 40 **[0097]** La variación en la VSWR determinada, por ejemplo por encima o por debajo de un umbral predeterminado, puede proporcionar una indicación de un fallo o puede proporcionar una indicación del progreso de una operación realizada en o por la carga (por ejemplo, el nivel de ablación de una región de tejido). En algunos casos, la variación en la VSWR puede indicar que el tejido u otro material en tratamiento, o un componente del aparato se está sobrecalentando y en ese caso el controlador 12 está configurado para detener la aplicación de la señal de microondas, o para reducir la potencia de la señal de microondas. De esta manera, la medición correcta del nivel de señal reflejada y/o de la VSWR es importante para el funcionamiento seguro del aparato.
- 45 **[0098]** Una característica del modo de realización de la Figura 1 es que el controlador 12 está configurado para controlar el funcionamiento de la fuente de microondas de manera que la frecuencia de la señal de microondas aplicada se varía durante la aplicación, y durante la monitorización de las señales aplicadas y reflejadas, de manera que las señales aplicadas y reflejadas se miden a varias frecuencias aplicadas.
- 50 **[0099]** Como se analiza con más detalle a continuación, una característica de los sistemas de microondas prácticos es que el voltaje medido en cualquier punto en la línea de transmisión es una superposición de las señales aplicadas y reflejadas (también denominadas las ondas directas y reflejadas) y que la amplitud de las señales aplicadas y reflejadas superpuestas varía con la posición en la trayectoria de transmisión, siguiendo una senoide de VSWR u otra forma de onda. La circuitería de medición de potencia inversa medirá solamente un único punto de la forma de onda de la VSWR y, como la senoide de VSWR varía con la distancia, los cambios en la longitud de la trayectoria harán que la medición de la potencia reflejada siga el perfil de la senoide de

VSWR. Este efecto podría provocar que el circuito de medición de la potencia inversa mida en cualquier parte desde un máximo de VSWR hasta un mínimo de VSWR para dos componentes desadaptados idénticos.

[0100] Sin embargo, variando la frecuencia de la señal aplicada mientras se monitorizan las señales aplicadas y reflejadas, la fase eléctrica se puede variar en el lugar de la medición, que puede tener el mismo efecto que la variación de la longitud de la línea de transmisión.

[0101] En el modo de realización de la Figura 1, el controlador 12 está configurado para variar la frecuencia aplicada de manera que la circuitería de medición muestree las señales aplicadas y reflejadas a través de un ciclo VSWR completo.

[0102] El controlador 12 es capaz de controlar el funcionamiento de la fuente de microondas dependiendo de una medida de la cantidad de radiación reflejada determinada a partir de las señales aplicadas y/o las señales reflectadas muestreadas.

[0103] En un modo de funcionamiento, el controlador 12 promedia las señales reflejadas obtenidas para cada barrido de frecuencia, o a través de barridos de frecuencia múltiple para obtener la medida de la radiación reflejada. En otro modo de funcionamiento, el controlador determina la relación entre las amplitudes de la señal reflejada y la señal transmitida en cada frecuencia muestreada y promedia la relación determinada entre la amplitud de la señal reflejada y la señal transmitida para cada barrido de frecuencia o a través de barridos de frecuencia múltiple, para obtener la medida de la radiación reflejada. En otro modo de funcionamiento, el controlador 12 calcula un valor para la VSWR utilizando mediciones muestreadas a través del rango de frecuencias y utiliza el valor calculado de la VSWR como la medida de la cantidad de radiación reflejada.

[0104] En el modo de realización descrito anteriormente en relación con la Figura 1, la radiación de microondas aplicada es radiación de onda continua (sujeta a interrupción por el controlador 12 si los niveles de potencia reflejada exceden los umbrales predeterminados). La variación de la potencia de salida y la frecuencia aplicada en el tiempo se ilustra de manera esquemática en la Figura 2a.

[0105] En un modo de realización alternativo, el aparato comprende una fuente de microondas de frecuencia de barrido que tiene control de modulación por ancho de pulsos de la potencia de salida saturada para proporcionar un control de potencia de salida variable. La variación de la potencia de salida y la frecuencia aplicada en el tiempo para ese modo de realización alternativo se ilustra de manera esquemática en la Figura 2b. En este modo de realización, el controlador 12 está configurado para barrer de manera continua la frecuencia aplicada entre dos frecuencias f_1 y f_2 mientras que la salida de potencia se cambia temporalmente (durante periodos sucesivos Ton & Toff) para que la señal aplicada se pulse a una frecuencia de repetición de pulsos (la frecuencia Ton/Toff) y proporcione un pseudonivel de potencia media. La frecuencia de barrido es la frecuencia con la que la frecuencia aplicada se varía entre f_1 y f_2 .

[0106] La frecuencia de barrido (fs) f_1 a f_2 es normalmente mayor que la frecuencia Ton/Toff de modulación por ancho de pulsos (PWM). Por ejemplo, en un modo de funcionamiento, una señal On/Off de PWM de 1 kHz tiene una frecuencia de barrido f_1 a f_2 de 10 kHz para ajustarse a las relaciones Off/On más altas requeridas para una potencia de salida baja. Se puede utilizar cualquier frecuencia de barrido adecuada y cualquier frecuencia de repetición de pulsos. Normalmente la frecuencia de barrido es significativamente mayor que la frecuencia de repetición de pulsos, en algunos casos 10 o más veces la frecuencia de repetición de pulsos.

[0107] En la Figura 3 se ilustra un modo de realización alternativo adicional y comprende un generador de señales externo 20 que está conectado al amplificador 4 para proporcionar una señal de entrada de frecuencia de microondas. El amplificador 4 amplifica la combinación de señales del generador de señales externo 20 y el generador de señales de frecuencia de barrido 2. En un modo de realización alternativo adicional, el generador de señales de frecuencia de barrido 2 se omite y el generador de señales externo es un generador de señales de frecuencia de barrido externo, por ejemplo un 2500A de Gigatronics, un HMC-T1000 de Hittite o un G6 de NovaSource.

[0108] En un modo de realización alternativo adicional, el amplificador de banda ancha 4 se dirige en la región lineal para proporcionar un aumento de control proporcionando una señal de salida continua de potencia variable a diferencia de la salida de PWM saturada. Eso permite que el amplificador de banda ancha aplique varios tipos de sistemas de modulación de señales distintos de los barridos de frecuencia a la señal de microondas aplicada (por ejemplo, espectro ensanchado o salto de frecuencia) por ejemplo, opcionalmente bajo el control del controlador 12.

[0109] Las combinaciones diferentes de las condiciones de funcionamiento del oscilador y el amplificador pueden ser especialmente adecuadas para proporcionar señales de microondas con características particulares. Por ejemplo, se puede utilizar un oscilador interno y un amplificador saturado para proporcionar una potencia de salida de PWM, se puede utilizar un oscilador interno y un amplificador lineal para proporcionar una potencia de salida variable continua que incluya sistemas de modulación, se puede utilizar un oscilador externo y un amplificador saturado para proporcionar una potencia de salida variable de PWM y se puede utilizar un oscilador

externo y un amplificador lineal para proporcionar una potencia de salida variable continua que incluya sistemas de modulación.

5 **[0110]** Un ejemplo de variación de potencia de salida y frecuencia aplicada en el tiempo para una parte de dicho sistema de modulación de señales se ilustra de manera esquemática en la Figura 4 (en el sistema de modulación completo se proporcionaría un número de frecuencias aplicadas diferentes mayor que el que se muestra en la Figura 4). En cada uno de los sistemas de modulación de señales, la frecuencia de la señal de microondas aplicada varía con el tiempo dentro de un rango de frecuencia predeterminado. Como ocurrió con el barrido de frecuencia, la utilización de dichos sistemas de modulación de señales pueden permitir el muestreo de las señales reflejadas para varias frecuencias de señales aplicadas, lo cual puede permitir una determinación de la potencia reflejada más precisa que las mediciones en una única frecuencia de señal aplicada.

10 **[0111]** Los ejemplos de algunas mediciones experimentales realizadas utilizando los barridos de frecuencia y el efecto de dichos barridos de frecuencia en la medición de la potencia reflejada se describen con más detalle a continuación. Antes de describir las mediciones experimentales, se proporcionan algunos antecedentes teóricos.

15 **[0112]** Primero se considera el caso de una impedancia del sistema Z_0 conectada a una impedancia de carga Z_L . A menos que la impedancia de carga esté perfectamente adaptada a la impedancia del sistema, una parte de cualquier señal aplicada será reflejada por la impedancia de carga (estando la parte representada por un coeficiente de reflexión, r) y una onda estacionaria formada por la superposición de señales aplicadas y reflejadas será generada con una relación de voltajes de onda estacionaria característica (VSWR). El valor de la VSWR se proporciona mediante la ecuación (1):-

20 (1)
$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

donde

25 (2)
$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|$$

[0113] La pérdida de retorno se proporciona mediante la siguiente ecuación:-

(3)
$$\text{Pérdida de retorno} = -20 * \log \left(\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)$$

30 **[0114]** Considerando ahora el caso en el que la impedancia de carga comprende una impedancia de terminación (B) conectada a la fuente mediante una impedancia característica (A), entonces dependiendo de si la impedancia de terminación es superior o inferior a la impedancia característica (en la mayoría de los casos 50 Ω o 75 Ω) se producirá una ondulación de la VSWR a lo largo de la banda de frecuencia. Se producirá una VSWR (V_1) debido a la desadaptación entre la fuente y la impedancia característica (con coeficiente de reflexión Γ_A) y se producirá una VSWR adicional (V_2) debido a la desadaptación entre la impedancia característica y la impedancia de terminación (con coeficiente de reflexión Γ_B).

[0115] Los "valores pico" máximos y mínimos de la ondulación de la VSWR se relacionan de la siguiente manera:-

(4)
$$\epsilon A = 20 * \log (1 \pm |\Gamma_A * \Gamma_B|) \text{ dB}$$

40 donde ϵA = error de amplitud de la VSWR

[0116] El MIN y el MAX resultantes para las amplitudes de la VSWR en cascada se proporcionan de la siguiente manera:

(5)
$$VSWR \text{ MAX} = V_L * V_S$$

(6)
$$VSWR \text{ MIN} = V_L / V_S$$

45 donde:-

V_L = la mayor de las dos VSWR (ya sea V_1 o V_2)

V_S = la menor de las dos VSWR (ya sea V_1 o V_2)

[0117] Se proporcionan una serie de gráficos en las Figuras 5 a 12, en los que la respuesta de la pérdida de retorno frente a la frecuencia simulada para los componentes de circuito ideales se representa para un cable estándar que tiene una pérdida de retorno mejor que -20dB (VSWR 1,22:1) conectada a una terminación de -9,54 dB (VSWR 2:1) para varias longitudes de cable, impedancias de cable y valores de impedancia de terminación, todo con respecto a una impedancia de entrada de 50 Ω. Utilizando la teoría anterior (con la incertidumbre de desadaptación y la pérdida de desadaptación omitidas):-

$$V_L = 2:1, V_S = 1,22$$

$$\text{VSWR MAX} = 2,44:1 = -7,5 \text{ dB (con respecto a } 50\Omega)$$

$$\text{VSWR MIN} = 1,63:1 = -12,4 \text{ dB (con respecto a } 50\Omega)$$

[0118] Para cada una de las Figuras 5 a 12, los gráficos proporcionados representan la pérdida de retorno como una función de la frecuencia aplicada. En cada caso, un marcador en el gráfico indica el valor de pérdida de retorno que se obtendría si se realizaran mediciones en una única frecuencia (en cada caso 2,45 GHz) y es indicativo del resultado que se obtendría midiendo una señal de CW en esa frecuencia. En cada figura, los valores de la impedancia de entrada, la longitud de cable, la impedancia de cable y la impedancia de terminación se indican en un diagrama de circuito esquemático al lado del gráfico.

[0119] El circuito de la Figura 5 representa una carga de 100 Ω conectada directamente a una fuente de 50 Ω. La línea de transmisión simulada tiene longitud cero y no introduce fase o impedancia entre la carga y la fuente. En este caso ideal la pérdida de retorno es constante a lo largo de la banda de frecuencia. Esto es similar a una medición perfectamente calibrada, es decir, la eliminación de los efectos de la línea de transmisión.

[0120] En las Figuras 6 y 7 se representan circuitos adicionales y las características de pérdida de retorno correspondientes, para las que la longitud de la línea de transmisión es igual a 1,5 m. Para cada circuito, la impedancia de terminación (50 Ω) se adapta a la impedancia de entrada (50 Ω) pero hay una desadaptación con la impedancia de la línea de transmisión.

[0121] En el circuito de la Figura 8 hay desadaptaciones en cascada, entre la impedancia de entrada (50 Ω), la línea de transmisión (45 Ω) y la impedancia de terminación (100 Ω). La ondulación de pérdida de retorno de microondas resultante frente a la frecuencia se puede observar en la Figura 8, que muestra la pérdida de retorno y la ondulación de la VSWR a lo largo de la banda de frecuencia.

[0122] Donde la desadaptación de la impedancia de la línea es superior a la impedancia característica, la ondulación de la VSWR estará por debajo del valor de desadaptación intrínseco y viceversa si la impedancia de la línea es inferior, por ejemplo 45 Ω/50 Ω o 55 Ω/50 Ω. Eso resulta evidente en la Figura 8 donde la impedancia de línea es inferior a 50 Ω, el valor de desadaptación intrínseco es -9,5 dB (VSWR=2:1) y la ondulación se eleva a -7,46 dB.

[0123] El caso en el que la impedancia de la línea es superior a 50 Ω se ilustra en la Figura 9, en este caso la ondulación se reduce a -12,167 dB, de nuevo la VSWR es 2:1, y la ondulación oscila por debajo del valor de desadaptación intrínseco de -9,5 dB.

[0124] Los dos ejemplos de las Figuras 8 y 9 resaltan el problema de la incertidumbre de medición en las mediciones de pérdida de retorno. En ambos casos, la impedancia de entrada (50 Ω) y la impedancia de terminación (100 Ω) son las mismas y se espera que produzcan la misma VSWR. Sin embargo, la variación en la impedancia de la línea de transmisión tiene un efecto significativo. Se puede observar que una medición de pérdida de retorno realizada en una única frecuencia de 2,45 GHz (tal como en funcionamiento de CW) produciría resultados muy diferentes en los dos casos.

[0125] En sistemas de microondas médicos y otros sistemas previamente conocidos, las mediciones de pérdida de retorno se realizan normalmente utilizando un circulador, un acoplador y un diodo detector y a menudo se considera que la medición de un valor de pérdida de retorno bajo (es decir, los valores cercanos a un nodo) representa un funcionamiento óptimo. Sin embargo, debe entenderse que el nodo es el resultado de la cancelación de señales directas y reflejadas en el punto de medición y no es indicativo de una adaptación óptima en otra parte.

[0126] Se ha comprobado que las variaciones en la longitud del cable u otra línea de transmisión provocan que la ondulación de la VSWR se mueva en la frecuencia, cambiando de esta manera el valor observado en el único punto de medición. Eso se ilustra modificando la longitud de la línea de transmisión en +/- 1 % como se ilustra en las Figuras 10 a 12. En cada una de las Figuras 10 a 12, los valores de la impedancia de entrada, la impedancia de la línea de transmisión y la impedancia de terminación son los mismos, pero la longitud de la línea de transmisión varía entre 1,5 m, 1,515 m y 1,53 m. Se puede observar que la señal medida en cualquier frecuencia particular (por ejemplo, una frecuencia fija de 2,45 GHz) en un único punto de medición varía entre un máximo y un mínimo para ese cambio de +/-1 %. Esto demuestra que los pequeños cambios en las propiedades físicas del cable pueden cambiar de manera significativa la medición de la pérdida de retorno.

[0127] La ondulación de la VSWR está también relacionada con la longitud de la trayectoria (fase eléctrica) y la velocidad de propagación de la señal. Esta relación es utilizada por las herramientas de análisis de fallos y verificación del funcionamiento de la distancia al fallo (DTF, por sus siglas en inglés) conocida, que utiliza una técnica de medición de reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR, por sus siglas en inglés) para calcular la distancia de una desadaptación de impedancia en una línea midiendo la diferencia de frecuencia entre los puntos correspondientes en la ondulación de la VSWR. Esta relación se puede resumir de la siguiente manera:-

$$(7) \quad \text{Longitud} = V_f \times (c / (2 \times F_s))$$

donde:-

Longitud= longitud física de la línea de transmisión.

V_f = velocidad de propagación a través de la línea como un % de velocidad de la luz.

c = velocidad de la luz en el vacío (metros por segundo).

F_s = barrido de frecuencia.

[0128] En distancias muy cortas la velocidad de propagación tiene una influencia limitada en la medición y como se conoce la longitud la ecuación anterior se puede aproximar y reorganizar para dar:-

$$(8) \quad F_s = (c / 2 \times \text{Longitud})$$

[0129] Con el fin de examinar la relación entre el barrido de frecuencia y la longitud de cable, el rendimiento de la VSWR de varias longitudes de cable se simuló a través de un número de frecuencias. El barrido de frecuencia requerido para capturar al menos un ciclo VSWR MAX-MIN completo se grabó junto con la media de la muestra completa. Los resultados se proporcionan en la Figura 13, en la que el ancho de banda de barrido de frecuencia mínimo requerido para capturar un ciclo de VSWR completo se representa como una función de la longitud de cable, para longitudes de cable entre 1 m y 3 m. Los resultados se representan por separado para las frecuencias aplicadas de 2,45 GHz, 5,8 GHz y 10 GHz.

[0130] Se ha comprobado que, como se ilustra en la Figura 13, normalmente se requiere un ancho de banda de muestra mínimo de c (la velocidad de la luz) dividido por el doble del cable u otra longitud de la línea de transmisión para proporcionar datos suficientes con el fin de cubrir un ciclo de VSWR min-max completo. Por ejemplo, en un modo de realización un cable de 1 m requeriría un barrido de frecuencia mínimo de 150 MHz.

[0131] En la mayoría de sistemas prácticos, la frecuencia de funcionamiento es fija (CW), sin embargo la adaptación de la impedancia (que cambia a medida que continúa el tratamiento) del aplicador (u otra carga) y la longitud del cable son variables y pueden depender de las tolerancias dimensionales de los lotes de componentes. La diferencia entre los niveles máximos y mínimos es una indicación de la incertidumbre de medición. Conforme disminuye la adaptación del aplicador, estos picos aumentan más con un desplazamiento resultante (relacionado con la pérdida de retorno real).

[0132] Como ejemplo, para la configuración del aplicador de cable ilustrada en la Figura 1, si funciona a una frecuencia fija, sin barrido o variación de la frecuencia de otro modo, una tolerancia del 2 % en la longitud del cable da lugar a una variación de la pérdida de retorno medida de -7,47 dB a -9,54 dB a 2,45 GHz debido al efecto de la VSWR. Como porcentaje, esto es un posible error de medición del 15 %, que es significativo, junto con la incertidumbre proporcionada por un cable con impedancia de la línea superior a 50 Ω, podría medirse una pérdida de retorno tan baja como -12,167 dB. Esto significa que un error del 2 % en la longitud de los cables coaxiales que poseen un rendimiento aceptable podría proporcionar una incertidumbre de medición total de aproximadamente el 30 % para el mismo aplicador. Variando o cambiando la frecuencia de otro modo como se describe anteriormente en relación con la Figura 1, dichos errores se pueden reducir significativamente o eliminar de manera sustancial.

[0133] Se realizaron mediciones adicionales utilizando la disposición ilustrada en la Figura 14. La disposición es similar a la del modo de realización de la Figura 1. Una fuente de microondas de frecuencia de barrido 30 se conectó a un amplificador de microondas de banda ancha 32 que se conectó a través de un acoplador direccional de 30 dB de banda ancha 34 a una línea de transmisión de longitud variable 35, que comprendía una longitud de 1,5 m estándar de cable de microondas coaxial de 50 Ω 11 y un desfasador de microondas 36 (fase eléctrica de 0-360 grados) conectado a una terminación de carga 37 con una pérdida de retorno de -12 dB y una VSWR de 1,67:1, similar a la de un aplicador médico. Se proporcionó un controlador 38 e incluía un detector de potencia que comprendía circuitos de medición de potencia directa e inversa (no mostrados) que comprendían dispositivos de diodos detectores operables para medir las señales directas e inversas del acoplador 34.

[0134] El desfasador 36 se utilizó para estimular el efecto de varias longitudes eléctricas de cables. El desfasador 36 se sometió a un ciclo gradualmente a través de 360 grados (para estimular el efecto de la variación de la longitud del cable) para varias frecuencias de salida mientras que el voltaje en el detector de potencia se registró utilizando un voltímetro digital estándar (Fluke 179). Inicialmente se utilizó una señal de onda continua (CW) a 2,45 GHz para demostrar el rendimiento que se podría esperar a falta de barrido de frecuencia u

otra variación. A esto le siguió la aplicación de una señal de frecuencia variable centrada alrededor de 2,45 GHz con una extensión de barrido 2,425 GHz - 2,475 GHz aumentada gradualmente a 2,35 GHz - 2,55 GHz (por consiguiente, con un ancho de barrido de frecuencia que varía de 50 MHz a 200 MHz).

5 **[0135]** La señal de microondas reflejada medida se representa como una función de la variación de fase aplicada por el desfasador (correspondiente a una variación en la longitud de cable) para varios anchos de barrido de frecuencia en la Figura 15. Se puede observar que el tamaño de la ondulación de barrido se reduce de manera significativa para las mediciones de frecuencia de barrido en comparación con las mediciones de CW.

10 **[0136]** El porcentaje de reducción medido en la ondulación de barrido en comparación con la ondulación de CW se muestra en la Figura 16. De nuevo resulta evidente que el aumento del ancho de banda de barrido puede producir un porcentaje de reducción significativo en la ondulación.

15 **[0137]** Se puede observar a partir de las Figuras 15 y 16, por ejemplo, que se puede obtener una mejora significativa en la precisión de la medición barriendo o variando de otro modo la frecuencia de la radiación aplicada mientras se monitoriza la radiación reflejada. La desviación de la ondulación medida frente a la fase se reduce a medida que se aumenta el ancho de banda de barrido. Esto representa una medición más real de la potencia suministrada que la obtenida para las mediciones de CW y es similar a la calibración media o parcial del efecto de la fase de cable.

[0138] En la Figura 17a se ilustra un modo de realización adicional del sistema de potencia de microondas, que muestra componentes de los circuitos de medición de potencia directa y reflejada con más detalle.

20 **[0139]** El sistema incluye una fuente de microondas 39 y un controlador asociado 40 conectado a un puerto de entrada 42. La fuente 39 es operable para aplicar señales de microondas al puerto de entrada y para barrer o variar de otro modo la frecuencia de las señales de microondas como ya se ha descrito. El controlador 40, que comprende por ejemplo una circuitería de control analógico o circuitería de control digital o un microprocesador dedicado o un ordenador acoplado y programado de manera adecuada, es operable para controlar el funcionamiento de la fuente de microondas, por ejemplo para controlar los niveles de potencia y frecuencia de las señales de microondas proporcionadas por la fuente 39. El controlador 40 está también conectado a otros componentes del sistema, incluyendo los detectores 45, 47 descritos a continuación y es operable para procesar, almacenar y aplicar correcciones a las mediciones de esos otros componentes si se desea.

30 **[0140]** El puerto de entrada 42 está conectado a un acoplador 44 que está conectado a su vez a un detector 45 y a un circulador 41. El circulador 41 está conectado a una carga 43, por ejemplo un aplicador de microondas, y a componentes de medición de potencia reflejada. Los componentes de medición de potencia reflejada comprenden un acoplador 46 que está conectado a un detector 47 y a una terminación de potencia reflejada 48. Se puede utilizar cualquier dispositivo adecuado como los componentes diferentes, por ejemplo para los diversos componentes se puede utilizar el mismo dispositivo o dispositivos similares (por ejemplo el mismo fabricante y números de modelo) como se describe en relación con los modos de realización de las Figuras 1 y 3.

35 **[0141]** En el modo de realización de la Figura 17a, además de la variación de la frecuencia de la señal de microondas durante el funcionamiento, se utiliza también una calibración según la cual se mide de antemano el rendimiento del sistema cuando se conecta a varias impedancias estándar diferentes. Los datos de calibración se utilizan entonces en la corrección de las mediciones como se describe con más detalle a continuación.

40 **[0142]** En funcionamiento, la potencia incidente entra en el circuito en el puerto de entrada 42 y es muestreada por el acoplador 44 conectado al detector 45, que traduce la potencia muestreada a una señal de voltaje. La señal medida por el detector 45 representa la potencia directa (o potencia incidente).

[0143] El acoplador 44 transmite la potencia al circulador de microondas de tres puertos 41 que transmite la potencia en una dirección a la carga 43. La carga 43 puede ser un aplicador o antena, por ejemplo para aplicaciones médicas.

45 **[0144]** Como la impedancia de carga puede diferir de la impedancia del sistema de 50 Ω , se produce una desadaptación de impedancia provocando que una parte de la potencia se refleje de nuevo hacia el circulador 41. El circulador transmite esta potencia reflejada hacia la terminación de potencia reflejada 48 que absorbe la potencia reflejada. La potencia reflejada es muestreada por el acoplador 46 conectado al detector 47 que traduce la potencia muestreada a una señal de voltaje. La señal medida por el detector 47 representa la potencia reflejada (o potencia inversa/de retorno). En esta disposición se puede medir una relación entre la potencia directa e inversa que corresponde a la impedancia de la carga 43.

50 **[0145]** El circulador de microondas 41 tiene tres puertos, como se ilustra en la Figura 17b. Normalmente, la potencia se transfiere desde el primer puerto 49 hasta el segundo puerto 50 y la potencia reflejada se devuelve desde el segundo puerto 50 hasta el tercer puerto 51 siguiendo la dirección de circulación. El circulador posee un nivel de aislamiento entre los puertos (que está relacionado con la terminación de puerto) y esto puede causar que una pequeña señal de fuga 52 pase en contra de la dirección de circulación entre los puertos adyacentes.

Idealmente, un circulador de microondas debe ver una impedancia de 50Ω en cada puerto para lograr un rendimiento óptimo. Sin embargo, en las aplicaciones médicas la impedancia de puerto puede diferir de 50Ω de manera significativa dando lugar a cambios en el rendimiento del circulador que pueden incluir cambios en el aislamiento, cambios en la adaptación de entrada y cambios en la pérdida de inserción.

5 **[0146]** El acoplador direccional de microondas 46 es un dispositivo con cuatro puertos como se ilustra en la Figura 17c. Normalmente, los acopladores direccionales se utilizan para separar las señales basadas en la dirección de flujo, que es desde la entrada 53 hasta la salida 54. El acoplador 46 tiene dos puertos acoplados, el primero es la salida acoplada 56 y el segundo es el puerto terminado 55 (conocido como el puerto aislado) que absorbe la señal reflejada desde el puerto de salida. El acoplador direccional 46 divide una señal en dos
10 componentes estando la salida acoplada 56 atenuada para fines de muestreo, siendo este nivel de atenuación el factor de acoplamiento. Sin embargo, como los acopladores no son ideales, también dejan que parte de la señal fluya en la dirección inversa. La diferencia entre la salida de potencia en el puerto acoplado 56 con potencia directa comparada con la potencia inversa se denomina directividad.

15 **[0147]** Idealmente, un acoplador debe ver una impedancia de 50Ω en cada puerto para lograr un rendimiento óptimo, sin embargo en las aplicaciones médicas la impedancia de puerto de salida puede diferir de 50Ω de manera significativa dando lugar a cambios en el rendimiento del acoplador que pueden incluir cambios en el factor de acoplamiento, cambios en la adaptación, cambios en la pérdida de inserción y cambios en la directividad. Otra configuración del acoplador es el acoplador direccional dual que se utiliza para mediciones de potencia directa e inversa simultáneas en línea. Esto es esencialmente lo mismo que tener dos acopladores
20 acoplados en serie y estar integrados en un único dispositivo con cuatro puertos y dos terminaciones aisladas internas. El funcionamiento es como se describe anteriormente.

25 **[0148]** Los detectores 45 y 47 poseen un rendimiento del voltaje en relación con la potencia no lineal que se puede linealizar utilizando un circuito de ajuste de curvas o una tabla de consulta basada en un microprocesador para corregir el valor como se ilustra en la Figura 18a. En este modo de realización, el desplazamiento y la ganancia de un circuito analógico se comparan con una referencia de potencia medida para corregir el voltaje medido como parte de una calibración.

30 **[0149]** La señal acoplada que acciona el detector se ve afectada por la impedancia de carga presentada al sistema. La relación de la impedancia frente a la señal acoplada (o potencia medida) se ve influida por la red entera de componentes sensibles a la impedancia que incluyen los acopladores y el circulador y esta relación es normalmente no lineal. Se ha comprobado que puede ser importante corregir la impedancia frente al rendimiento acoplado con el fin de medir la potencia correcta para varias impedancias.

35 **[0150]** En el modo de realización de la Figura 17a, varias impedancias conocidas se conectan en lugar de la carga 73 durante un procedimiento de calibración inicial y se realizan mediciones (por ejemplo, mediciones de voltajes del detector directos y reflejados) para cada una de las impedancias conocidas en diferentes frecuencias y/o niveles de potencia de señal de entrada de microondas. Las impedancias conocidas pueden ser varios estándares de referencia de impedancia de puerto, por ejemplo impedancias de $-1,5 \text{ dB}$, -3 dB , -6 dB , -12 dB , -20 dB , un circuito abierto eléctrico y un cortocircuito eléctrico.

40 **[0151]** El rendimiento puede ser linealizado por el controlador 40 utilizando un circuito de ajuste de curvas o una tabla de consulta basada en un microprocesador para corregir el valor como se ilustra en la Figura 18b. En este modo de realización, el desplazamiento y la ganancia de un circuito analógico (Figura 22) se comparan con referencias de impedancia medida para un nivel de potencia establecido con el fin de corregir la señal medida como parte de una calibración.

45 **[0152]** El controlador 40 puede utilizar las señales de potencia directa y reflejada medidas para generar una señal que sea proporcional a la impedancia. Esta señal relacionada con la impedancia se puede utilizar entonces para corregir el voltaje del detector medido para las variaciones en la impedancia de puerto de salida con el fin de asegurar que la precisión de la medición no disminuye en caso de que la impedancia de puerto varíe.

50 **[0153]** Sin esta corrección para la impedancia una medición de potencia calibrada utilizando una desadaptación de impedancia específica medirá solamente la potencia correcta en ese mismo punto de impedancia único, como se ilustra de manera esquemática en la Figura 19a. En la Figura 19a se puede observar que la potencia medida 58 coincide con la potencia medida teórica 57 en un punto de impedancia 59 y difiere en otra parte debido a la influencia de la impedancia en la medición.

[0154] Con la medición corregida para la desadaptación de impedancia como se ilustra en la Figura 19b, la potencia medida corregida 60 coincide con la teoría 57 en todos los valores de impedancia.

55 **[0155]** En la Figura 20 se proporciona un ejemplo de una corrección. En la Figura 20, se demuestra que el valor del factor de acoplamiento 61 de un acoplador de microondas varía con el aumento de la relación entre la potencia directa e inversa. Se introduce un factor de corrección polinomial 62 para corregir el valor acoplado que da lugar al factor de acoplamiento linealizado (compensado) 63 que sigue la relación entre la potencia directa e

inversa. También se podría utilizar un factor de corrección lineal 64 como un medio de corrección aproximado. El factor de corrección puede ser generado por el controlador 40 asociado con la fuente de microondas 39 utilizando un circuito analógico de ajuste de curvas como se ilustra en la Figura 22 o una tabla de consulta basada en un microprocesador (no se muestra).

5 **[0156]** En la Figura 21a se ilustra un acoplador direccional típico. En este esquema se devuelve una señal de potencia reflejada 68 desde el puerto de salida 66 para una desadaptación de impedancia fija. También existe una señal de fuga 67 como resultado de la directividad y combina con la señal de potencia reflejada en el puerto acoplado 69. Puesto que la medición es sensible a la fase/frecuencia, la señal de directividad 71 añadirá y cancelará la señal reflejada 70 provocando variaciones en la señal observada 72, lo que produce una ondulación
10 en la medición 73. Esta ondulación es el resultado de una VSWR que tiene lugar en el puerto acoplado 69. El valor entre crestas de la ondulación depende de la desadaptación de impedancia, la directividad, el factor de acoplamiento, la pérdida de inserción y otros parámetros del sistema típicos para el dispositivo. Cuando se lleva a cabo esta medición en una única frecuencia (CW), se aplica la incertidumbre; no se puede determinar si la medición está en el mínimo, en el máximo o en algún punto intermedio. Barriendo la frecuencia a lo largo de un
15 rango que es equivalente a 360 grados de fase, se puede determinar un valor medio para la potencia reflejada 74 que recupera la medición real de la potencia reflejada 75. Se puede lograr un efecto similar para un circulador de microondas puesto que la fuga de puerto a puerto actúa de la misma manera que la señal de fuga de directividad.

[0157] En la Figura 22 se ilustra un modo de realización de un circuito analógico para la linealización (ajuste de curvas) o la calibración de una señal de detector medida (ya sea directa o reflejada). En este esquema funcional, una señal de potencia medida P(IN) de un detector 45 o 47 entra en el circuito en una etapa de ganancia inicial 76, se amplifica y se distribuye entonces a dos circuitos. Un circuito proporciona un ajuste de la curva de exponencial a lineal 77, 78 y el otro proporciona un ajuste de la curva de lineal a lineal 79, 80. Los ajustes de calibración afectan a la ganancia 77, 79 y a la inclinación 80 o el exponente 78 (desplazamiento) de las
25 características del circuito para linealizar la señal de salida. El circuito cuadrado lineal corrige una medición de potencia lineal basada en PWM (tomar de un único punto en la característica de potencia de diodo) 82 y el circuito exponencial corrige una medición de CW (continua) 81 que sigue las características de la curva del diodo detector para potencia. Cualquiera de estos circuitos puede seleccionarse por un interruptor 83 que proporciona la medición de potencia linealizada al sistema de control dependiendo del modo de funcionamiento (PWM interna o con el amplificador 4 externamente accionado en un modo de amplificador de CW).
30

[0158] Puesto que los acopladores y los circuladores son ambos dispositivos sensibles a la fase y la impedancia, las desadaptaciones de impedancia junto con la variación de fase en los sistemas de frecuencia fija (CW) pueden dar lugar a incertidumbres de medición muy significativas. La utilización de fuentes de frecuencia de barrido puede eliminar estas incertidumbres cuando se utiliza un acoplador y circuladores en los circuitos de medición de potencia. Se ha descrito la medición de señales reflejadas y la determinación de una medida de reflexión. Se entenderá que los modos de realización descritos también se pueden utilizar para determinar una medición de la transmisión o una relación entre la transmisión y la reflexión.
35

[0159] Se entenderá que la presente invención se ha descrito anteriormente meramente a modo de ejemplo y se pueden realizar modificaciones de detalles dentro del alcance de la invención.

40 **[0160]** Cada característica descrita en la descripción y (cuando proceda) las reivindicaciones y los dibujos se pueden proporcionar de manera independiente o en cualquier combinación apropiada.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de microondas que comprende:-

una fuente de microondas (2, 4) para proporcionar una señal de microondas, conectable a una carga (10);
 un medio de control (12) configurado en funcionamiento para seleccionar características de potencia y frecuencia
 5 de la señal de microondas con el fin de realizar una operación deseada en o por la carga, en el que las características de frecuencia seleccionada para realizar la operación deseada comprenden la variación en un rango de frecuencia de una frecuencia de la señal de microondas proporcionada por la fuente durante la realización de la operación deseada;

un detector de microondas (14, 16) para la realización de mediciones de microondas, dispuesto para recibir reflexiones procedentes de y/o transmisiones hacia la carga en funcionamiento y configurado para realizar varias mediciones durante la operación deseada, correspondiendo cada medición a una frecuencia respectiva de varias frecuencias diferentes del rango de frecuencia; y

un medio para determinar (12) a partir de las diversas mediciones una medida de reflexión y/o una medida de transmisión, en el que el medio de determinación está configurado para procesar las diversas mediciones juntas con el fin de obtener la medida de reflexión y/o la medida de transmisión para el rango de frecuencia.

2. Aparato de conformidad con la Reivindicación 1, en el que la fuente de microondas (2, 4) se puede conectar a la carga (10) mediante una línea de transmisión (8) de manera que en funcionamiento se forma un voltaje de onda estacionaria en la línea de transmisión (8) por la superposición de la señal de microondas proporcionada por la fuente (2, 4) y una reflexión de la señal de microondas, variando la amplitud del voltaje de onda estacionaria (VSW) entre un máximo y un mínimo con posición sobre la línea de transmisión (8) en un ciclo VSW, y el rango de frecuencia es tal que la variación de la frecuencia por el medio de control (12) sobre el rango de frecuencia aplicada en funcionamiento provoca que el VSW varíe en al menos un ciclo VSW en una localización del detector de microondas (14, 16).

3. Aparato de conformidad con la Reivindicación 1 o 2, en el que la fuente de microondas (2, 4) se puede conectar a la carga (10) mediante una línea de transmisión (8) que tiene una longitud L y el rango de frecuencia tiene una anchura superior o igual a $c/2L$, en el que c es la velocidad de la luz.

4. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que el rango de frecuencia tiene una anchura superior o igual a 50 MHz, opcionalmente superior o igual a 200 MHz, opcionalmente superior o igual a 500 MHz.

5. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que al menos uno de:-

a) el medio de control (12) está configurado para variar la frecuencia de la señal de microondas barriendo la frecuencia en el rango de frecuencia;

b) el medio de control (12) está configurado para variar la frecuencia de la señal de microondas en el rango de frecuencia aplicada controlando la señal para tener una secuencia de frecuencias diferentes;

el medio de control (12) está configurado para variar de manera repetida la frecuencia en el rango de frecuencia.

6. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que la señal de microondas comprende una señal pulsante y el medio de control (12) está configurado para variar la frecuencia durante cada pulso, y opcionalmente:-

el medio de control (12) está configurado para variar la frecuencia de la señal de microondas en el rango de frecuencia aplicada en un ciclo de repetición y la duración de cada ciclo es inferior a la duración de cada pulso, y opcionalmente además:-

la duración de cada ciclo es inferior o igual a una décima parte de la duración de cada pulso.

7. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que la medida de reflexión obtenida para el rango de frecuencia aplicada es representativa de una cantidad media o máxima de reflexión obtenida para el rango de frecuencia y/o la medida de transmisión para el rango de frecuencia aplicada es representativa de una cantidad media o máxima de transmisión obtenida para el rango de frecuencia.

8. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que al menos uno de:-

a) el detector de microondas (14, 16) está configurado para medir la señal de microondas proporcionada por la fuente (2, 4) y una reflexión de la señal de microondas y para determinar una relación de voltajes de onda estacionaria (VSWR) de la señal proporcionada medida y la reflexión medida;

b) la medida de la cantidad de reflexión comprende una VSWR para el rango de frecuencia, por ejemplo una VSWR máxima o media para el rango de frecuencia.

9. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, que comprende además un medio de monitorización (12) configurado para comparar la medida de la cantidad de reflexión y/o transmisión con un umbral.

10. Aparato de conformidad con la Reivindicación 9, en el que el medio de control (12) está configurado para variar al menos una propiedad de la señal de microondas proporcionada por la fuente dependiendo de la comparación, y
opcionalmente:-

5 el medio de control (12) está configurado para reducir o aumentar la potencia de la señal de microondas dependiendo de la comparación y/o para detener la aplicación de la señal de microondas a la carga (10) dependiendo de la comparación.

11. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que:-

10 la fuente de microondas (2, 4) comprende un oscilador de frecuencia de barrido (2) y un amplificador de microondas (4) y el medio de control (12) está configurado para dirigir el amplificador de microondas (4) en una región lineal de su característica de rendimiento en funcionamiento; o

15 la fuente de microondas (2, 4) comprende un oscilador de microondas externo (2), un amplificador (4) para la ampliación de las señales procedentes del oscilador de microondas externo (2) con el fin de proporcionar la señal de microondas, y un medio para la aplicación de una señal de control al amplificador (4) con el fin de controlar la señal de microondas.

12. Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, en el que al menos uno de:-

20 a) la fuente de microondas (2, 4) se puede conectar a una carga (10) que comprende una sonda o aplicador, por ejemplo una sonda o aplicador para aplicar radiación de microondas a un tejido biológico;
b) el medio de control (12) está configurado para controlar la fuente (2, 4) en funcionamiento con el fin de proporcionar una señal de microondas para realizar una operación, por ejemplo una operación de ablación, en tejido biológico;
c) la carga (10) está conectada a al menos uno de un acoplador de microondas y un circulador de microondas (6).

25 **13.** Aparato de conformidad con cualquier reivindicación anterior, que comprende además un medio de almacenamiento para almacenar datos de calibración que relacionan los valores de medición con el valor de impedancia de carga, en el que el medio de control (12) está configurado para aplicar una corrección a las mediciones basándose en los datos de calibración, en el que
opcionalmente:-

30 los valores de medición de los datos de calibración comprenden al menos uno de un nivel de señal transmitida, un nivel de señal reflejada y una relación entre transmisión y reflexión.

14. Un producto de programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador ejecutables para llevar a cabo un método de monitorización de transmisión y/o reflexión de microondas, comprendiendo el método:-

35 la selección de las características de potencia y frecuencia de una señal de microondas para realizar una operación deseada en o por una carga (10), en el que las características de frecuencia seleccionadas para realizar la operación deseada comprenden la variación en un rango de frecuencia de una frecuencia de la señal de microondas durante la realización de la operación deseada

40 la provisión de la señal de microondas a una carga (10);
la variación de la frecuencia de la señal de microondas en el rango de frecuencia durante la realización de la operación deseada;

la realización de varias mediciones de microondas durante la operación deseada, cada una a una frecuencia respectiva de varias frecuencias diferentes del rango de frecuencia y cada una comprendiendo una reflexión y/o transmisión de la señal de microondas; y

45 la determinación a partir de las diversas mediciones de una medida de reflexión y/o transmisión mediante el procesamiento de las diversas mediciones juntas con el fin de obtener la medida de reflexión y/o la medida de transmisión para el rango de frecuencia.

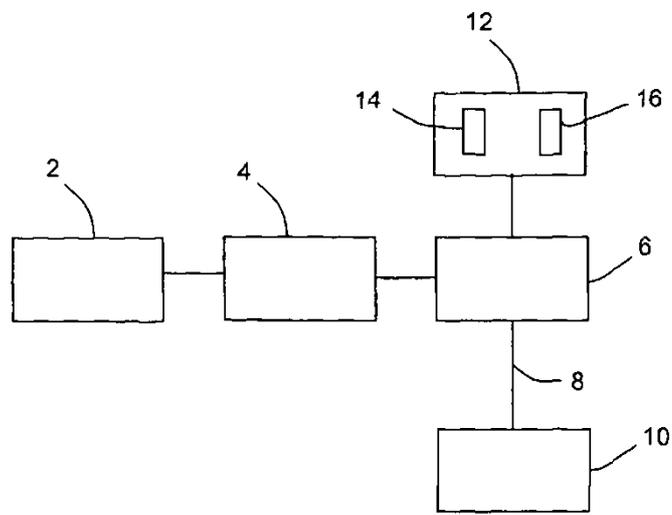


Fig.1

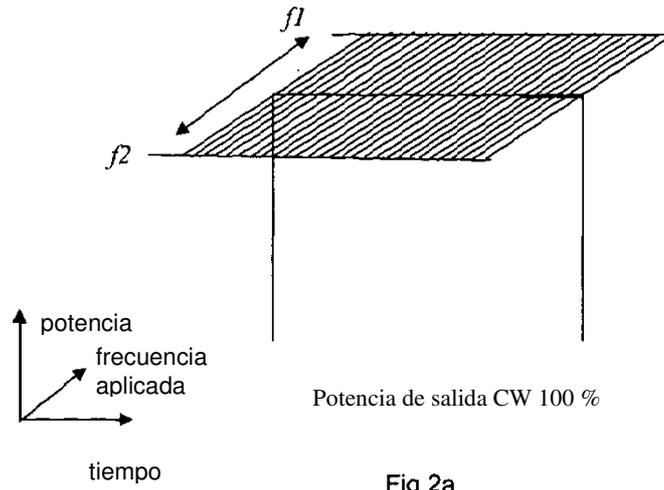
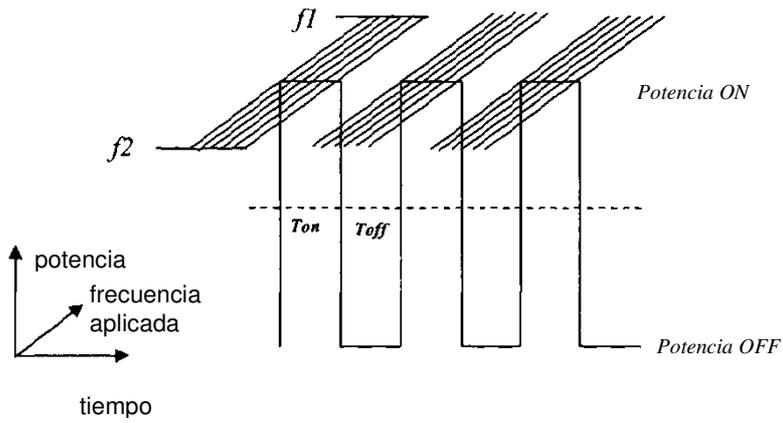


Fig.2a



Ejemplo de potencia de salida PWM (media) 50 %

Fig.2b

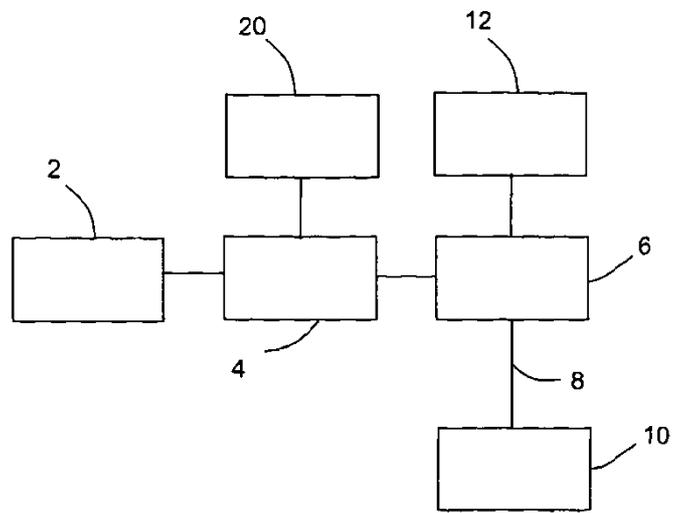


Fig.3

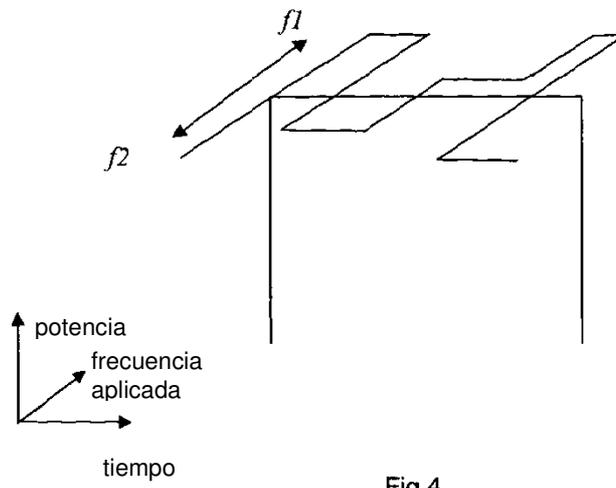


Fig.4

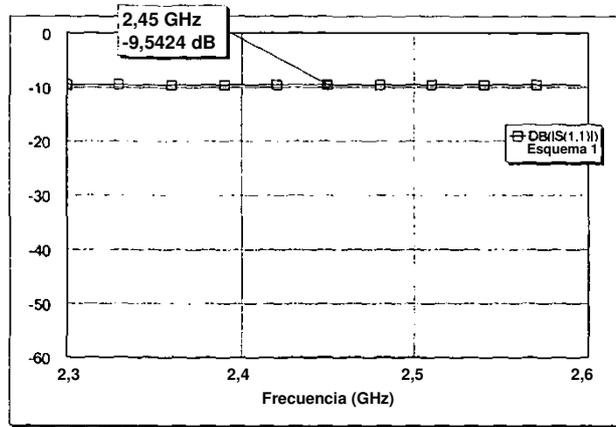


Fig.5a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=0 \text{ mm}$

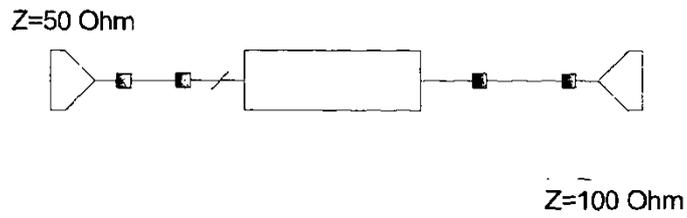


Fig.5b

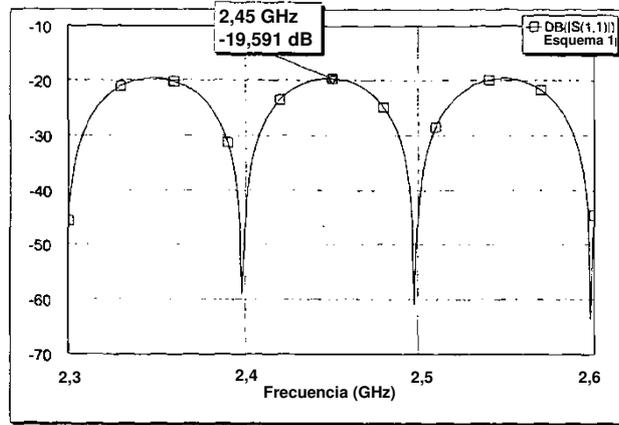


Fig.6a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=1500 \text{ mm}$

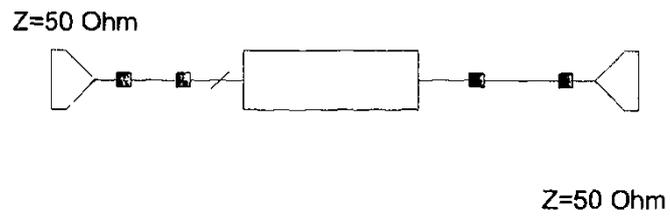


Fig.6b

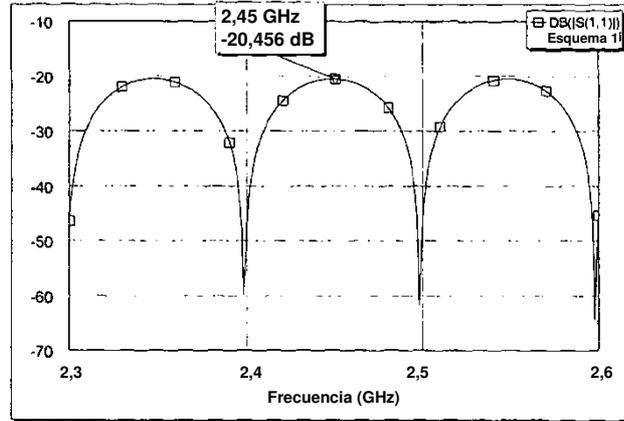


Fig.7a

$Z_0=55 \text{ Ohm}$
 $L=1500 \text{ mm}$

$Z=50 \text{ Ohm}$



$Z=50 \text{ Ohm}$

Fig.7b

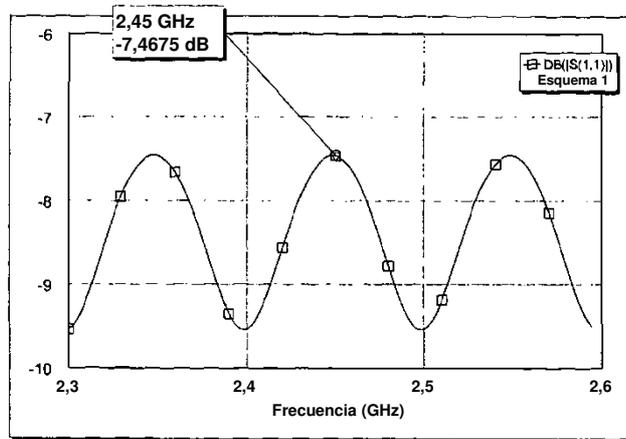


Fig.8a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=1500 \text{ mm}$

$Z=50 \text{ Ohm}$



$Z=100 \text{ Ohm}$

Fig.8b

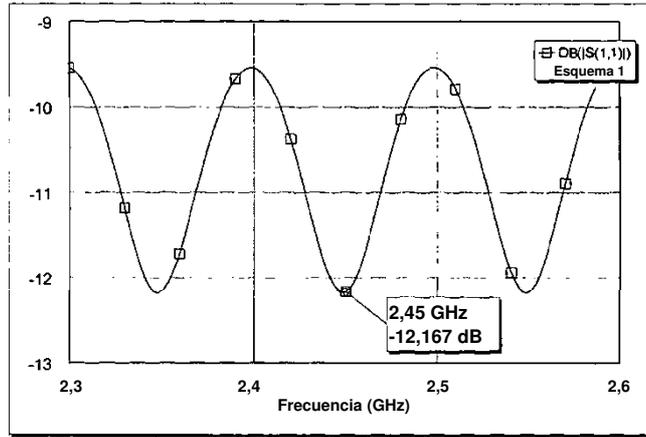


Fig.9a

$Z_0=55 \text{ Ohm}$
 $L=1500 \text{ mm}$

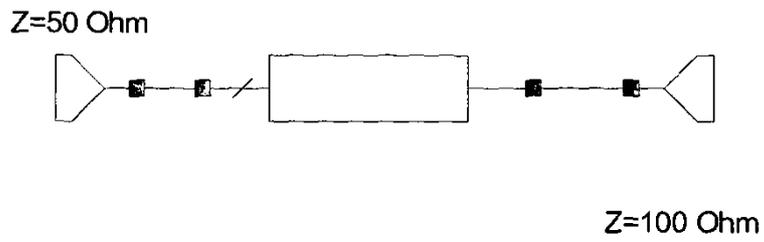


Fig.9b

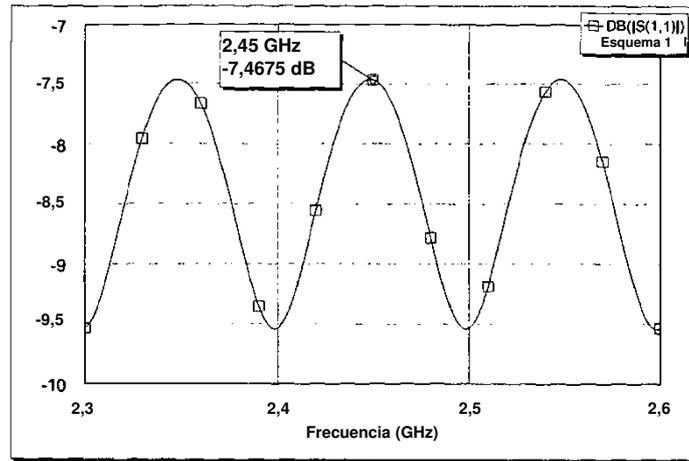


Fig.10a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=1500 \text{ mm}$

$Z=50 \text{ Ohm}$



$Z=100 \text{ Ohm}$

Fig.10b

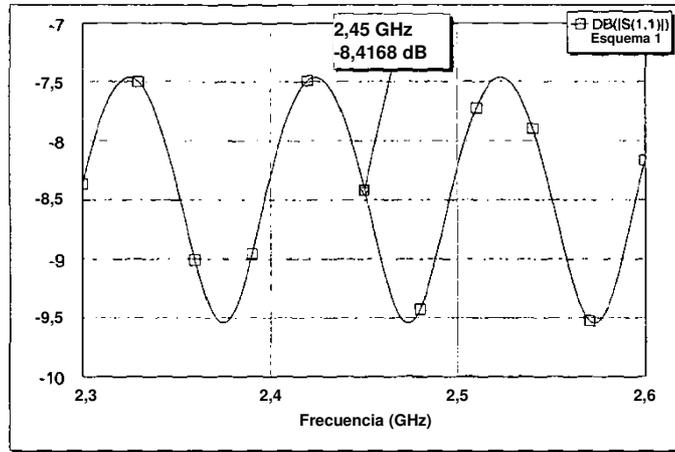


Fig.11a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=1515 \text{ mm}$

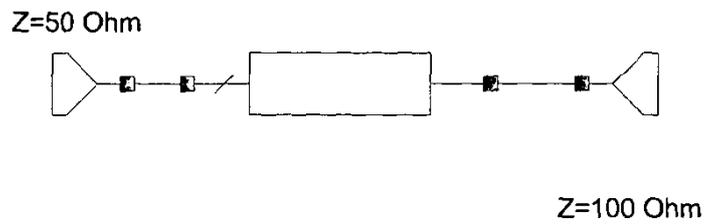


Fig.11b

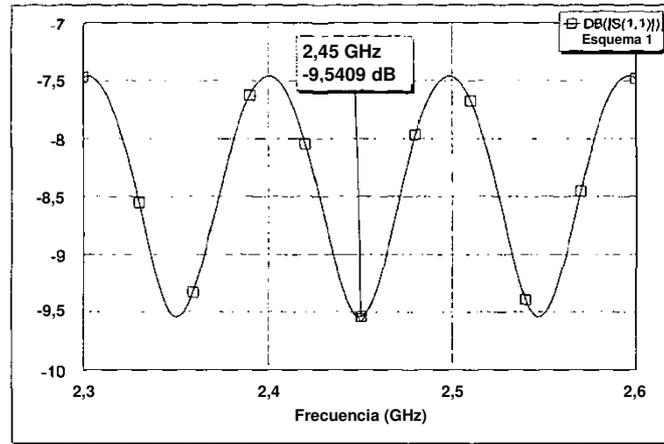


Fig.12a

$Z_0=45 \text{ Ohm}$
 $L=1530 \text{ mm}$

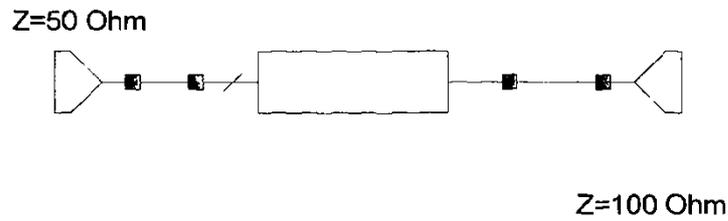


Fig.12b

Ancho de banda barrido VSWR frente a longitud cable (2,45 GHz a 10 GHz)

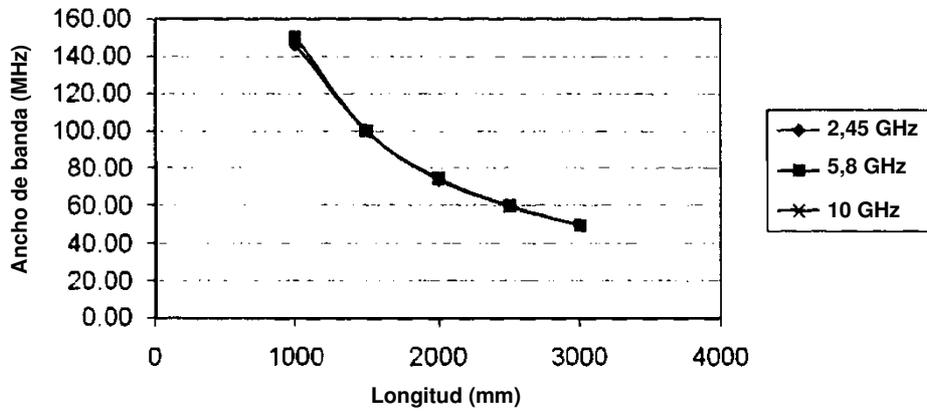


Fig.13

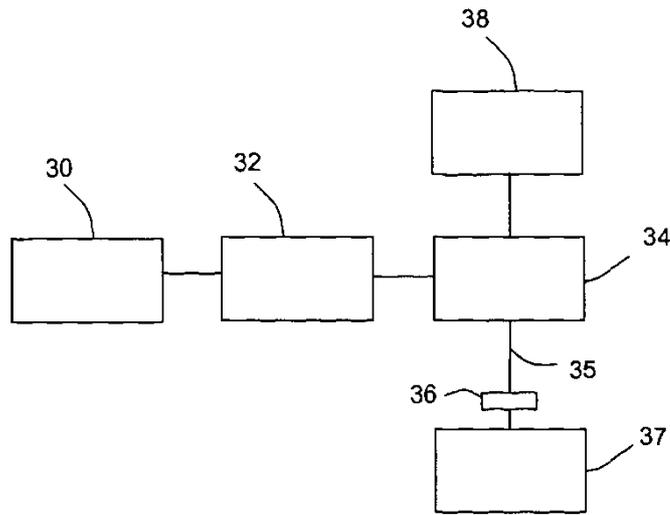


Fig.14

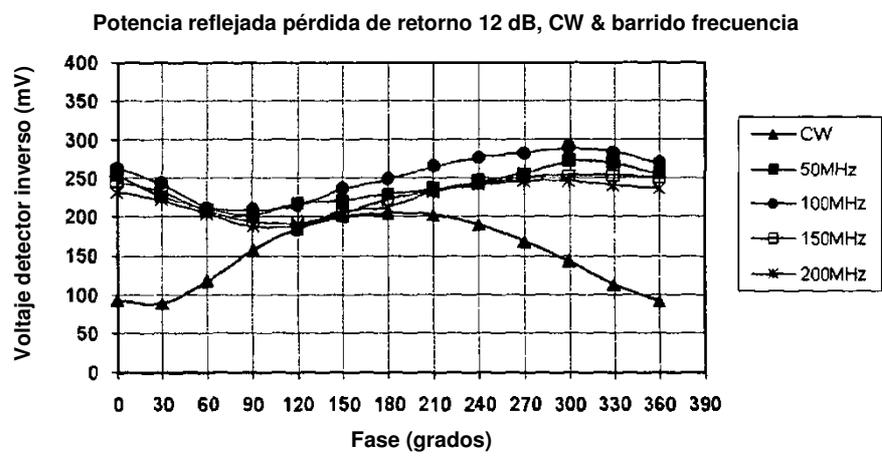


Fig.15

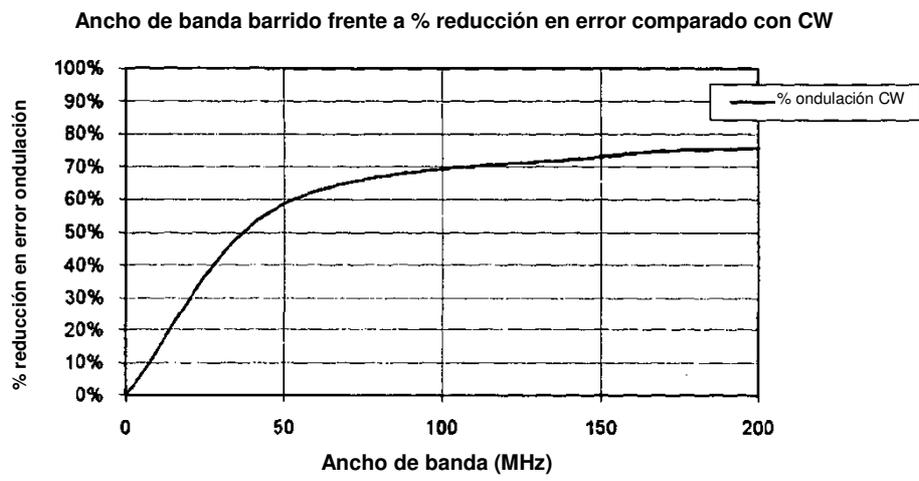


Fig.16

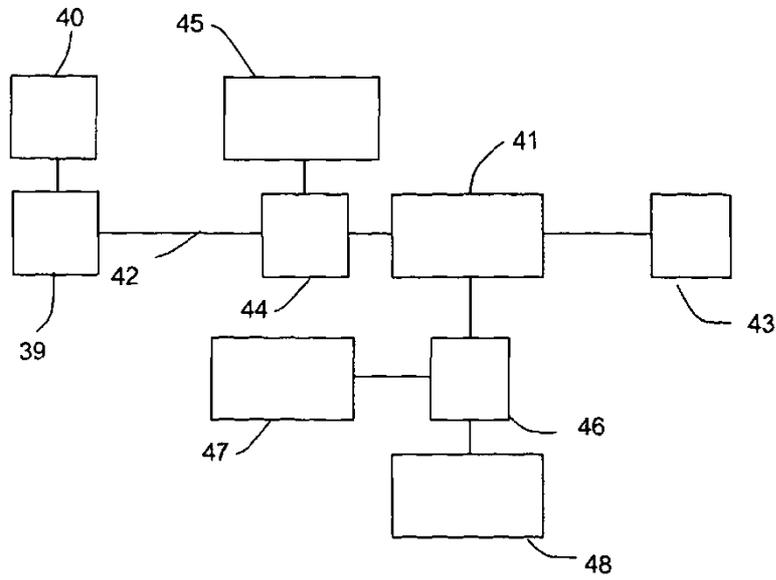


Fig.17a

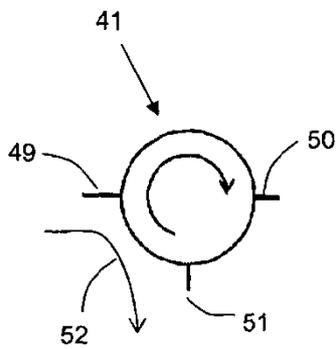


Fig.17b

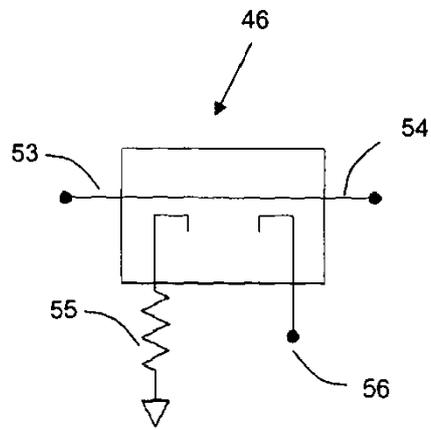
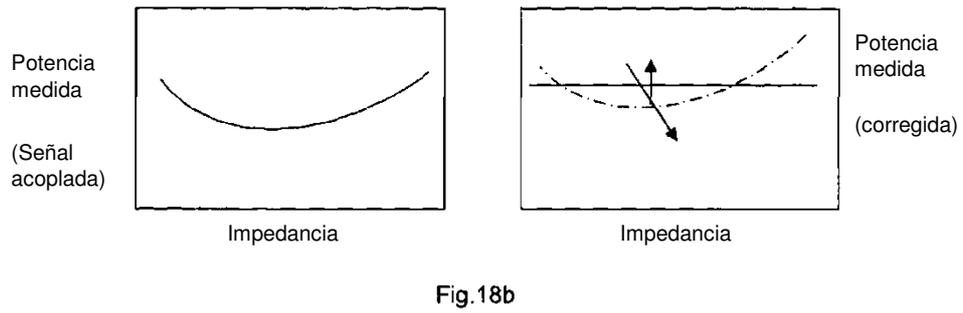
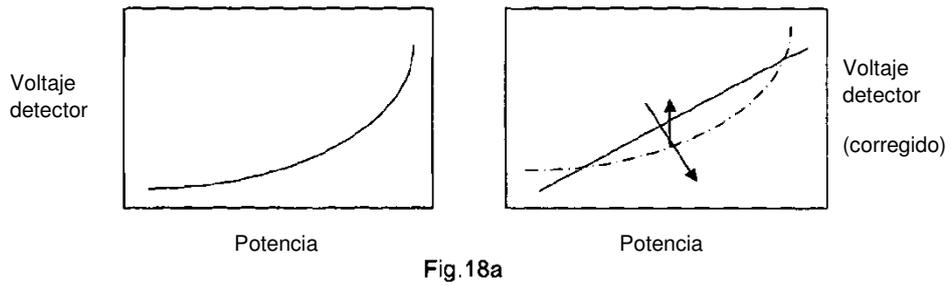


Fig.17c



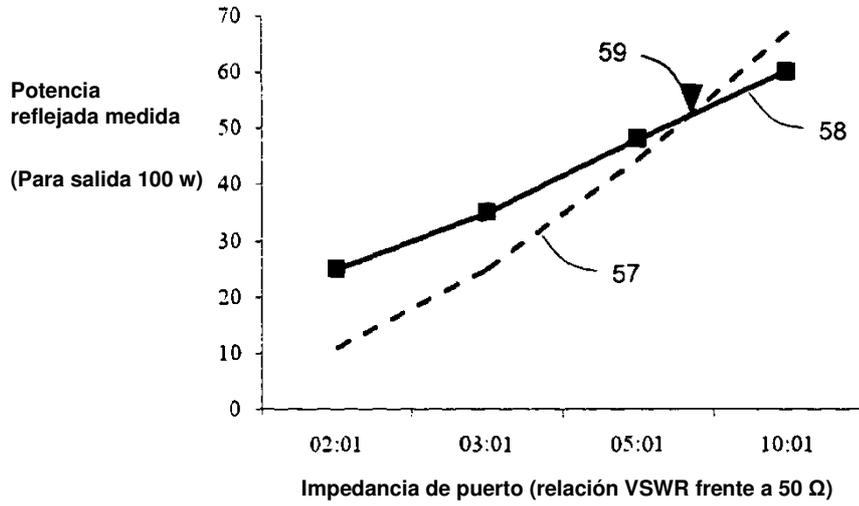


Fig. 19a

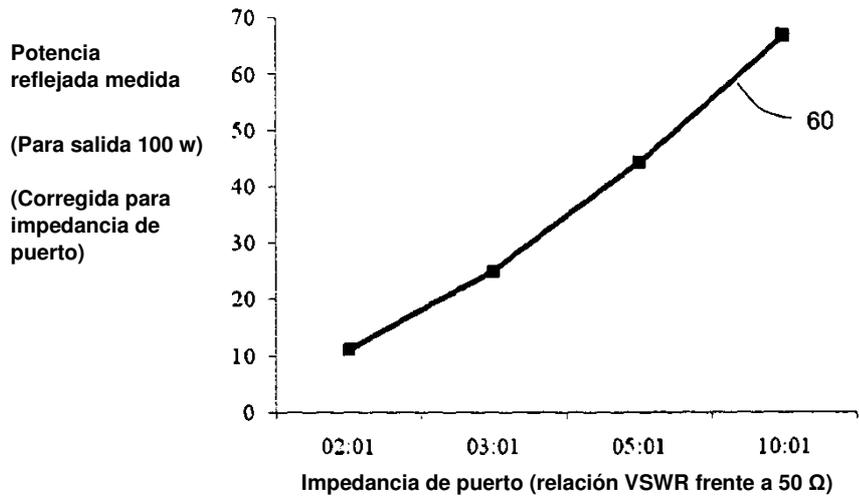


Fig. 19b

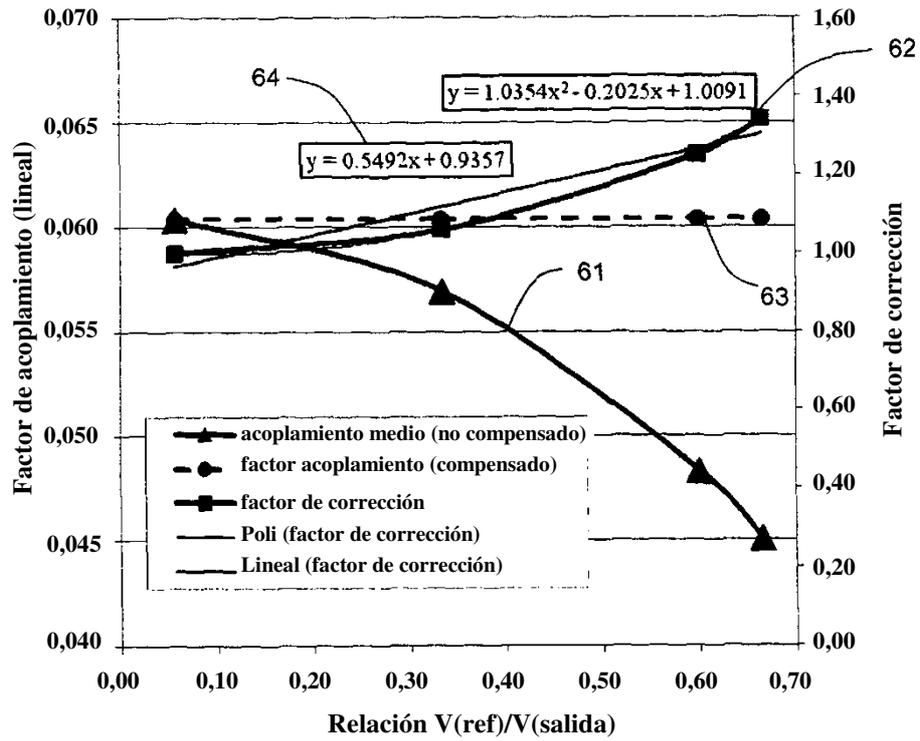
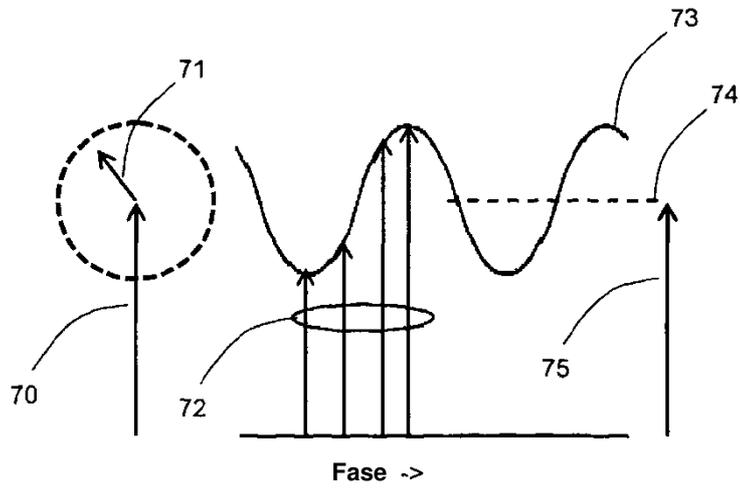
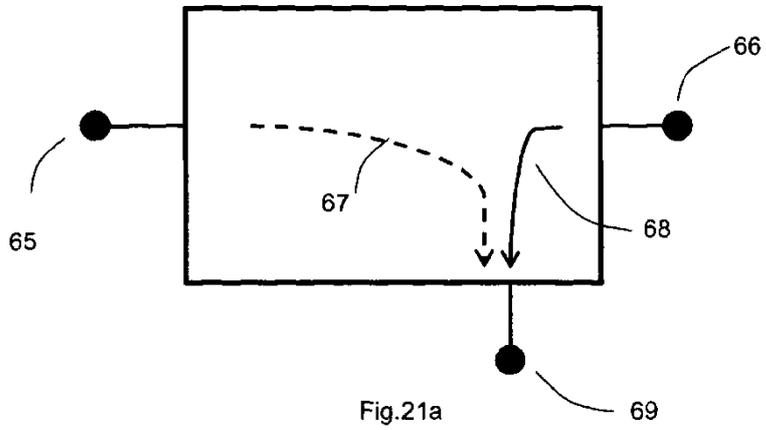


Fig.20



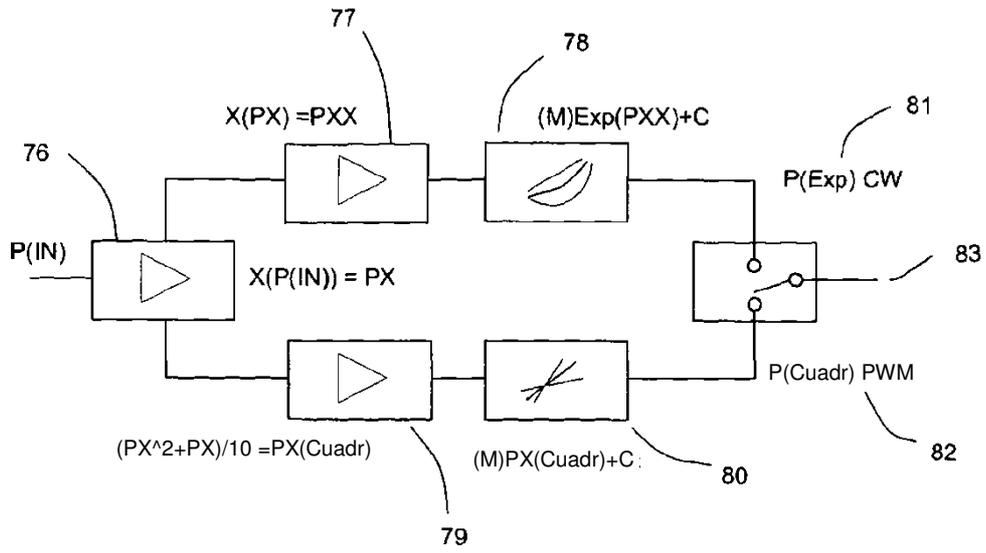


Fig.22