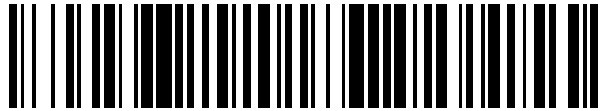


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 395**

51 Int. Cl.:

H05B 6/68 (2006.01)

H05B 6/80 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2007** **E 07706172 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2013** **EP 1997349**

54 Título: **Calentamiento electromagnético**

30 Prioridad:

21.02.2006 US 775231 P
10.07.2006 US 806860 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.10.2013

73 Titular/es:

GOJI LIMITED (100.0%)
Mintflower Place, 4th Floor, 8 Par-La-Ville Road,
P.O. Box HM3399 HM PX
Hamilton HM08, BM

72 Inventor/es:

BEN-SHMUEL, ERAN y
BILCHINSKY, ALEXANDER

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 425 395 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

Calentamiento electromagnético

Campo de la invención

5 La presente invención generalmente está relacionada con el calentamiento de los materiales con energía electromagnética.

Antecedentes de la invención

10 El horno de microondas es un elemento omnipresente en la sociedad moderna. Sin embargo, son bien conocidas sus limitaciones. Esto incluye, por ejemplo el calentamiento desigual y lenta absorción del calor. De hecho, los hornos microondas normales, cuando se usan para calentar (por ejemplo descongelar), provoca diferencias de temperaturas de hasta 100°C entre las diferentes localizaciones en el objeto calentado, lo que resulta en la creación de puntos calientes, regiones de fuga térmica. Por ejemplo, los alimentos congelados que se deshuelan en un horno de microondas pueden tener una o más partes (por ejemplo el exterior) que está caliente o incluso cocido parcialmente antes que otras partes u otras partes incluso se descongelen (por ejemplo en el interior). Conocidos también son los puntos calientes que ocurren dentro de una tasa calentada de líquido que pueden resultar en una lesión personal a un usuario. Un método común que intenta reducir los puntos calientes es girar el artículo que se calienta. Este método no proporciona el calentamiento uniforme como se desearía.

20 Un método para proporcionar el calentamiento uniforme es permitir que el calor depositado en un punto caliente se difunda a las regiones circundantes y las caliente mediante la conducción. Tales métodos pueden incluir un procedimiento de calentamiento intermitente en el que el calentamiento se detiene periódicamente para permitir la difusión del calor. Aunque este método se puede usar junto con los métodos de la presente invención, por sí mismo el método de parada y arranque de calentamiento o bien es extremadamente lento (debido a la baja conductividad de calor de la mayoría de los alimentos, que necesitan largos períodos de terminación para hacer efectivo el método) o son relativamente ineficientes. Otro método es calentar a una potencia muy baja. Esto se puede usar, por ejemplo, con grandes cuerpos congelados. Si el calentamiento es suficientemente lento, entonces el exceso de calor en los puntos calientes se difunde antes que el aumento de temperatura en el punto caliente llegue a ser desagradable. Sin embargo, este método requiere de hasta 10 o 20 veces más tiempo para que el calentamiento sea completamente efectivo. Debido a la convección del objeto, no es una opción seria para cocinar o calentar muy por encima de la temperatura ambiente.

30 Se ha publicado un número de documentos en el que se ha llevado a cabo un análisis teórico del problema del calentamiento del microondas de una muestra criogénica. Debido a las dificultades de tal análisis, tal análisis se ha llevado a cabo solamente en formas regulares, tales como formas esféricas y elipsoidales. Se han hecho intentos experimentales aparentemente en muestras de tamaño de un riñón, pero los resultados de estos experimentos no indican que está disponible una solución viable para descongelar riñones.

35 Por otra parte, no parece ser una solución para descongelar otros órganos, o para descongelar alimentos cocidos o calientes, de formas más arbitrarias.

40 Las publicaciones del arte anterior incluyen:

S. Evans, Electromagnetic Rewarming: The effect of CPA concentration and radio source frequency on uniformity and efficiency of heating, *Cryobiology* 40 (2000) 126-138

S. Evans, y otros, Design of a UHF applicator for rewarming of cryopreserved biomaterials, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 39 (1992) 217-225

45 M.P. Robinson, y otros, Rapid electromagnetic warming of cells and tissues, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 46 (1999) 1413-1425

M.P. Robinson, y otros, Electromagnetic re-warming of cryopreserved tissues: effect of choice of cryoprotectant and sample shape on uniformity of heating, *Phys. Med. Biol.* 47 (2002) 2311- 2325.

50 M.C. Wusteman, Martin y otros, Vitrification of large tissues with dielectric warming: biological problems and some approaches to their solution, *Cryobiology* 48 (2004) 179-189.

55 Un artículo titulado "Control of Thermal Runaway and Uniformity of Heating in the Electromagnetic Warming of a Cryopreserved Kidney Phantom" by J. D. J. Penfold, y otros, en *Cryobiology* 30, 493-508 (1993) describe un análisis teórico y los resultados experimentales. Aunque algunos experimentos se hicieron aparentemente con un espectro del tamaño de un riñón, los principales resultados informados son con un objeto esférico uniforme.

60 Como se informó se alimentó una cavidad con energía electromagnética a 434 MHz en tres direcciones ortogonales (x, y, z). La x e y alimentadas se proporcionaron de un mismo generador y se introdujo un cambio de fase de manera que el campo se polarizó de manera circular. La frecuencia se varió en etapas de 32 kHz (aparentemente hasta

aproximadamente 350 kHz máximo) para ajustar la impedancia de entrada ya que cambió con el aumento de la temperatura.

5 La US-A-5961871 describe un método de y aparato para el calentamiento electromagnético como se expone en los preámbulos de las reivindicaciones independientes 1 y 9.

Sumario de la invención

Un método y aparato para el calentamiento electromagnético se caracteriza por las características expuestas en las porciones que caracterizan las reivindicaciones 1 y 9.

10 Los presentes inventores se han dado cuenta de que las mediciones tomadas por los investigadores del arte anterior para proporcionar el calentamiento uniforme fueron insuficientes y no pueden, por sí mismas, conducir a una metodología viable para el calentamiento uniforme (o descongelación) de objetos de forma irregular tales como órganos, alimentos o los similares. Particularmente se descubrió que el arte anterior sufrió de muchos problemas. Como se usa en la presente, el término irregular significa los objetos que salen de forma esférica o elipsoidal en más de un 5% del volumen de RMS.

15 Los hornos de microondas convencionales están configurados para alimentarse de la energía del microondas de la cámara del horno que es básicamente de una sola frecuencia. Debido a las limitaciones del dispositivo la energía se suministra a diferentes frecuencias en un rango pequeño, normalmente entre 2.4 y 2.5 MHz. Los inventores se dieron cuenta de que las limitaciones del uso de una frecuencia sustancialmente constante, o el seguimiento constante de un único pico de disipación en un rango de frecuencia pequeño, limita significativamente la capacidad de alcanzar el calentamiento uniforme. De hecho, el calentamiento en una sola frecuencia se encuentra que es una de las razones principales de los puntos calientes. Sin embargo, el uso de diferentes frecuencias (usar una o más alimentaciones), puede mejorar la uniformidad del calentamiento.

20 Aunque algunos calentadores del arte anterior propuesto utilizaron más de una entrada del microondas, las diferencias de frecuencia entre las dos entradas son pequeñas, de menos de 6 MHz.

25 Los inventores también encontraron que la estructura de la cavidad de un horno de microondas convencional, y especialmente la estructura del modo de la cavidad, no permitió inherentemente el éxito del calentamiento uniforme. Generalmente, los campos para un modo dado en una cavidad varían con la posición y el calentamiento varía con la resistencia de los campos.

30 En la materia, se hicieron intentos para establecer los parámetros del horno de microondas para ajustar las características de un objeto calentado antes de que comience el calentamiento. Sin embargo, durante el calentamiento cambian las características de un objeto calentado (por ejemplo la tendencia a absorber energía de una frecuencia dada). Por lo tanto los inventores se dieron cuenta de que incluso si se sintonizó un calentador a un objeto calentado antes de la operación, incluso antes de un corto período de funcionamiento tendrían cambios las características del objeto y no sería significativa la sintonización.

35 Otro problema es que a veces, la absorción en una localización dada de un objeto es mayor cuando aumenta la temperatura. Esto puede dar lugar a un problema de "fuga térmica" (incluso en el horno microondas convencional), en donde un lugar relativamente caliente absorbe más que uno más frío aumentando por lo tanto continuamente la diferencia de temperatura. Cuando se hace un esfuerzo para sintonizar la entrada de energía del dispositivo a la impedancia del objeto, el rendimiento del suministro de energía en el objeto se puede maximizar, pero se aumentan también generalmente los puntos calientes.

40 Los inventores han notado también que las publicaciones conocidas se ocupan de la disipación de la energía de acuerdo con la absorción de la energía por el resonador (por ejemplo corrientes de superficie) y no necesariamente el objeto. Además, no se prestó atención a la distribución de la disipación de la energía en el objeto (con la excepción de alguna descripción de la profundidad de penetración).

45 Además, cuando se alimenta desde múltiples direcciones en una cavidad, el acoplamiento entre las alimentaciones puede ser un problema grave. Aunque para las muestras esféricas estos efectos son mínimos, para las variaciones moderadas uniformes de esta forma, el acoplamiento entre las entradas puede ser bastante grande. Tal acoplamiento provocó una serie de problemas que incluyen el calentamiento desigual y bajo rendimiento de potencia.

Algunas modalidades ejemplares de la invención se ocupan de uno o más de estos problemas

50 Como se usa en la presente el término "*calentamiento*" significa suministrar energía electromagnética (EM) a un objeto. A veces, un objeto se puede calentar de acuerdo con la presente invención sin el aumento de temperatura (por ejemplo cuando se enfría concomitantemente a una tasa que es al menos igual a la tasa de calentamiento o a un cambio de fase donde la energía transmitida se recoge para el cambio de fase). El calentamiento incluye descongelar, descongelar, calentar, cocer, secar etc., utilizando energía electromagnética.

Como se usa en la presente el término "*objeto*" significa cualquier objeto, que incluye una composición de uno o más objetos. En una modalidad de la invención, la parte más caliente de un órgano descongelado es de 6°C o menos, cuando la parte más fría alcanza 0°C. Esto se ha confirmado con un hígado de vaca. En experimentos con un hígado de vaca, después de descongelar a partir de -50°C, el rango de las temperaturas en el hígado descongelado varió de 8°C a 10°C. Generalmente, es deseable descongelar el objeto de manera que todas las partes estén por encima del punto de congelación, para evitar la recristalización. En otra modalidad los objetos se calientan a otras temperaturas (por ejemplo temperaturas de mantenimiento o cocido, o una temperatura por debajo de cero que está por encima de la temperatura del objeto antes del calentamiento), mientras que se preserva una uniformidad de calentamiento terminal de la temperatura dentro de 50°C. A veces, la uniformidad de la temperatura en un objeto calentado (o descongelado) se mantiene durante el calentamiento de manera que en todo momento la uniformidad de la temperatura está dentro de 50 °C o incluso dentro de 10 °C o 5 °C.

Algunas modalidades de la invención barren la frecuencia de alimentación (o alimentaciones) sobre un conjunto finito de sub-bandas de frecuencia (es decir energía de alimentación en el calentador sobre muchas frecuencias que pertenecen a cada sub-banda). Por ejemplo, la disipación de la energía se mide para una banda de frecuencias de RF (por ejemplo todo el rango de funcionamiento del calentador), y basado en los resultados medidos, se selecciona un conjunto finito de sub-bandas de frecuencia. El ancho de la banda sobre el cual se mide el rendimiento energético puede ser por ejemplo de hasta 2 GHz. A veces, la banda puede tener un ancho entre 0.5% (5/1000 [MHz]) y 25% (100/400 [MHz]) de la frecuencia central.

La medición se puede llevar a cabo antes de calentar un objeto, en una o más veces durante el calentamiento del objeto, o por adelantado (con un objeto de muestra para definir las sub-bandas para objetos idénticos adicionales básicamente).

En la invención, la potencia acoplada a otras alimentaciones en cada frecuencia en cierta banda (S_{ij}) y la pérdida de retorno en cada frecuencia (S_{ij}) se toman en cuenta para determinar el rendimiento de calentamiento y para ajustar ciertas características del aparato, por ejemplo, una decisión de qué potencia en qué frecuencias transmitir y el momento de transmitir las frecuencias en las potencias coincidentes. Opcionalmente, la potencia absorbida (potencia de entrada menos potencia acoplada) introducida en el sistema de una alimentación se ajusta para ser la misma que la potencia absorbida introducida en cada una de las otras alimentaciones.

Los solicitantes han encontrado que cambiar la frecuencia transmitida en algunas sub-bandas seleccionadas y la potencia de entrada en cada frecuencia, dentro de una de las sub-bandas seleccionadas, opcionalmente por encima de los picos de absorción, resulta en un cambio en el patrón de calentamiento dentro del objeto calentado. Por lo tanto, barriendo opcionalmente la frecuencia en las sub-bandas seleccionadas, mientras que las potencias se ajustan adecuadamente, se calientan varias porciones del objeto. Mantener la energía total absorbida en las diferentes localizaciones de un objeto uniforme resulta en más calentamiento uniforme del objeto.

Breve descripción de los dibujos

Las modalidades no limitantes ejemplares de la invención se describen a continuación con referencia a las figuras adjuntas. Los dibujos son ilustrativos y generalmente no están en una escala exacta. Se hace referencia a los elementos iguales o similares en las diferentes figuras usando los mismos números de referencia.

Las Figs. 1A, 1B y 1C son vistas en sección superior y lateral esquemáticas respectivas de una cavidad 10, de acuerdo con una modalidad ejemplar de la invención.;

Las Figs. 2A y 2B muestran dos elementos coincidentes ejemplares, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 3 es un dibujo isométrico esquemático del interior de la cavidad de la Fig. 1;

La Fig. 4A es un dibujo esquemático de una antena útil para acoplar la energía en la cavidad, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 4B es un dibujo esquemático de una antena helicoidal útil para acoplar la energía en la cavidad, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 4C muestra un gráfico de correlación de las frecuencias ajustadas del espacio libre y las frecuencias ajustadas de la cavidad de una alimentación de la antena helicoidal;

Las Figs. 4D-4H son dibujos esquemáticos de varias antenas fractales útiles para acoplar la energía en la cavidad, de acuerdo con una modalidad de la invención;

Las Figs. 5A-5C son diagramas en bloque esquemáticos de los sistemas de calentamiento electromagnéticos, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 6 es un diagrama de flujo simplificado del funcionamiento del sistema, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 7 es un diagrama de flujo de un proceso para ajustar los elementos y la frecuencia en el sistema de calentamiento ilustrado en la Fig. 5, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 8 ilustra el sistema de circuitos de RF alternativo, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 9 es un gráfico de frecuencia contra el tiempo para un proceso de descongelado típico, que ilustra una capacidad de apagado automático de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 10 muestra la distribución de una estructura de presión de baja frecuencia, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 11A es un diagrama de flujo simplificado de un método para determinar las características eléctricas de barrido, de acuerdo con una modalidad de la invención;

Las Figs. 11B y 11C ilustran cómo se determina un espectro de potencia de barrido, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 11D muestra una forma de pulso, para un pulso operativo para proporcionar el espectro mostrado en la Fig. 11B, de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Fig. 12A muestra un calentador de RF con un enrollado de calentamiento auxiliar, de acuerdo con una modalidad de la invención;

Las Figs. 12 B y 12C ilustran esquemáticamente un esquema para transferir el calor residual desde un amplificador al calentador de la Fig. 12A; y

La Fig. 12D muestra una vista externa de un calentador de RF de bajo peso, alto rendimiento, de acuerdo con una modalidad de la invención.

Descripción detallada de las modalidades ejemplares

La presente solicitud describe una serie de avances en el campo del calentamiento de RF (por ejemplo microondas o UHF). Aunque, por conveniencia estos avances se describen conjuntamente en el contexto de diversos aparatos y métodos, cada uno de los avances es independiente generalmente y se pueden poner en práctica con los métodos o aparatos del arte anterior (según sea aplicable) o con una versión no óptima de los otros avances de la presente invención. Por lo tanto, por ejemplo, las partes del método para ajustar la potencia de entrada se pueden usar con el aparato del arte anterior de Penfold, y otros, anteriormente referenciados. Por el contrario, el aparato inventivo de la presente invención (o las partes del mismo) se pueden usar con el método de Penfold y otros. Se espera que estas combinaciones no sean las ideales, pero se espera que ellas den resultados mejorados en los métodos y aparatos del arte anterior.

Además, los avances descritos en el contexto de una modalidad de la invención se pueden utilizar en otras modalidades y se deben considerar cuando se incorporan como características opcionales en las descripciones de otras modalidades, en la medida de lo posible. Las modalidades se presentan en forma un tanto simplificadas para enfatizar ciertos elementos inventivos.

La invención proporciona el control de la cantidad de potencia absorbida en el objeto calentado, basado en la medición del rendimiento de absorción de energía (por ejemplo transmitiendo potencia para compensar las variaciones de la absorción de energía). Esto se puede hacer ajustando la potencia de entrada en cada frecuencia transmitida, y seleccionando opcionalmente las frecuencias que se transmiten, moviendo los elementos de ajuste de campo, moviendo el objeto calentado, y/o cambiando las características de las antenas. Esto se puede hacer antes del funcionamiento, y también preferentemente una o más veces durante el funcionamiento (por ejemplo varias veces por segundo), basado en las mediciones de la absorción de energía durante el calentamiento o durante una breve pausa en el calentamiento.

Las Figs. 1A, 1B y 1C muestran las vistas en sección superior y lateral respectivas de una cavidad 10, de acuerdo con una modalidad ejemplar de la invención.

La cavidad 10, como se muestra es una cavidad cilíndrica hecha de un conductor, por ejemplo un metal tal como aluminio, y es resonante en el rango de las frecuencias del microondas o UHF, opcionalmente entre 300 MHz y 3 GHz, con mayor preferencia entre 400 MHz y 1 GHz. En algunas modalidades de la invención, la cavidad es una cavidad esférica, rectangular o elíptica. Sin embargo, se debe entender que la metodología general de la invención no se limita a cualquiera forma de la cavidad del resonador en particular.

En un extremo 12 del cilindro y en los dos lados de la porción cilíndrica 14 se posicionan las antenas de alimentación 16, 18 y 20 para alimentar la energía a una frecuencia que se selecciona opcionalmente usando los métodos descritos a continuación. Se muestran varios tipos ejemplares pero sin limitar la utilidad de las antenas para llevar a cabo la invención en las Figs. 4A-4C.

En una modalidad ejemplar de la invención, se colocan uno o más elementos coincidentes 22, 24 dentro de la cavidad, cerca opcionalmente de las antenas de alimentación. Se muestran dos tipos de elementos de ajuste de campo, sin embargo, se pueden usar otros materiales y formas. El primer elemento de ajuste de campo 22, que se muestra más claramente en la Fig. 2A se sitúa en el extremo 12 de la cavidad 10. En esta modalidad el elemento es giratorio alrededor de un eje 28 acoplado en el extremo, en una dirección 30. Opcionalmente, se aísla del extremo por una lámina de aislamiento 32 que acopla el elemento 22 capacitivamente al extremo 12. Alternativamente se acopla de manera conductiva.

Se cree que el elemento 22 (así como el otro elemento de ajuste de campo) tiene un doble efecto, cuando se ajusta adecuadamente. Por una parte cambia los modos de la cavidad de manera que dirige selectivamente la energía de las

alimentaciones en el objeto a calentarse. Un segundo efecto relacionado es ajustar de manera simultánea al menos una de las alimentaciones y reducir el acoplamiento en las otras alimentaciones.

5 El elemento de ajuste de campo 24, que se muestra más claramente en la Fig. 2B se sitúa entre la alimentación 18 y el extremo 12. Un extremo del elemento opcionalmente se acopla eléctricamente a la porción cilíndrica 14 de la cavidad. El otro extremo del elemento 24 se separa y se aísla del extremo 12 por el material de aislamiento 36. Está libre para deslizarse a lo largo del extremo 12 y la porción cilíndrica como se muestra por las flechas 33 y 34. Este deslizamiento cambia la variación espectral del rendimiento de absorción de energía.

10 La Fig. 3 es un dibujo en perspectiva del interior de la cavidad para mostrar más claramente la posición y orientación de la alimentación y los elementos.

15 Las Figs. 4A-4H muestran tres tipos diferentes de antenas que son útiles para llevar a cabo la invención. Estas antenas o bien son novedosas *de por sí*, o si son conocidas nunca se han usado para las alimentaciones en un horno de microondas o calentador, especialmente en un calentador del tipo cavidad. Generalmente, en la mayoría de los calentadores del tipo de cavidad de microondas, las alimentaciones usadas no son direccionales en gran medida y no son de banda ancha, como las definidas al aire libre. El objetivo de las alimentaciones es estimular los modos de la cavidad. Dado que las cavidades del arte anterior se estimulan en una sola frecuencia o una banda estrecha de frecuencias, las antenas se diseñaron específicamente para estimular estos modos. Adicionalmente, las cavidades del arte anterior, usan guía de ondas o antenas de lazo que no están diseñadas para disminuir el acoplamiento de la energía de una alimentación a otra (ellas tienen generalmente una sola alimentación). Los presentes inventores han descubierto que el uso de las antenas direccionales y/o las antenas de banda ancha permiten un mejor acoplamiento al objeto calentado y menor acoplamiento a otras alimentaciones.

20 En algunas modalidades las antenas se suministran como arreglos. Hay algunas ventajas en el uso de un arreglo de antenas. La banda puede ser más grande y hay una menor dependencia de la localización del objeto calentado en los resultados. La directividad se puede controlar, incluso se puede ajustar durante el calentamiento. Es posible controlar la fase de cada antena única del arreglo, que controla el modo de RF. Es posible alterar la estructura de la antena, por ejemplo, usando la antena hélice, el radio y la altura de la antena se pueden cambiar a fin de sintonizar la impedancia y cambiar el modo de RF.

25 La Fig. 4A muestra una antena útil para acoplar la energía de las alimentaciones 16, 18 y 20 en la cavidad 10, de acuerdo con una modalidad de la invención. Como se muestra la alimentación 16 incluye una alimentación coaxial 37 con su conductor central 36 curvado y que se extiende en la cavidad. El conductor central está curvado pero no toca las paredes de la cavidad. Opcionalmente, el extremo del alambre se forma de un elemento conductor 40 para aumentar el ancho de banda de la antena. Los presentes inventores han encontrado que las antenas del tipo que se muestra son capaces de acoplar mejor la energía a un objeto irregular en la cavidad. Se cree que tales antenas transmiten direccionalmente y si la curva está dirigida hacia el objeto que se calienta, entonces se mejorará el acoplamiento al objeto (en lugar de acoplarse a la cavidad).

30 La Fig. 4B muestra una antena hélice útil para acoplar la energía de las alimentaciones 16, 18 y 29 en la cavidad 10, de acuerdo con una modalidad de la invención. Como se muestra la alimentación 16 incluye una alimentación coaxial 37 con su conductor central 36' que tiene una extensión que se forma en una hélice. Esta antena se puede diseñar para hacer coincidir en el espacio libre sobre una banda relativamente ancha de frecuencias (tal como la que es útil para la presente invención) y se puede hacer más o menos direccional cambiando el número de vueltas. El diseño del espacio libre se ajusta entonces para la presencia de la cavidad como se describe a continuación con respecto a la Fig. 4C. El gráfico de la Fig. 4C muestra los resultados experimentales para una hélice de 7 vueltas, con un diámetro igual a la longitud de onda del espacio libre y una inclinación de giro de menos de 0.2 longitudes de onda. Sin embargo, los presentes inventores han encontrado que las curvas del tipo mostradas en la Fig. 4C se pueden encontrar, mediante la experimentación, para otras características de giro también.

35 Son conocidas las antenas fractales en la materia. Se hace referencia a Xu Liang y Michael Yan Wan Chia, "Multiband Characteristics of Two Fractal Antennas", John Wiley, MW y Optical Tech. Letters, Vol. 23, No. 4, págs. 242-245, 20 de noviembre de 1999. Se hace referencia también a G.J. Walker y J.R. James, "Fractal Volume Antennas" Electronics Letters, Vol. 34, No. 16, págs. 1536-1537, 6 de agosto de 1998.

40 La Fig. 4D muestra una simple antena de lazo 50 como se conoce en la materia, para la radiación en el espacio libre. El ancho de banda de lazo (en el espacio libre) es: 604 MHz @ 740 MHz la frecuencia central (-3 dB puntos) y 1917 MHz @ 2.84 GHz la frecuencia central. Esta antena tiene un patrón de directividad monopolo pero una banda ancha de uno (que es una ventaja sobre la estrecha BW de la antena dipolo). Sin embargo, la directividad monopolo no irradia en una dirección paralela a la alimentación.

45 El ancho de banda (BW) de esta antena varía entre 10MHz y máximo de 70MHz depende de la posición de carga (objeto) *dentro de la cavidad*.

50 Esta y las siguientes antenas fractales pueden ser útiles en la presente invención para alimentar la energía en una cavidad.

La Fig. 4E muestra una simple antena sierpinski 52, útil en la práctica de la presente invención. Generalmente, las áreas de sombreado transversal 54 son placas metálicas y el área central blanca 56 es una región no conductora. Las placas metálicas se montan en un dieléctrico preferentemente de constante dieléctrica baja y están conectadas en las esquinas y en el conductor central 37 de la alimentación coaxial 36, como se muestra. Es característico que en la cavidad son similares a las de la antena de lazo.

La Fig. 4F muestra una antena sierpinski modificada 58, útil en la práctica de la presente invención. Generalmente, las áreas de sombreado transversal 60 son placas metálicas y las áreas blancas 62 son regiones no conductoras. Las placas metálicas se montan en un dieléctrico preferentemente de constante dieléctrica baja y están conectadas en las esquinas y en el conductor central 37 de la alimentación coaxial 36 como se muestra.

Para un extensión total de 103.8 mm utilizando triángulos equiláteros de igual tamaño, la frecuencia central de esta antena es de aproximadamente 600 MHz dentro de la cavidad.

La Fig. 4G muestra aún otra antena sierpinski modificada 64, útil en la práctica de la presente invención. Generalmente, las áreas de sombreado transversal 66 son placas metálicas y las áreas blancas 68 son regiones no conductoras. Las placas metálicas se montan en un dieléctrico preferentemente de constante dieléctrica baja y están conectadas en las esquinas y en el conductor central 37 de la alimentación coaxial 36.

Se muestran las dimensiones en la Fig. 4G para una antena que tiene una frecuencia central de 900 MHz en la cavidad.

La Fig. 4H muestra una antena fractal multicapa 70 fabricada de tres antenas fractales separadas por una pequeña distancia (por ejemplo 2 mm) una con respecto a otra.

El tamaño de cada una de estas antenas está escalonado a fin de ampliar el ancho de banda de la antena. En el ejemplo mostrado una primera antena 72 se escala a 0.8 de las dimensiones dadas en la Fig. 4G. Una segunda antena 74 tiene las mismas dimensiones como la antena de la Fig. 4G y una tercera antena 76 está aumentada de tamaño por encima de la antena 74 por un factor de 1.2. El volumen fractal de la antena (Fig. 4G) tiene un ancho de banda total de 100MHz - esto es una mejora sobre el máximo de 70 MHz de BW alcanzado en una antena fractal simple anterior (Figs. 4D-4H).

Las antenas fractales muestran además un cambio de frecuencia central cuando se colocan en una cavidad. Esta diferencia se usa (como con la antena hélice) para diseñar las antenas para su uso en las cavidades escalando las frecuencias.

Generalmente, se desea utilizar antenas direccionales, antenas de banda ancha para energizar la alimentación en el objeto que se calienta tales antenas incluyen antenas de parche, antenas fractales, antenas hélice, antenas de registro periódico y antenas espirales.

Las Figs. 5A a 5D son diagramas en bloque esquemáticos de un sistema de calentamiento electromagnético, de acuerdo con una modalidad de la invención.

La Fig. 5A muestra un diagrama en bloque general de cada una de las alimentaciones eléctricas 90 del sistema, en una modalidad ejemplar de la invención. El sistema se controla por una computadora 92 que controla a través de una interfaz de control (controlador) 130 un sistema de RF 96 que proporciona potencia al objeto calentado 98.

La Fig. 5B es un diagrama en bloque de la electrónica de uno de los sistemas de alimentación de RF 96, de acuerdo con una modalidad ejemplar de la invención. Un VCO 102 recibe una señal desde un circuito de control 130 (Fig. 5C) que establece la frecuencia de la energía en el puerto. Esta energía se pasa a través de un interruptor de RF 104 y un atenuador de voltaje controlado (VCA) 106, ambos de los cuales se controlan por el circuito de control 130. Después de pasar a través del VCA, se ha establecido la potencia y la frecuencia de la señal. Se proporciona una carga 108 para descargar la señal generada por el VCO 102 cuando la señal del VCO 102 no se interrumpe en el VCA.

La señal se envía entonces a través de la línea principal de un primer acoplador de doble dirección opcional 110.

La salida del VCA se amplifica entonces por un amplificador de potencia 112 y después se pasa a través de un aislador 114. Una señal proporcional a la potencia reflejada desde el amplificador 112 se alimenta también en el circuito de control.

El acoplador 110 retroalimenta una porción de la señal que entra en él (después de la detección o medición de la potencia) para controlar el circuito 130. Una señal proporcional a la potencia reflejada por el amplificador 112 se envía también al controlador 130. Estas señales permiten la supervisión del VCO/VCA y el amplificador. En un sistema de producción, el acoplador direccional puede no ser necesario.

Un interruptor de RF 116 interrumpe la potencia o bien en una carga 118 o en la alimentación del resonador 98, a través

de un segundo acoplador de doble dirección 120. El acoplador de doble dirección 120 muestra la potencia tanto dentro como fuera del resonador y envía las señales de medición de potencia al controlador 130.

5 En una modalidad de la invención, el amplificador de RF 112 es un amplificador a estado sólido basado en la tecnología de LDMOS. $P_{sat} = 300W$, rendimiento = aproximadamente 22%, la banda efectiva - 800-1000 MHz tales amplificadores o bien tienen un ancho de banda relativamente estrecho o un bajo rendimiento (<25%) o ambos. Esto limita la utilidad óptima de los avances de la presente invención. Recientemente, los amplificadores han llegado a estar disponibles basados en la tecnología de semiconductores de SiC (carburo de silicio) o GaN (nitruro de galio). Los transistores que utilizan tales tecnologías están disponibles comercialmente en compañías, tales como Eudyna, Nitronex y otras. Los amplificadores que tienen una salida de potencia máxima de 300-600 W (se pueden construir de módulos de baja potencia (50-100 Watt)) y un ancho de banda de 600 MHz (en una frecuencia central de 700 MHz) o un ancho de banda de 400 MHz (está disponibles en una frecuencia central de 2.5 GHz), por ejemplo. Tales amplificadores tienen un rendimiento mucho más alto que los amplificadores del arte anterior (está disponible el rendimiento de 60%) y tolerancia mucho más alta para reflejar las señales, de manera que el aislador 114 a menudo se puede omitir para estos amplificadores. Una configuración particular que utiliza este tipo de amplificador se describe a continuación junto con las Figs. 12A-D.

20 Volviendo ahora a la Fig. 5C el controlador 130 comprende la computadora 92 que lleva a cabo los cálculos y proporciona una función de registro del sistema así como actuar como una interfaz de usuario. Controla además el resto de los elementos en los que se lleva a cabo la calibración y el método de control de los diagramas de flujo de la Fig. 7.

25 La computadora 132 se acopla al resto del sistema a través de una interfaz 134 que está diseñada para proporcionar comunicación a, por ejemplo, un ALTERA FPGA 140, que se conecta con y proporciona las señales de control para los diversos elementos del sistema de RF. El Altera recibe las entradas (como se describió anteriormente con respecto a las Figs. 5A-5C), a través de uno o más multiplexores 136 y un convertidor A/D 138. Adicionalmente, se establece la frecuencia y potencia de cada una de las alimentaciones (descritas también con respecto a las Figs. 5A y 5B) a través de los convertidores D/A 140 y las posiciones del elemento de ajuste de campo que utiliza opcionalmente el método descrito con la ayuda de los siguientes diagramas de flujo. En un sistema de producción, la computadora puede no ser necesaria y el Altera o un controlador similar puede controlar y procesar todos los datos necesarios. En algunas modalidades de la invención, la frecuencia se barre como se describe a continuación.

30 La Fig. 6 es un diagrama de flujo simplificado 150 del funcionamiento de un sistema de calentamiento que tiene la estructura descrita anteriormente. La Fig. 7 es un diagrama de flujo simplificado de la calibración 160 del sistema. Como será evidente, la calibración y funcionamiento del método del sistema se pueden usar también con cambios menores solamente para sistemas operativos con menores o mayores números de alimentaciones eléctricas y/o un mayor o menor número de elementos coincidentes.

35 En un objeto 152, por ejemplo se coloca un órgano congelado o un objeto alimenticio congelado o no congelado, en la cavidad 10. Se lleva a cabo una rutina de calibración o ajuste opcionalmente entonces para establecer los elementos variables en el sistema. Esto puede incluir la salida de potencia de los amplificadores 112 en cada una de las alimentaciones eléctricas a la cavidad en cada frecuencia, seleccionar para que se transmita, el conjunto finito de sub-bandas de frecuencias de cada VCO 102, el método para proporcionar energía a las diversas frecuencias (por ejemplo barrido u otra variación de frecuencia, o la provisión de una señal pulsada que incorpora la frecuencia deseada y características de la potencia), el posicionamiento de los elementos coincidentes (por ejemplo, 22, 24), la posición del objeto calentado y cualquiera de las otras variables que afectan las diversas características del proceso de calentamiento, por ejemplo - la uniformidad y/o rendimiento de la transferencia de potencia al objeto. Una memoria contiene los criterios 156 para calibrar el sistema. Los criterios ejemplares se describen a continuación. Se lleva a cabo la calibración 160 para determinar las nuevas variables de calentamiento. Se resume una rutina de calibración ejemplar en el diagrama de flujo de la Fig. 7, descrito a continuación.

40 Después que se determinan las nuevas variables, se establecen las nuevas variables 158 y comienza el calentamiento 170.

45 Periódicamente (por ejemplo unas cuantas veces por segundo), el calentamiento se interrumpe por un corto tiempo (tal vez sólo unos pocos milisegundos o decenas de milisegundos) y se determina 154, opcionalmente basado en un método descrito a continuación, si el calentamiento se debe terminar. Si debe, entonces termina el calentamiento 153. Si el criterio o los criterios para terminar el calentamiento no se cumplen, entonces se introduce la rutina de calibración (o reajuste) 160. Si no, se reanuda el calentamiento 170. Se debe notar que durante la fase de medición, el barrido es generalmente mucho más amplio que durante la fase de calentamiento.

50 Se describirá la rutina de calibración 160 para cada canal individual, con referencia al diagrama de flujo de la Fig. 7.

55 A fin de llevar a cabo la calibración, se establece la potencia opcionalmente a un nivel suficientemente bajo 162 de manera que no tenga lugar el calentamiento sustancial, pero lo suficientemente alto de manera que se puedan detectar con fiabilidad las señales generadas. Alternativamente, puede tener lugar la calibración a máxima o media potencia. La calibración en niveles de potencia casi operacionales puede reducir el rango dinámico de algunos componentes, tal como el VCA, y reducir su costo.

Cada una de las entradas se barre entonces 164 entre una frecuencia mínima y una máxima para el canal. Opcionalmente, las frecuencias superior e inferior son 430 y 450 MHz. Se pueden usar otros rangos, tales como 860-900 MHz y 420-440. Se debe creer que sustancialmente cualquier rango entre 300-1000 MHz o incluso de hasta 3 GHz es útil dependiendo de la tarea de calentamiento que se lleva a cabo. Cuando se usa la banda ancha, los amplificadores de alto rendimiento descritos anteriormente, se puede barrer el ancho de banda mucho mayor de varios cientos de MHz o más, dentro del rango de los amplificadores. El barrido puede estar por encima de varias bandas no contiguas, si más de una banda contigua satisface los criterios para su uso en el calentamiento.

Los coeficientes de reflexión de entrada S_{11} , S_{22} , y S_{33} y los coeficientes de transferencia $S_{12}=S_{21}$, $S_{13}=S_{31}$, $S_{23}=S_{32}$ se miden durante el barrido y se determina un rendimiento de potencia neta como (para el puerto 1 por ejemplo), como:

$$\eta_1 = 1 - (\text{Potencia reflejada del puerto 1} + \text{potencia acoplada a los puertos 2 y 3}) / \text{potencia de entrada}$$

El presente inventor ha encontrado que bajo muchos regímenes de funcionamiento es deseable maximizar ciertos criterios.

En una primera modalidad de la invención, el rendimiento de potencia neta máxima para cada puerto se maximiza, en el sentido de, que el rendimiento de potencia neta en un punto de rendimiento máximo dentro del rango de barrido se hace lo más alto posible. Se destaca el rendimiento y la frecuencia en la que el rendimiento está en un máximo. Opcionalmente, se destacan también el ancho del pico de rendimiento y un factor Q.

Una segunda modalidad de la invención está basada en un criterio similar. Para esta modalidad se determina el área bajo cada pico de resonancia del rendimiento neto de transferencia. Esta área debe ser un máximo. Se destacan el rendimiento, la frecuencia central de la resonancia que tiene el área máxima y su ancho.

En una modalidad de la invención, los criterios para determinar si las variables se establecen adecuadamente es cuando el rendimiento neto del pico (primera modalidad) o el área o un ancho (segunda modalidad) está por encima de cierto nivel predeterminado o un factor Q está por debajo de cierto nivel predeterminado. Por ejemplo, puede haber una restricción de que se maximiza el área de rendimiento neto por encima de 60% para cada una de las alimentaciones.

Se debe notar que se absorbe la energía que ni se refleja ni se transmite a los otros puertos o bien en las paredes de la cavidad o en el objeto que se calienta. Dado que la absorción en las paredes conductoras es mucho menor que en el objeto por un factor importante, el rendimiento neto se aproxima por la proporción de la potencia de entrada que se absorbe en el objeto. Se debe notar también que la frecuencia del rendimiento neto máxima no es necesariamente la misma que la frecuencia en la cual es mejor el ajuste.

En una modalidad de la invención, la frecuencia se barre mientras que se ajusta la potencia. El término barrido se debe entender para incluir la transmisión en serie de frecuencias no contiguas individuales, y la transmisión de los pulsos sintetizados que tiene el contenido espectral de frecuencia/potencia deseado.

Los presentes inventores han descubierto que cada frecuencia tiene la absorción máxima en una localización específica dentro de un objeto dentro de una cavidad, que las localizaciones pueden variar entre las diferentes frecuencias. Por lo tanto barrer un rango de frecuencias puede provocar el movimiento de la región del pico de calentamiento dentro del objeto, las simulaciones por computadora han mostrado que, al menos cuando el factor Q de un pico es bajo (es decir, una gran cantidad de energía se disipa en el objeto que se calienta) el movimiento de la región del pico de calentamiento puede ser bastante sustancial. Además, los inventores han encontrado que cada modo (representado por pico un diferente de rendimiento) actúa de manera diferente cuando se barre.

La Fig. 11A es un diagrama de flujo simplificado 200 de un método para determinar las características de potencia de barrido, de acuerdo con una modalidad de la invención. Este método corresponde a los eventos 160 y 158 del diagrama de flujo de la Fig. 6.

Después de colocar el objeto en la cavidad (152) la cavidad se barre para determinar el rendimiento de entrada como una función de la frecuencia (202) (por ejemplo, obtener una imagen espectral). La determinación del rendimiento de entrada se describió en detalle anteriormente. Alternativamente, se suministra un pulso de energía, que tiene un espectro amplio en el rango de interés a la entrada. Se determinan la energía reflejada y la energía transmitida en otras entradas y se analizan sus espectros, por ejemplo usando el análisis de Fourier. Usando cualquiera de los métodos, se puede determinar el rendimiento de potencia neta como una función de la frecuencia.

Bajo algunas condiciones, donde los objetos similares se han calentado previamente, se pueden desarrollar y usar un conjunto de tablas para diferentes tipos y tamaños de objetos como un atajo en lugar de las mediciones escasamente separadas.

La Fig. 11 B muestra una curva de rendimiento de potencia neta simplificada 250 en una entrada. Se debe notar que

hay regiones en las que el rendimiento es alto y otras en las que el rendimiento es bajo. Además, algunos de los picos de rendimiento son más amplios y otros son más estrechos.

5 A continuación, se determina el ancho de banda de barrido total (BW) (204). Esto puede incluir barrer a través de un solo pico o a través de varios picos.

10 En una modalidad de la invención, durante la fase de calentamiento, la frecuencia se barre a través de una porción de cada uno de los picos, de alto rendimiento. Por ejemplo, para proporcionar el calentamiento uniforme de objetos se cree que la potencia introducida en la cavidad en cada frecuencia debe ser la misma. Por lo tanto, en una modalidad de la invención, la potencia en cada frecuencia se ajusta de manera que $P\eta$ es una constante para todas las frecuencias en el barrido. Dado que la potencia disponible se limita siempre a algún valor, esta puede establecer un límite en el ancho de banda disponible para el barrido. Un ejemplo de un límite inferior del rendimiento se muestra como línea punteada 252 en la Fig. 11B. El barrido se puede limitar a las frecuencias que tienen el rendimiento por encima de este valor.

15 A continuación, se establecen las posiciones de los elementos de ajuste de campo. Este ajuste es opcional y en algunas situaciones, incluso donde están presentes tales elementos, ellos no necesitan ajustarse. Generalmente, el criterio para tal ajuste es que los picos tienen tan alto rendimiento como es posible con un pico tan amplio como posibles aplicaciones específicas pueden introducir objetivos adicionales, tales como mover el pico a una cierta banda.

20 Se usa un proceso iterativo (206, 208) para determinar una posición y/u orientación deseada de los elementos de ajuste de campo. Cuando se completa el proceso de búsqueda que puede ser cualquier proceso de iteración como se conoce en la materia, se establecen los elementos en la mejor posición encontrada. (210).

25 En una modalidad de la invención, el barrido se ajusta (212) para evitar la alimentación de exceso de potencia en ciertas partes del objeto por ejemplo, si el objeto contiene una barra de metal o un cierre de metal, se puede generar un pico alto en el rendimiento 254. Una barra de metal puede provocar una concentración de energía cerca de los extremos de la barra. Evitar la irradiación en este pico puede reducir a veces los efectos de tales objetos en el calentamiento uniforme.

30 A continuación, se determinan los parámetros de barrido (214).

35 La Fig. 11C muestra el espectro de potencia 256 de la energía que se introduce a la entrada, de acuerdo con una modalidad de la invención. Se debe notar que no se transmite energía a la característica de frecuencia de la barra y que para otras frecuencias para las cuales el rendimiento está por encima se muestra el mínimo en 252 en la Fig. 11B. La potencia tiene una forma que es de manera que el producto de rendimiento η y la potencia suministrada es constante sustancialmente.

40 En una modalidad alternativa de la invención, la energía se suministra al puerto en forma de un pulso en lugar de como energía de barrido. Se genera un primer pulso, tal como el mostrado en la Fig. 11C por un sintetizador de pulso. Este pulso se amplifica y se introduce en la entrada. El sintetizador de pulso reemplazaría entonces el VCO 102 (Fig. 5B). Se entiende que el sintetizador de pulso se puede programar además para producir un barrido para su uso en la determinación de la dependencia de la frecuencia de η (evento 164 de la Fig. 7).

45 Se lleva a cabo una búsqueda para una posición de los elementos coincidentes en la que el rendimiento de potencia neta en todas las alimentaciones cumple con los criterios. Esto se indica en las cajas 214 y 216, que representan una búsqueda llevada a cabo cambiando las posiciones y/u orientaciones de los elementos coincidentes. Se pueden usar las técnicas de búsqueda estándares (iteración) o una red neural o se puede usar otro sistema de aprendizaje, especialmente si se calienta el mismo tipo de objeto reiteradamente, como es común para los usos industriales.

50 Cuando se cumplen los criterios, entonces la potencia se eleva a un nivel adecuado para calentar y barrer opcionalmente. La potencia se normaliza en los amplificadores respectivos opcionalmente para proporcionar una misma potencia neta en la cavidad (y por lo tanto, en el objeto) para cada puerto. Opcionalmente, el puerto menos eficiente determina la potencia en el objeto. Aunque en los hornos del arte anterior, el usuario decide el tiempo de calentamiento, en algunas modalidades de la presente invención se puede predecir generalmente el tiempo de calentamiento deseado.

55 Volviendo de nuevo a la Fig. 6, hay una serie de metodologías para llevar a cabo el calentamiento 170.

60 En una modalidad de la invención, la potencia se introduce en todas las alimentaciones al mismo tiempo. Esto tiene la ventaja de que el calentamiento es más rápido. Tiene la desventaja de que son necesarios los tres conjuntos separados del sistema de circuitos.

65 En una segunda modalidad de la invención, la potencia se introduce a las alimentaciones en serie, por períodos cortos. Potencialmente, sólo se necesita un solo conjunto de la mayor parte de los circuitos, con un interruptor que se usa para transferir la potencia de alimentación a alimentación. Sin embargo, para la calibración, se debe proporcionar un método para medir la potencia transmitida de puerto a puerto. Este sistema de circuitos se podría usar también para ajustar las alimentaciones cuando la potencia no se suministra a ellas. Un diferente tipo de sistema de circuitos para proporcionar

tanto el calentamiento como la funcionalidad de calibración, de acuerdo con una modalidad de la invención, se muestra en la Fig. 8, correspondiente al sistema de circuitos de la Fig. 5B.

5 Se usan los mismos números de referencia en la Fig. 8 como en la Fig. 5B, excepto cuando se indique a continuación. Tal sistema tiene la ventaja de ser mucho menos costoso. Es, por supuesto, más lento. Sin embargo, permite un método adicional de ecualizado, en el que la duración del tiempo (ya sea solo o junto con el cambio de la potencia de entrada) durante el cual se suministra cada alimentación se ajusta de manera que la energía en cada la alimentación es la misma (o diferente si se desea).

10 La Fig. 8 es similar a la Fig. 5B hasta la salida del interruptor de RF 116. El siguiente interruptor de RF 116 un segundo interruptor de RF 192 transfiere la potencia entregada por el amplificador a una de las alimentaciones. Se muestra solamente el sistema de circuitos 200 relacionado con la alimentación 2.

15 El sistema de circuitos 200 funciona en uno de dos modos. En un modo de transferencia de potencia, una señal de control 130 interrumpe la potencia desde el interruptor de RF 192 hasta el acoplador de doble dirección 120, a través de un interruptor de RF 194. El resto del funcionamiento del puerto es como se describió anteriormente. En un modo pasivo, la entrada al interruptor de RF 194 no recibe la potencia desde el amplificador 112. El interruptor 194 conecta una carga 190 a la entrada del acoplador de doble dirección 120. En el modo pasivo, la carga 190 absorbe la potencia que se suministra desde la cavidad en la alimentación. Para la simplificación adicional de los sistemas de producción del
20 acoplador direccional 120 puede ser posible, reemplazar el acoplador de doble dirección con un acoplador de una sola dirección.

25 Se debe notar que los interruptores 116 y 192 y opcionalmente los interruptores locales se pueden combinar en una red de interruptores más compleja. Alternativamente o adicionalmente, el interruptor de RF 194 se puede reemplazar por el circulador de manera que la potencia retornada desde la alimentación se descarga siempre en la carga 190.

30 O bien en la modalidad de la Fig. 5B o en la modalidad de la Fig. 8, la frecuencia de la potencia suministrada a un puerto se puede suministrar en la frecuencia central del modo de resonancia que acopla la potencia neta más alta, es decir, el punto de rendimiento máximo de la transferencia de energía al objeto que se calienta. Alternativamente, la frecuencia se puede barrer a través del ancho de la resonancia o, con mayor preferencia a lo largo de una porción del ancho, por ejemplo entre los puntos de -3 dB de la curva del rendimiento de potencia, o como se describió anteriormente con respecto a las Figs. 11A-11C. Como se indicó anteriormente, opcionalmente, la potencia se ajusta durante este barrido de manera que la potencia de entrada neta permanece constante o casi constante durante el barrido. Esto se puede lograr cambiando la amplificación de potencia del amplificador de potencia inversamente al
35 rendimiento de potencia de la frecuencia instantánea que se suministra.

40 Volviendo de nuevo a la Fig. 6, se hace referencia además a la Fig. 9, que muestra un gráfico de la frecuencia de un pico particular con el tiempo para un proceso de descongelado típico. Este gráfico ilustra un método de uso de los cambios en las propiedades del objeto durante un proceso de descongelado para determinar cuando está completo el proceso.

45 La ordenada de la Fig. 9 es la frecuencia seleccionada como una entrada para una de las alimentaciones. La abscisa es el tiempo. Durante el descongelado de un objeto, el hielo en el objeto se convierte en agua. El hielo y el agua tienen diferente absorción de energía de UHF o microondas, lo que resulta en una pérdida de retorno diferente y acoplamiento como una función de frecuencia. El ajuste no solamente hace este cambio, pero al menos después de reajustar mediante el ajuste de los elementos coincidentes, cambia la frecuencia del pico de rendimiento de absorción. En el punto A, parte del hielo ha comenzado a transformarse en agua y la frecuencia de ajuste cambia. En el punto B, todo el hielo se ha transformado en agua y la frecuencia de ajuste detiene el cambio. Monitoreando la frecuencia descrita anteriormente y especialmente su tasa de cambio, se puede determinar el punto en el que todo el hielo se convierte en agua y el calentamiento ha terminado, si solamente se desea descongelar. Se debe notar que el cambio de frecuencia durante el descongelado es grande, como se describe en la presente, comparado a los cambios de frecuencia permitidos en el arte anterior.

50 Uno de los problemas de descongelar una masa sólida de forma irregular y estructura interna irregular es que generalmente es imposible determinar cuando todo el hielo se ha convertido en agua. Por lo tanto, generalmente, en el arte anterior, se permite un recalentamiento para asegurar que no hay hielo, lo que, teniendo en cuenta el calentamiento desigual del arte anterior, mejoraría la recristalización, si quedó algún hielo.

55 Los métodos de calentamiento y aparatos de la presente invención, que permiten tanto el calentamiento uniforme como proporcionar el conocimiento del avance del descongelado, pueden resultar en la recristalización mucho menor e incluso inexistente.

60 El aparato y método de acuerdo con la presente invención se han usado para descongelar un hígado de cerdo, sushi o maki y para cocer un huevo en la cáscara.

65 La siguiente tabla muestra una comparación del descongelado de un hígado de vaca por el sistema de la presente invención y que usa un horno de microondas convencional.

Tabla 1: Comparación del método inventivo y microondas convencional- hígado de vaca

Medición	Método inventivo	Microondas convencionales
Temperatura inicial	-50°C	-50°C
Temperatura final después del descongelado	8°C a 10°C	-2°C a 80°C
Potencia	400 Watt	800 Watt
Tiempo de descongelado	2 minutos	4 minutos
Daño visible	Ninguno	Se destruyó la textura de la muestra descongelada. Hay regiones congeladas a lo largo del lateral quemado. No hay posibilidad de supervivencia de células vivas.

- 5 La siguiente tabla muestra una comparación entre el descongelado del maki que contiene pescado crudo cubierto por arroz y envuelto en algas, por el sistema de la presente invención y que usa un horno de microondas convencional.
 Tabla 2: Comparación del método inventivo y microondas convencional-maki

Medición	Método inventivo	Microondas convencionales
Temperatura inicial	-80°C	-80°C
Temperatura final después del descongelado	2°C a 6°C	-5°C a 60°C
Potencia	400 Watt	800 Watt
Tiempo de descongelado	40 segundos	1 minuto
Daño visible	Ninguno	El proceso de descongelado coció parte del salmón, por lo tanto dejó de ser maki.

- 10 Se coció un huevo usando el presente método. Generalmente, los huevos se revientan si se hace un intento de cocerlos en un horno de microondas. Sin embargo, usando el sistema descrito anteriormente se coció un huevo en la cáscara. La parte blanca y la amarilla ambas se cocieron bien, y la blanca no quedó más dura que la amarilla. Ninguna parte quedó seca o gomosa y el sabor era muy bueno, con poca o ninguna diferencia de un huevo cocido duro convencional.
 15 Adicionalmente, el pescado ultracongelado se ha descongelado sin dejar ninguna de las porciones congeladas y sin que ninguna de las porciones se caliente por encima de las temperaturas de cocido.

20 En cada uno de los experimentos anteriores, la frecuencia y la potencia se ajustaron automáticamente y los elementos coincidentes se ajustaron manualmente, de acuerdo con el método dado anteriormente para el ajuste automático.

25 Los inventores creen que la metodología de la presente invención es capaz de descongelar los objetos que están ultracongelados a casi por encima de cero con una variación de temperatura de menos de 40 °C, opcionalmente de menos de 10 °C, 5 °C e incluso tan baja como una diferencia de 2 °C. Se han alcanzado tales resultados en experimentos llevados a cabo por los inventores, para un hígado de vaca, por ejemplo.

30 Descongelar los objetos tales como carne y pescado con tales bajas diferencias y a altas velocidades tiene el potencial para la prevención del desarrollo de la salmonella, botulismo y otros tóxicos alimenticios. El descongelado uniforme, controlado tiene implicaciones importantes en el descongelado de órganos para el trasplante, sin la destrucción de los tejidos.

35 La Fig. 10 muestra el aparato para aplicar una DC o una frecuencia relativamente baja (de hasta 100 kHz o 100 MHz) a un objeto en la cavidad, de acuerdo con una modalidad de la invención. Esta figura es similar a la Fig. 1, excepto que la cavidad incluye las dos placas 250 y 252. Un suministro de potencia (no se muestra) electrifica las placas con un alto voltaje diferencial en una DC o en la frecuencia relativamente baja. El objetivo de este campo de baja frecuencia es reducir la rotación de las moléculas de agua. El hielo es agua a estado sólido por lo tanto se restringen sus modos de rotación. Un objetivo es restringir los modos de rotación del agua líquida a fin de hacer que se determine la tasa de calentamiento por la del hielo. Los presentes inventores creen también que los campos de baja frecuencia pueden cambiar la constante dieléctrica de los materiales que hace que el objeto se caliente, permitiendo un mejor ajuste de la entrada al objeto.
 40

En una modalidad alternativa de la invención se aplica una DC o campo magnético de baja frecuencia colocando uno o más enrollados dentro de o preferentemente fuera de la cavidad para provocar la alineación de las moléculas en el

objeto. Es posible combinar la baja frecuencia o energía eléctrica de DC y la baja frecuencia o campos magnéticos de DC con posibles fases diferentes de diferentes direcciones.

5 La Fig. 12A muestra una cavidad 98 con un enrollado del calentador interno 600 colocado dentro de la cavidad. Una entrada 602 y una salida 604 se prevén para alimentar un fluido caliente a través del enrollado para calentar el aire dentro de la cavidad.

10 Las Figs. 12B y 12C muestran dos ilustraciones esquemáticas de un sistema para transferir calor desde un amplificador de alta potencia 606 hasta el enrollado. Incluso en un rendimiento de 60%, el amplificador puede generar varios cientos de watts. Esta energía (o al menos parte de ella) se puede transferir para calentar el aire y producir radiación infrarroja (como hace un enrollado de resistencia) en la cavidad para aumentar el rendimiento de calentamiento.

15 La Fig. 12B muestra un diagrama muy esquemático para ilustrar cómo se captura el calor residual de un amplificador 606. La Fig. 12C muestra un diagrama en bloque del mismo sistema. El elemento 608 representa un sistema de enfriamiento para el fluido de retorno y un sistema de bombeo del fluido. Se recibe el fluido de retorno de la salida 604, se enfría el líquido (si es necesario) y se bombea el líquido en una separación 610 entre el amplificador 606 y un disipador de calor opcional 612. La temperatura a la entrada de la separación y en su salida se miden preferentemente por los sensores 614 y 616 y se introducen a un sistema de control 618, que controla una y opcionalmente más de una tasa de enfriamiento y bombeo para proporcionar una transferencia de calor deseada a la cavidad. Se puede proporcionar un ventilador 620 para enfriar el disipador de calor cuando sea necesario. El fluido que pasa entre el amplificador y el disipador de calor funciona también para transferir calor del amplificador y el disipador de calor. Opcionalmente los equipos conductores de calor pueden transferir calor entre el amplificador y el disipador de calor con el fluido que pasa entre los nervios para recoger el calor.

25 Alternativamente, se pueden usar las tuberías de calor u otros medios para recoger y transferir energía a la cavidad. Alternativamente, se podría pasar aire caliente sobre el amplificador y/o disipador de calor y pasar a la cavidad.

30 El uso de los amplificadores de alto rendimiento con o sin transferencia de calor a la cavidad pueden resultar en sistemas altamente eficientes, con un rendimiento total de 40-50% o más. Dado que se usan los amplificadores con voltajes relativamente altos (40 V-75 V), la necesidad de transformadores grandes es obvia y los disipadores de calor pueden ser pequeños e incluso inexistentes, con el amplificador que transfiere calor a la carcasa del calentador.

35 Optimizando el sistema, un calentador como el que se muestra en la Fig. 12D, que incluye una carcasa 650, los amplificadores y el controlador, así como una interfaz de usuario 652 y una puerta 654, como el que se encuentra normalmente en un horno de microondas puede pesar tan poco como 10 o 15 Kg o menos.

40 Aunque los solicitantes han utilizado las frecuencias de UHF para calentar en los ejemplos descritos anteriormente, en lugar de la frecuencia mucho mayor de 2.45 GHz usada en el arte anterior, para las aplicaciones de calentamiento además de descongelar, puede ser deseable una frecuencia diferente. Las frecuencias de UHF son absorbidas preferentemente por el hielo y tienen una longitud de onda más larga que las frecuencias mayores, de manera que los campos dentro del objeto son más uniformes y el hielo se calienta preferentemente cuando se compara al agua. Esto se proporciona para el calentamiento preferencial del hielo e incluso el descongelado uniforme.

Las mediciones adicionales que se pueden tomar para mejorar la uniformidad son:

45 1) Se pueden insertar diversos tipos y tamaños de materiales conductores tales como pequeños granos de material conductor en polvo (oro) en la muestra anteriormente al proceso de congelación (por ejemplo a través de la circulación de la sangre o fluido de enfriamiento) y servir como fuentes reflectantes. La inserción se puede hacer usando alguna plantilla de material no conductor (que absorbe o no) que sostiene los objetos conductores. Estas fuentes de energía pasiva pueden mejorar la uniformidad de la absorción de radiación de EM.

50 2) La penetración de los materiales que cambian sus características dieléctricas depende de la temperatura de una manera que es diferente a la de la muestra. Inyectar estos materiales permitirá los cambios en las características dieléctricas de la muestra en la dirección deseada para alcanzar el calentamiento uniforme y rápido.

55 3) El uso de sondas para la medición de varios parámetros del proceso de calentamiento tales como la temperatura, presión, y así sucesivamente: Estas sondas se pueden insertar dentro de la muestra anteriormente al proceso de congelación o acoplar adyacente a la muestra en cualquier etapa del proceso. La medición de estos parámetros proporciona un medio para la supervisión (control) del proceso de calentamiento de manera que si el calentamiento no es óptimo será posible hacer cambios en varios parámetros del proceso. Hay sondas disponibles que son adecuadas para la medición durante el calentamiento en un dispositivo de microondas. Estas sondas pueden servir también como una indicación de cuando detener un proceso de descongelado o cocido.

60 Tales sondas se pueden incluir en una bolsa en la que el objeto a calentar se coloca y pueden incluir un elemento

resonante cuya frecuencia resonante se hace para variar con la temperatura mediante la inclusión de una temperatura dependiente del elemento tal como una temperatura dependiente de la resistencia o del condensador.

5 Las sondas se pueden proporcionar con circuitos resonantes cuya frecuencia depende de la temperatura. Tales sondas se pueden escanear durante el escaneo usado para establecer los parámetros de barrido para determinar la temperatura. Durante la transferencia de potencia, se deben evitar estas frecuencias generalmente. En una modalidad de la invención, se para una etiqueta sensible a la temperatura con una etiqueta insensible a la temperatura y los cambios en la frecuencia de la etiqueta sensible a la temperatura se determinan por una diferencia de frecuencia entre las dos. Esto permite una medición más precisa de la temperatura que utiliza una medición absoluta de la frecuencia de la etiqueta sensible a la temperatura.

10 4) El embalaje de la muestra en el material que no absorbe la radiación de EM en las frecuencias específicas: Este tipo de embalaje puede servir como empaque para la muestra durante el transporte y como parte o sistema de sonda por el cual es posible medir la temperatura y los parámetros adicionales en los bordes de la muestra. Este embalaje puede servir como refrigeración local para las superficies externas de la muestra (que usualmente tienen una tendencia a calentar más rápido que el resto de la muestra) a fin de alcanzar la uniformidad en el calentamiento de la muestra.

15 Además, el embalaje puede incluir la identificación del objeto para ayudar en el seguimiento del objeto y proporcionar además una indicación al sistema de un protocolo preferido para calentar el objeto. Por ejemplo el embalaje se puede proporcionar con un número de elementos resonantes que se pueden detectar cuando la cavidad se barre durante la calibración. Las frecuencias de los elementos se pueden usar para proporcionar una indicación de la identificación del objeto. Esto permite el establecimiento automático o semiautomático de los parámetros de inicio para la calibración y/o para un protocolo de calentamiento particular, optimizado para el objeto particular y las condiciones.

20 Alternativa o adicionalmente, para los circuitos resonantes, se proporciona un elemento de registro/almacenamiento de un tipo diferente, por ejemplo, en forma de un elemento RFID o un código de barra, que incluye en el mismo una indicación del contenido de un empaque o envoltura que incluye el objeto, el tratamiento sugerido del mismo y/o las instrucciones de calentamiento. En una modalidad ejemplar de la invención, se proporcionan las instrucciones exactamente en un sitio remoto, indexado a una tecla almacenada por el elemento de registro. Tales instrucciones pueden ser, por ejemplo, almacenadas en una tabla o generadas de acuerdo con una solicitud, basada en la información relacionada con la identificación.

25 Se proporciona opcionalmente un lector en el calentador, por ejemplo, un lector de RFID o un lector de código de barra para leer la información de un empaque o una envoltura del mismo.

30 En una modalidad ejemplar de la invención, después que el objeto se prepara, se almacenan opcionalmente varios tipos de información en (o en asociación con) el elemento de registro, por ejemplo, tamaño, peso, tipo de empaque y/o las instrucciones de cocido/descongelado/calentamiento.

35 El elemento de registro ha almacenado las instrucciones de cocido específicas con el mismo. Alternativamente o adicionalmente, el elemento de registro ha almacenado en el mismo información con relación a la forma del plato y/o las propiedades dieléctricas de sus contenidos. Se debe notar que para las porciones en forma industrial, si la forma del alimento está relativamente regular entre los platos, el movimiento del alimento y/o los cambios en tamaño y/o pequeños cambios en la forma no afectarán generalmente la uniformidad demasiado, por ejemplo, el desplazamiento de una región/límite de calentamiento en 1-2 cm. Opcionalmente, el plato incluye una depresión y/u otras estructuras geométricas que empujan el producto alimenticio para mantener una posición deseada con relación a los bordes del plato.

40 Durante el calentamiento de por ejemplo el alimento, varían los parámetros del calentamiento. El efecto de la variación puede provocar la falta de uniformidad en el espacio y/o en el tiempo. En una modalidad ejemplar de la invención, se proporciona una secuencia que define cómo y qué variar. Opcionalmente, la secuencia incluye las decisiones tomadas de acuerdo con el tiempo (por ejemplo, la estimación de un efecto) y/o el estado del alimento (por ejemplo, la medición). Se describieron anteriormente varios métodos de medición. La estimación se basa opcionalmente en una simulación o en resultados empíricos de ciclos de calentamiento anteriores. Opcionalmente, la secuencia es condicional (por ejemplo, se modifica, se genera y/o se selecciona), por ejemplo, basada en la posición de un plato en el horno y/o las preferencias personales (que se pueden almacenar en el horno).

45 En una modalidad ejemplar de la invención, se proporciona una secuencia en el elemento de registro o en una localización remota. Opcionalmente, se selecciona una secuencia por un usuario que selecciona un efecto de calentamiento deseado.

50 En un ejemplo, un solo producto alimenticio puede experimentar diferentes niveles de potencia para diferentes tiempos, a fin de alcanzar una textura/sabor deseado.

55 En una modalidad ejemplar de la invención, se usa una secuencia para establecer diferentes niveles de energía y/o diferentes tiempos para aplicar tales energías.

En un ejemplo, una secuencia es como sigue:

- (a) Calentar todo el plato de manera que el alimento alcance una temperatura relativamente uniforme de 5 grados centígrados.
- 5 (b) Calentar de manera uniforme todo el plato al 80% durante 5 minutos y después la potencia máxima durante 10 minutos.
- (c) Calentar a 40 grados centígrados.
- (d) Mantener el calor durante 10 minutos. Se debe notar que se puede mantener un calor deseado opcionalmente estimando la absorción de energía mientras se aplica una cantidad conocida de enfriamiento. Alternativamente, se puede estimar la absorción de calor real basado en una cantidad conocida de absorción de energía y una medición de la temperatura del aire que sale de la cavidad. Opcionalmente, el horno incluye una fuente de aire de enfriamiento y/o tiene paredes enfriables y/o bandeja.
- 10 (e) Reducir el calor a 30 grados centígrados.
- (f) Esperar 10 minutos.
- 15 (g) Informar "hecho" pero dejarlo en 30 grados centígrados hasta que se retire.

En una modalidad ejemplar de la invención, la secuencia incluye otras condiciones, por ejemplo, detectar cambios en el color (por ejemplo, bronceado), vapor (por ejemplo, por el cambio de fase del agua), volumen (por ejemplo, el aumento de la masa cambiará el comportamiento de la cavidad de manera que se pueda anticipar).

- 20 Opcionalmente, la secuencia incluye una solicitud al usuario para adicionar ingredientes (por ejemplo, especias), o mezclar o reposicionar el objeto.

En una modalidad ejemplar de la invención, la secuencia tiene en cuenta la calidad del control de la uniformidad alcanzable en el horno. Por ejemplo, si se desea un mayor nivel de uniformidad que el proporcionado básicamente por el horno, el calentamiento puede incluir pausas donde se reduce la potencia, para permitir que el calor se nivele en el objeto. La longitud de los retardos está opcionalmente precalculada para las sustancias alimenticias y una falta calibrada de uniformidad del horno. Alternativamente o adicionalmente para reducir la potencia, las áreas de calentamiento y/o alimento se pueden mover una con relación a la otra de manera que se distribuye mejor el calentamiento.

- 30 En una modalidad ejemplar de la invención, no se proporciona la secuencia. En su lugar, los tiempos de calentamiento y/o parámetros se basan directamente en los resultados deseados, propiedades del alimento medidas y/o propiedades de calentamiento medidas. Tales resultados deseados se pueden proporcionar al usuario o indicar por el elemento de registro.

35 5) La inyección de líquido: (similar al líquido de enfriamiento) que es adecuada para una muestra biológica, el propósito de la cual es provocar el calentamiento uniforme: Este líquido se usa en el campo de la hipertermia. En este campo el calentamiento de un área biológica se hace a fin de eliminar un tumor canceroso. A partir del conocimiento derivado de este campo es posible entender que un líquido tal como este puede provocar un cambio drástico en la uniformidad del calentamiento y puede permitir el uso de un dispositivo de calentamiento que está más simplificado de lo que se necesitaría sin su uso.

40 6) La penetración de las fuentes de radiación activa en la muestra durante el proceso de congelación: Estas fuentes están activas, lo que significa que están conectadas a una línea de suministro externa que se usará como una fuente de radiación de EM que emanará desde dentro de la muestra.

45 La presente invención se ha descrito en parte en el contexto del descongelado. Los inventores creen que basándose en los resultados mostrados anteriormente, se puede esperar que los métodos de la presente invención, se pueden usar para hornear y cocer, áreas en la que los hornos de microondas convencionales son notoriamente débiles o para otras operaciones de calentamiento, especialmente aquellas para las que se necesita un alto nivel de uniformidad o control y/o en la que tiene lugar un cambio de fase.

50 Utilizando varias modalidades de la invención, la energía de UHF o microondas se puede depositar de manera uniforme en un objeto a poco menos de $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ o $\pm 30\%$ más de 80% o 90% o más del objeto.

55 La presente invención se ha descrito usando descripciones detalladas de las modalidades de la misma que se proporcionan a modo de ejemplo y no pretenden limitar el alcance de la invención. Las modalidades descritas

comprenden diferentes características, no todas las cuales son necesarias en todas las modalidades de la invención. Algunas modalidades de la presente invención utilizan solamente algunas de las características o combinaciones posibles de las características. Las variaciones de las modalidades de la presente invención que se describen y las modalidades de la presente invención que comprenden diferentes combinaciones de las características señaladas en las modalidades descritas se les ocurrirá a las personas del arte.

5

REIVINDICACIONES

1. Un método de calentamiento electromagnético que comprende:
- (a) colocar un objeto a calentarse en una cavidad (10);
 - 5 (b) alimentar la entrada de UHF o energía de microondas a una potencia de entrada controlada en la cavidad a través de una pluralidad (16, 18, 20) de antenas, y medir la potencia de entrada;
 - (c) cambiar automáticamente la frecuencia transmitida y determinar las potencias reflejadas correspondientes; y
 - (d) calentar el objeto alimentando la entrada de UHF o energía de microondas a una potencia de entrada de calentamiento controlada; el método se **caracteriza por**:
 - 10 (e) para cada antena en la pluralidad de antenas, y para cada frecuencia:
 - (i) medir una potencia reflejada en la dicha antena;
 - (ii) medir una potencia acoplada (S_{ij}) entre la dicha antena y la otra antena o antenas;
 - (iii) determinar un rendimiento de absorción de energía (η) como una porción de la potencia de entrada que no está en la salida de la cavidad como la potencia acoplada o reflejada; y
 - 15 (f) durante el calentamiento, ajustar automáticamente la potencia de entrada de calentamiento a la dicha antena, para cada frecuencia, en dependencia del rendimiento de absorción de energía para esa frecuencia.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye determinar reiteradamente el rendimiento de absorción de energía como las ganancias de calentamiento.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 en donde cambiar la frecuencia comprende barrer la frecuencia sobre un ancho de banda.
- 20 4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que incluye ajustar la potencia de entrada de calentamiento de manera que el producto del rendimiento de absorción de energía y la potencia de entrada de calentamiento es constante sustancialmente sobre una pluralidad de frecuencias.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 3 en donde el ancho de banda disponible para el barrido está limitado de acuerdo con la absorción del rendimiento de energía.
- 25 6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que incluye ajustar al elemento de ajuste de campo (24) en la cavidad (10).
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6 en donde el elemento de ajuste de campo (24) se ajusta para mejorar el rendimiento de absorción de energía.
- 30 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde las diferentes antenas transmiten frecuencias diferentes en potencias de entrada diferentes.
9. El aparato para el calentamiento electromagnético que comprende:
- una cavidad (10);
 - 35 medio para alimentar la entrada de UHF o energía de microondas en una potencia de entrada controlada en la cavidad a través de una pluralidad (16, 18,20) de antenas, y medir la potencia de entrada;
 - medio para cambiar automáticamente la frecuencia transmitida y determinar las potencias reflejadas correspondientes; y
 - medio para calentar el objeto alimentando la entrada de UHF o energía de microondas en una potencia de entrada de calentamiento controlada; el aparato se **caracteriza por**:
 - 40 para cada antena en la pluralidad de antenas, y para cada frecuencia:
 - (i) medio para medir una potencia reflejada (S_{ij}) en la dicha antena;
 - (ii) medio para medir una potencia acoplada (S_{ij}) entre la dicha antena y la otra antena o antenas;
 - (iii) medio para determinar un rendimiento de absorción de energía (η) como una porción de la potencia de entrada que no está en la salida de la cavidad como potencia acoplada o reflejada; y medio para ajustar automáticamente la potencia de entrada de calentamiento a la dicha antena, durante el calentamiento, para cada frecuencia, en dependencia del rendimiento de absorción de energía para esa frecuencia.
 - 45

10. El aparato de acuerdo con la reivindicación 9 en donde el controlador (130) ajusta la potencia de entrada de calentamiento de manera que un producto del rendimiento de absorción de energía (y la potencia de entrada de calentamiento es constante sustancialmente.

5 **11.** El aparato de acuerdo con la reivindicación 9 que incluye un elemento de ajuste de campo ajustable (24) en la cavidad (10).

12. El aparato de acuerdo con la reivindicación 11 en donde el controlador (130) ajusta el elemento de ajuste de campo (24) para mejorar el rendimiento de absorción de energía.

13. El aparato como se reivindica en la reivindicación 9 en donde las diferentes antenas transmiten frecuencias diferentes en potencias de entrada diferentes.

10

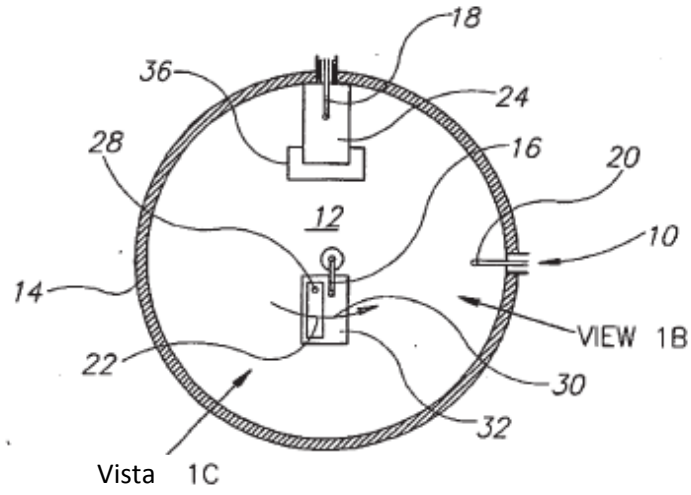


FIG. 1A

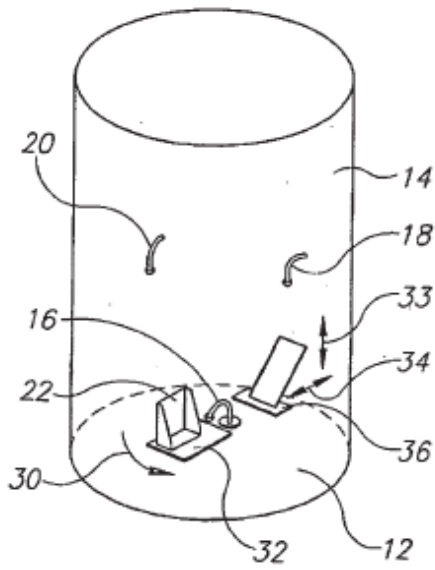


FIG. 1B

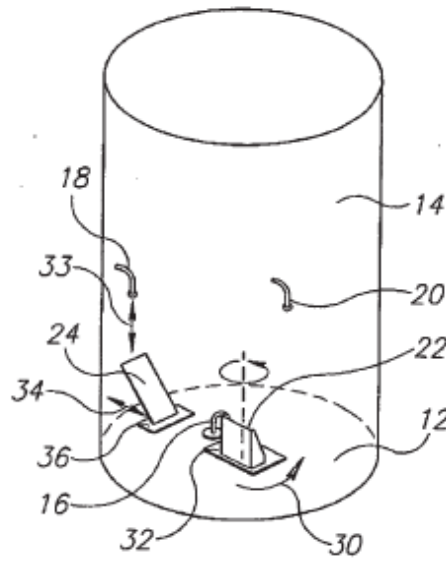


FIG. 1C

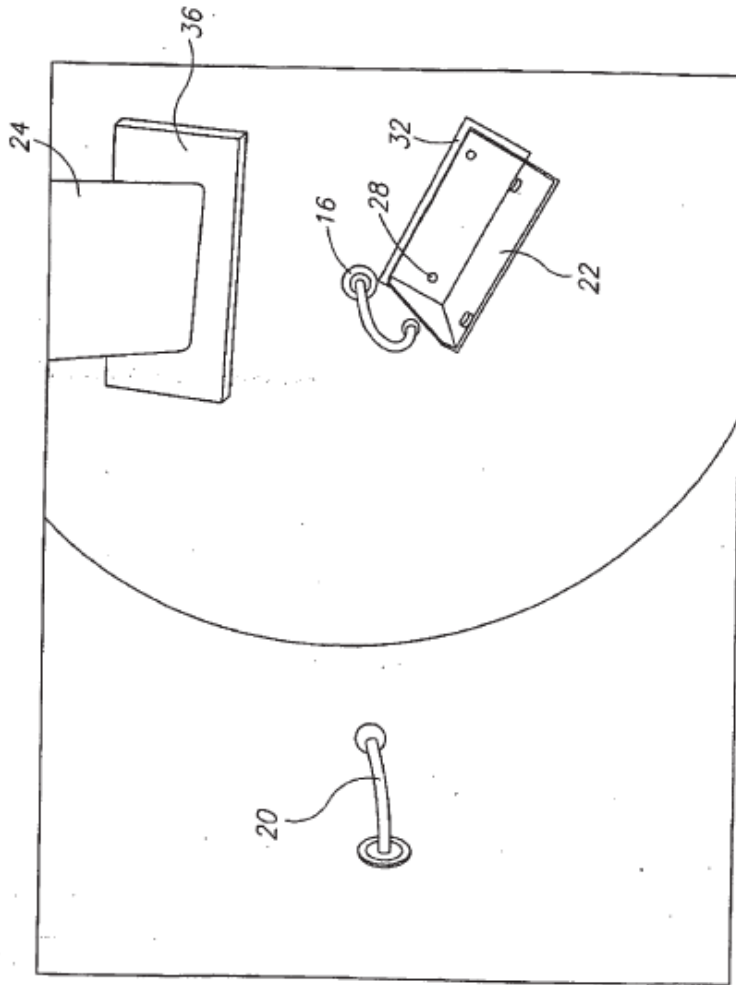


FIG.2A

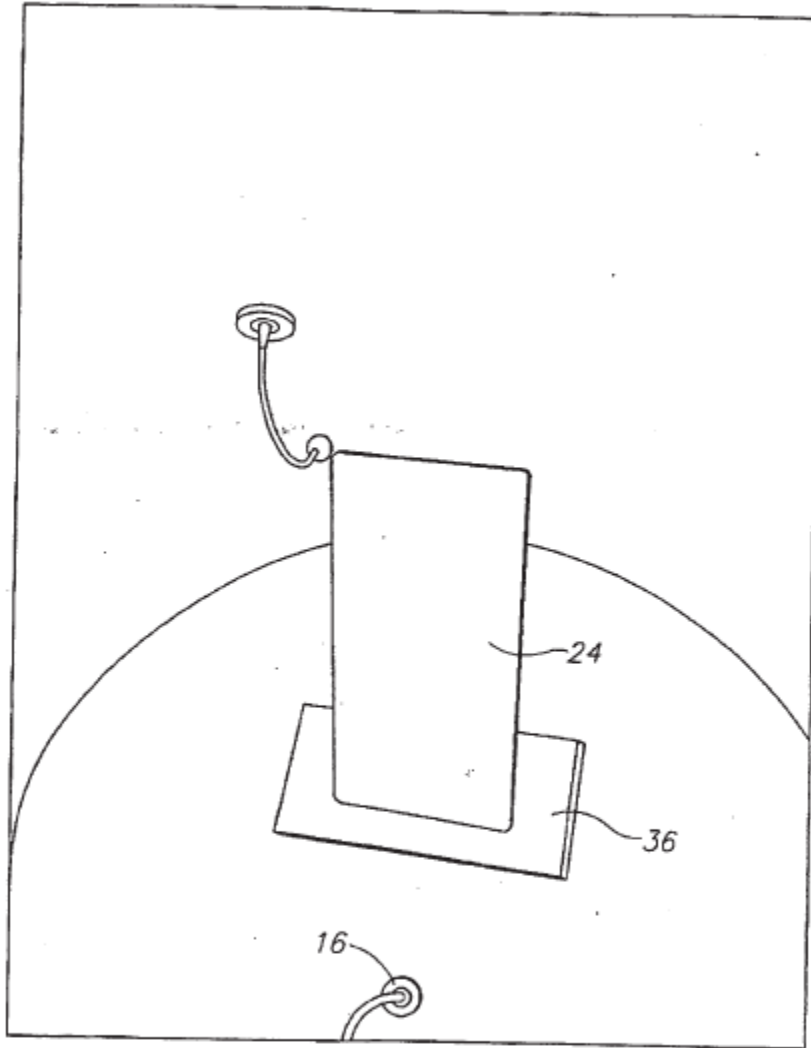


FIG.2B

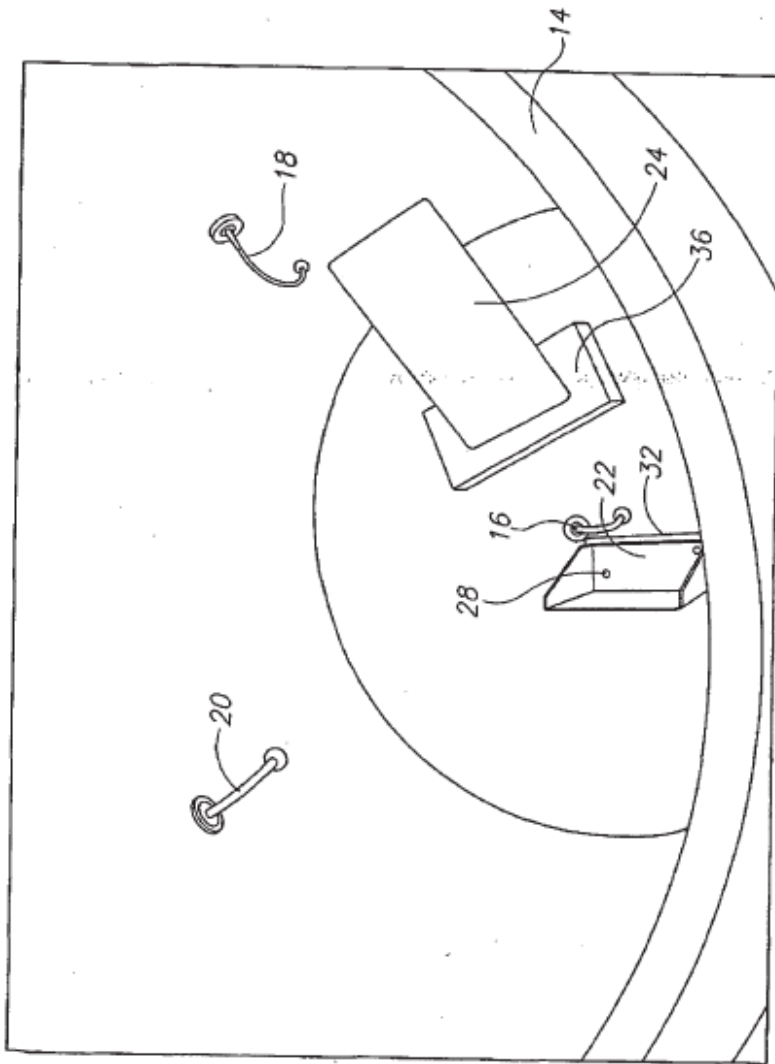


FIG. 3

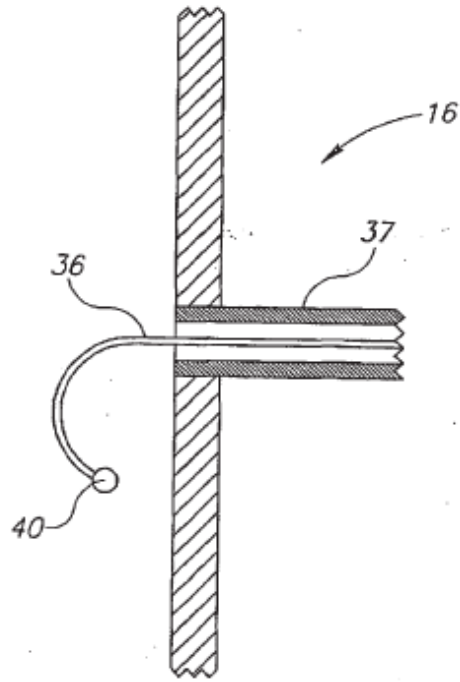


FIG.4A

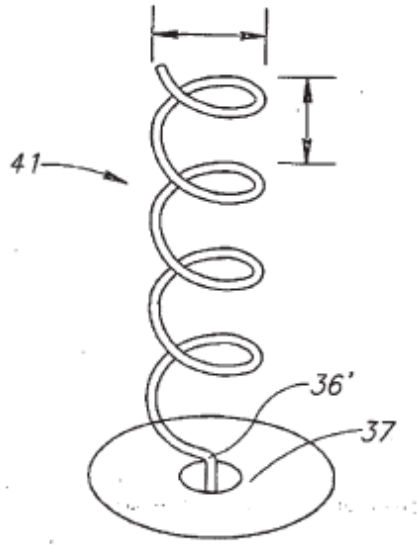


FIG.4B

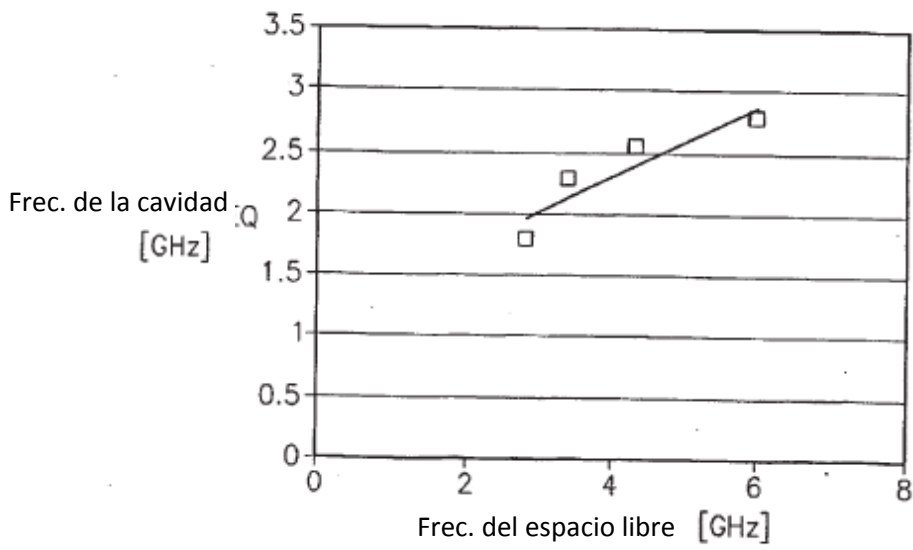


FIG.4C

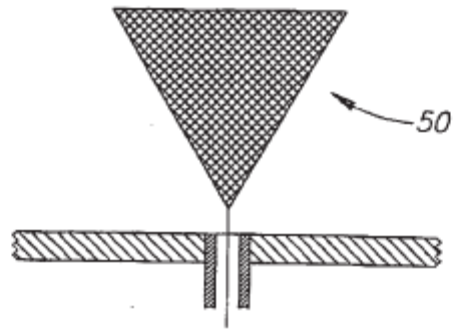


FIG. 4D

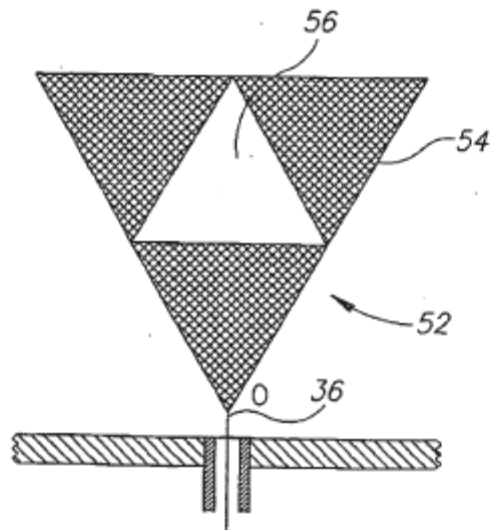


FIG. 4E

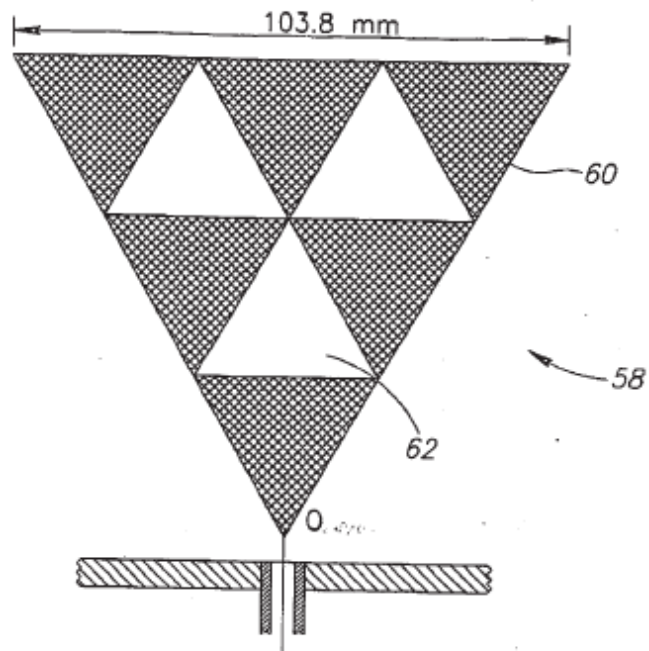


FIG. 4F

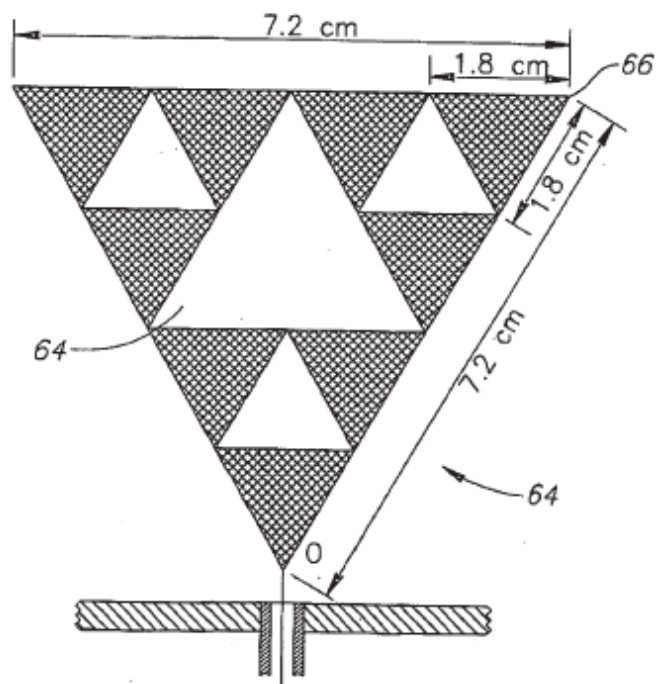


FIG. 4G

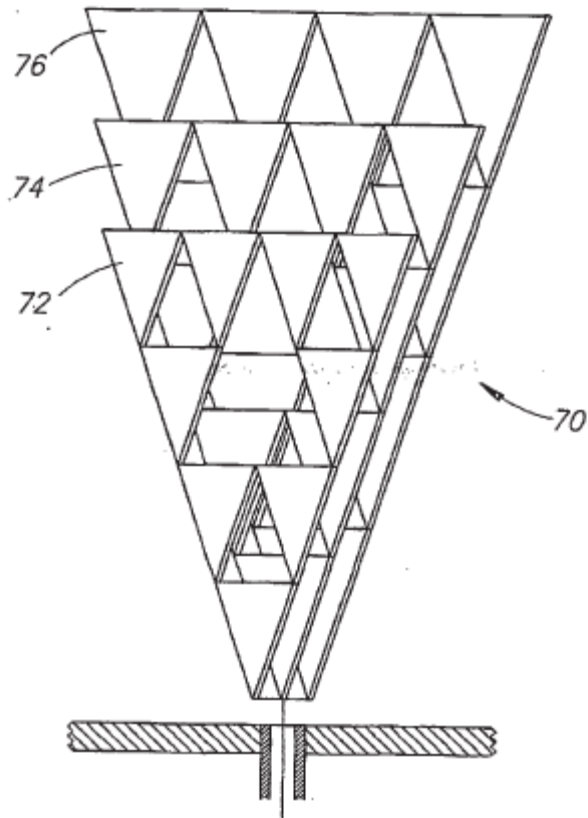


FIG.4H

90

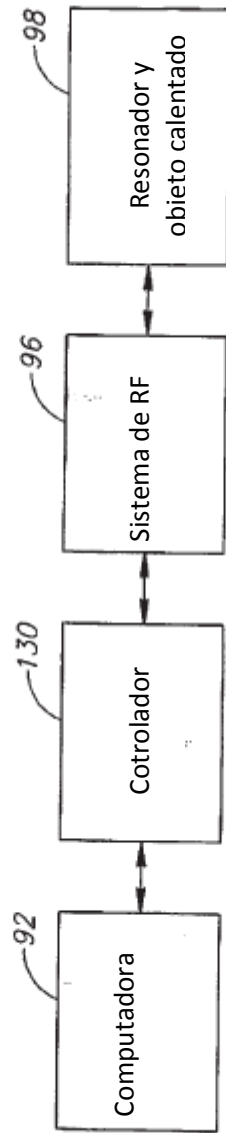


FIG.5A

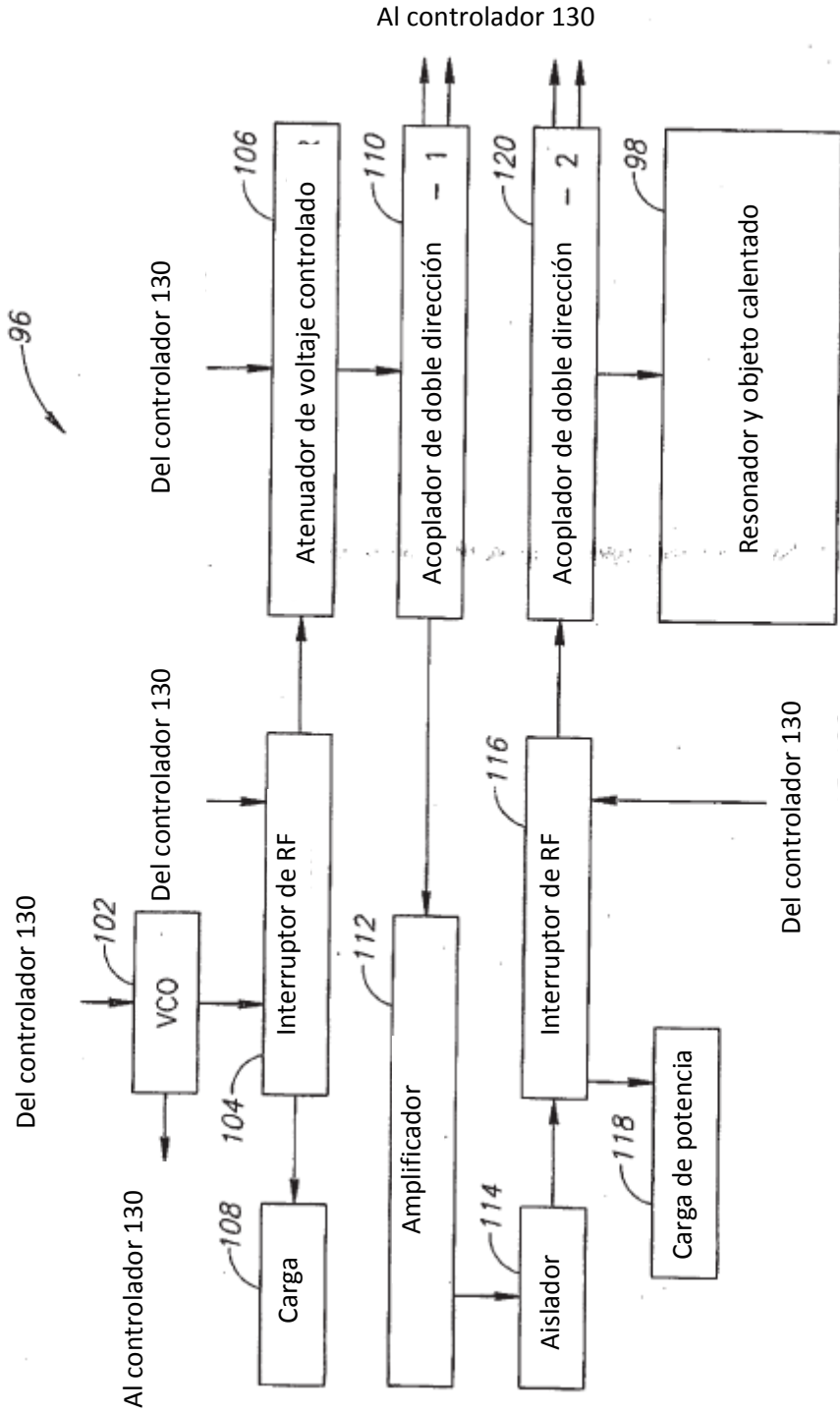


FIG.5B

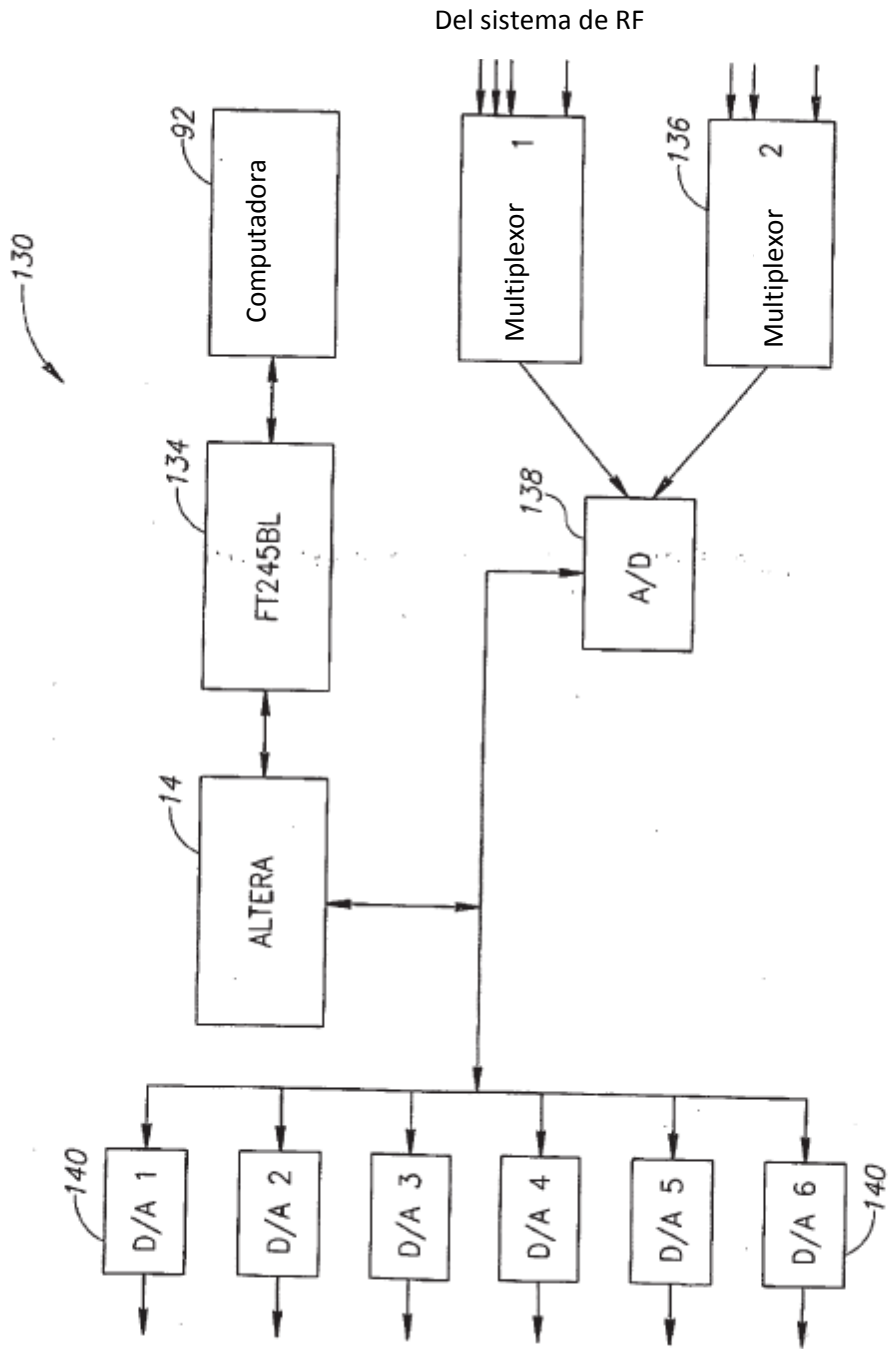


FIG.5C

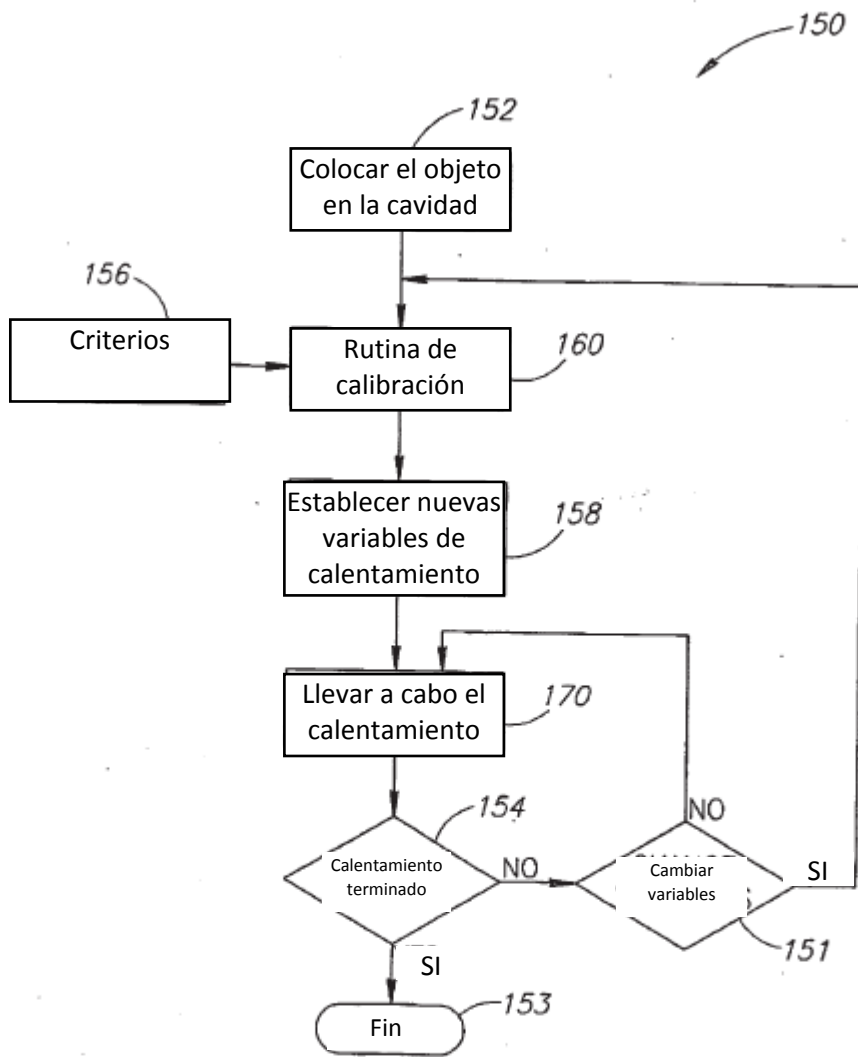


FIG.6

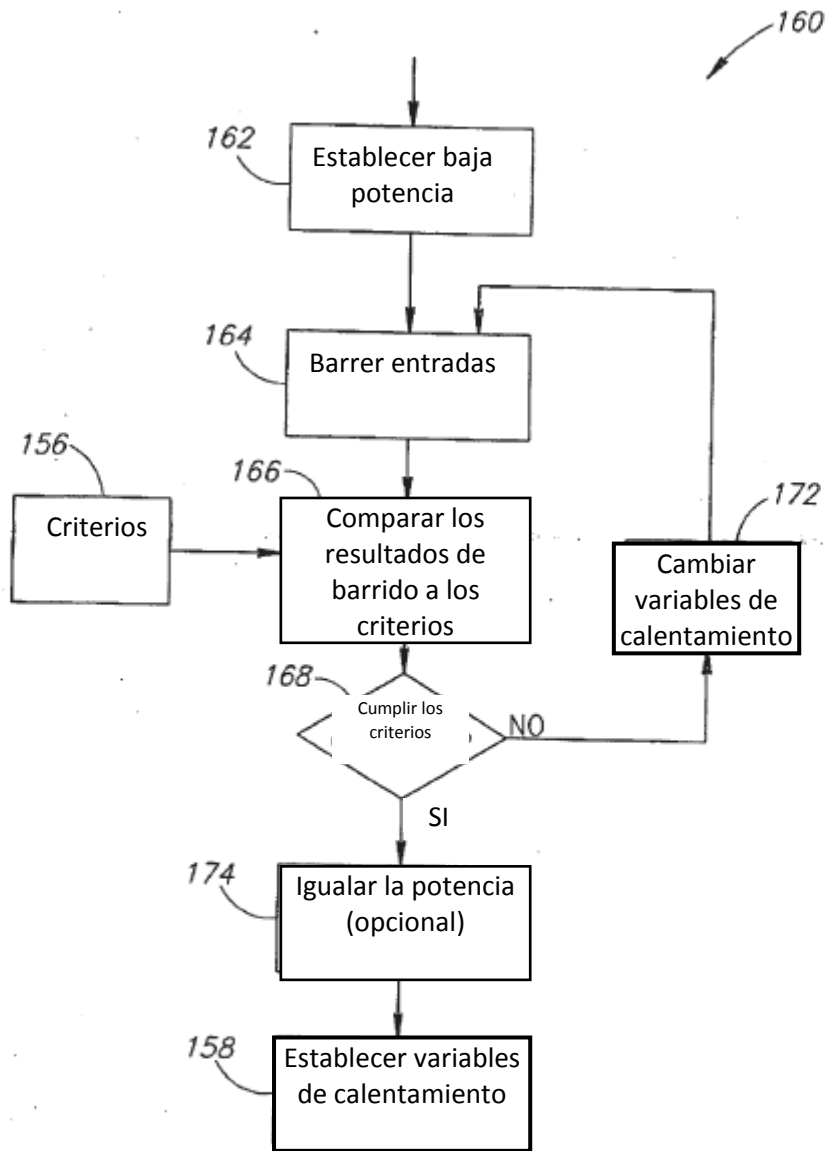


FIG. 7

SI

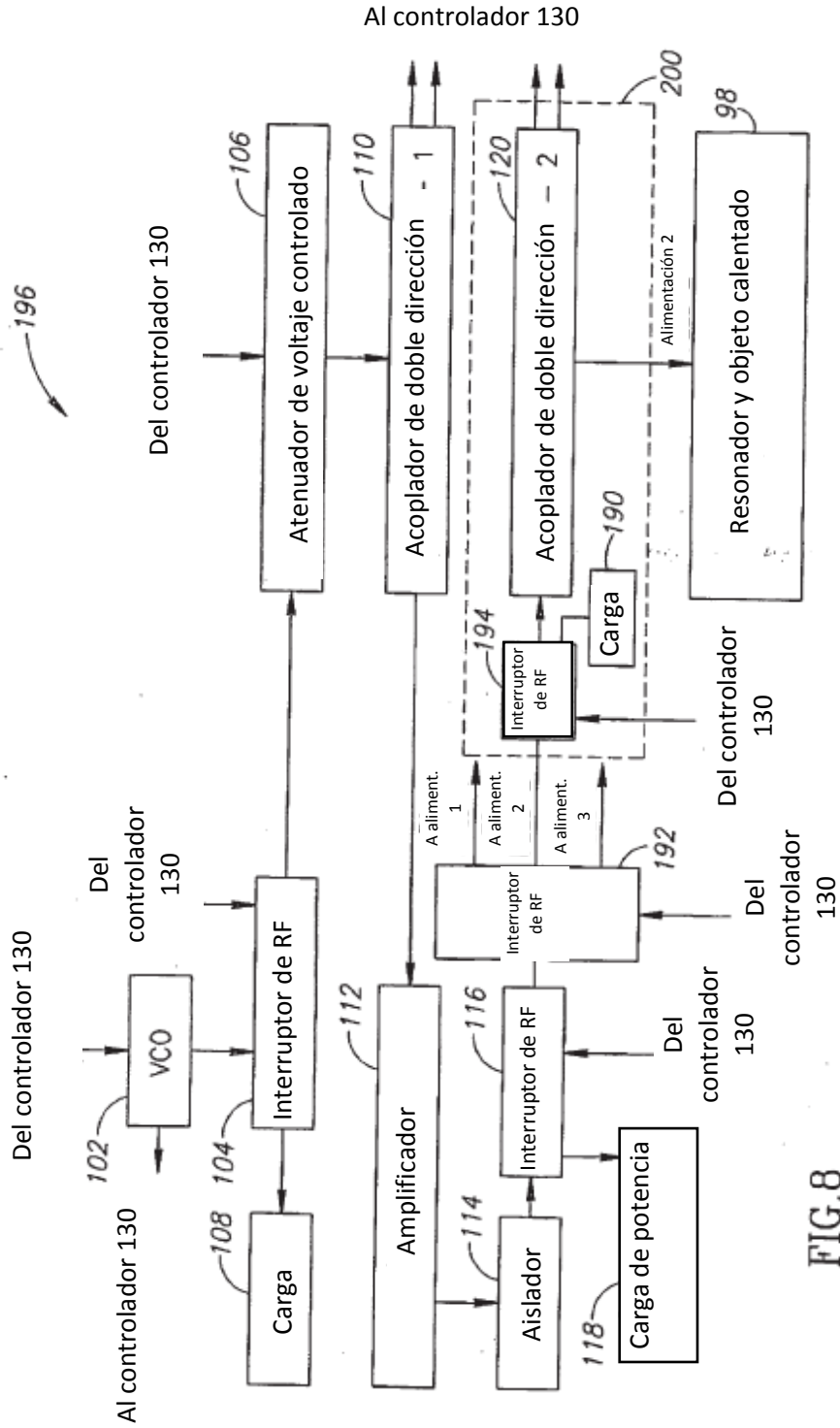


FIG. 8

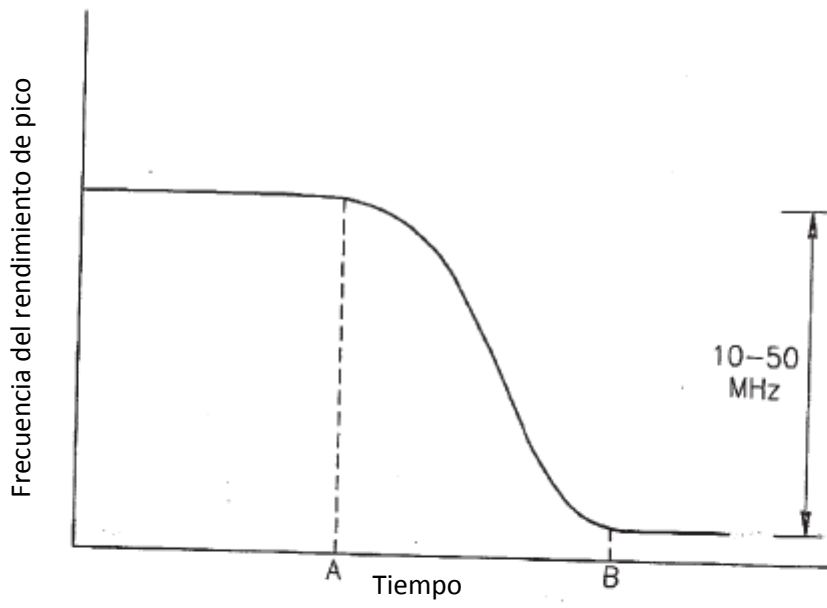


FIG.9

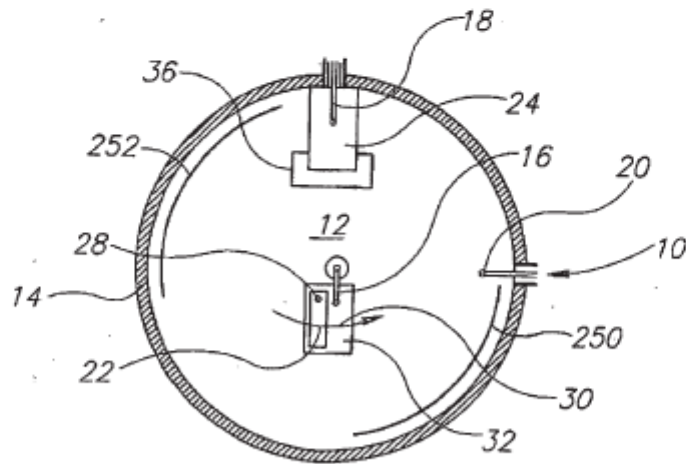


FIG.10

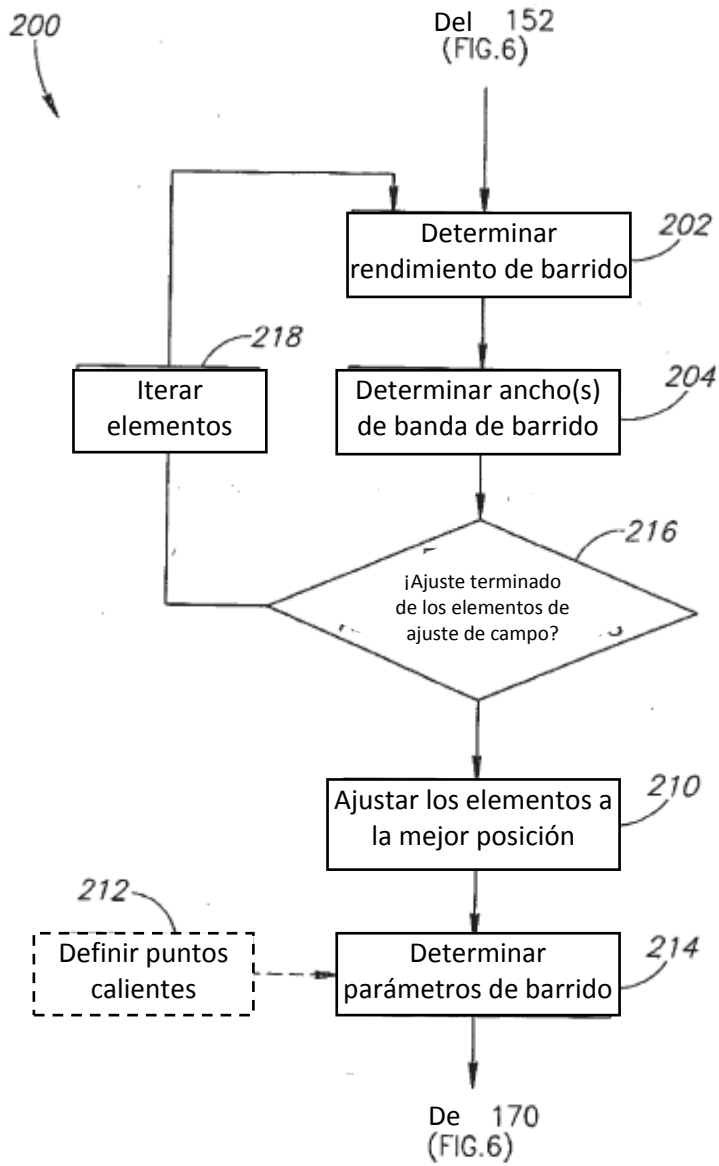


FIG.11A

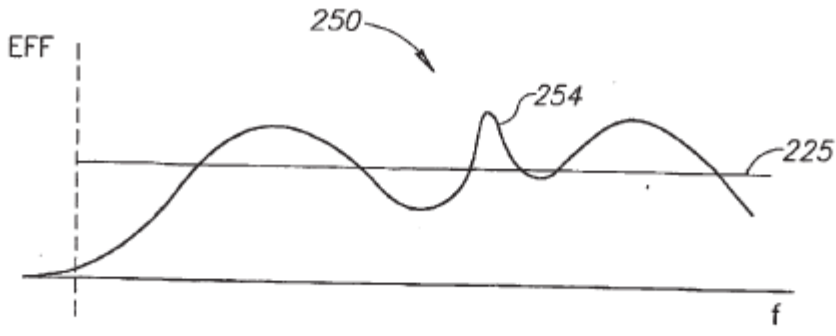


FIG.11B

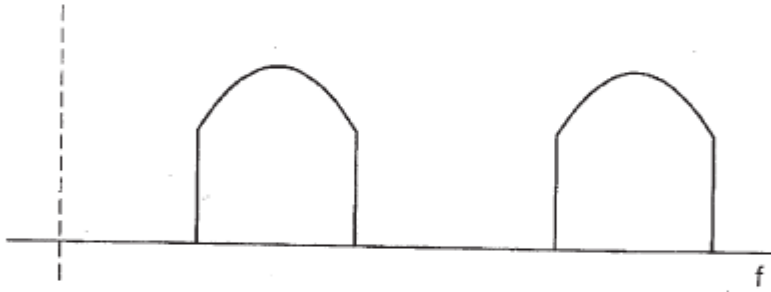


FIG.11C

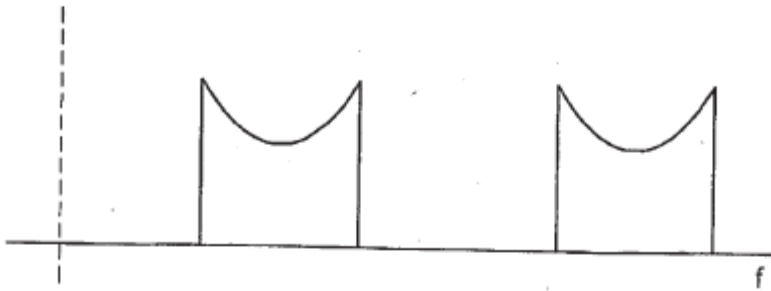


FIG.11D

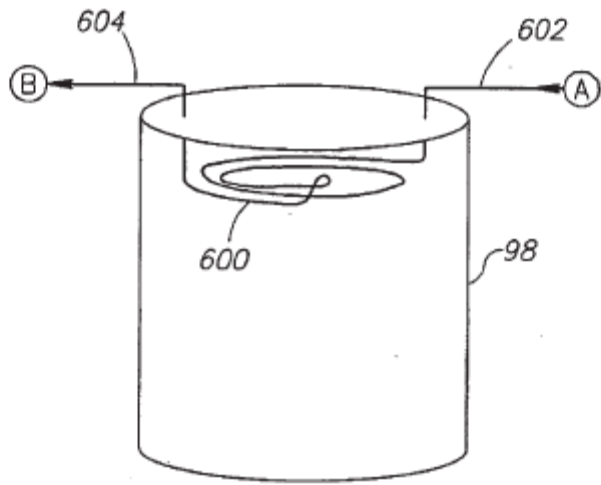


FIG.12A

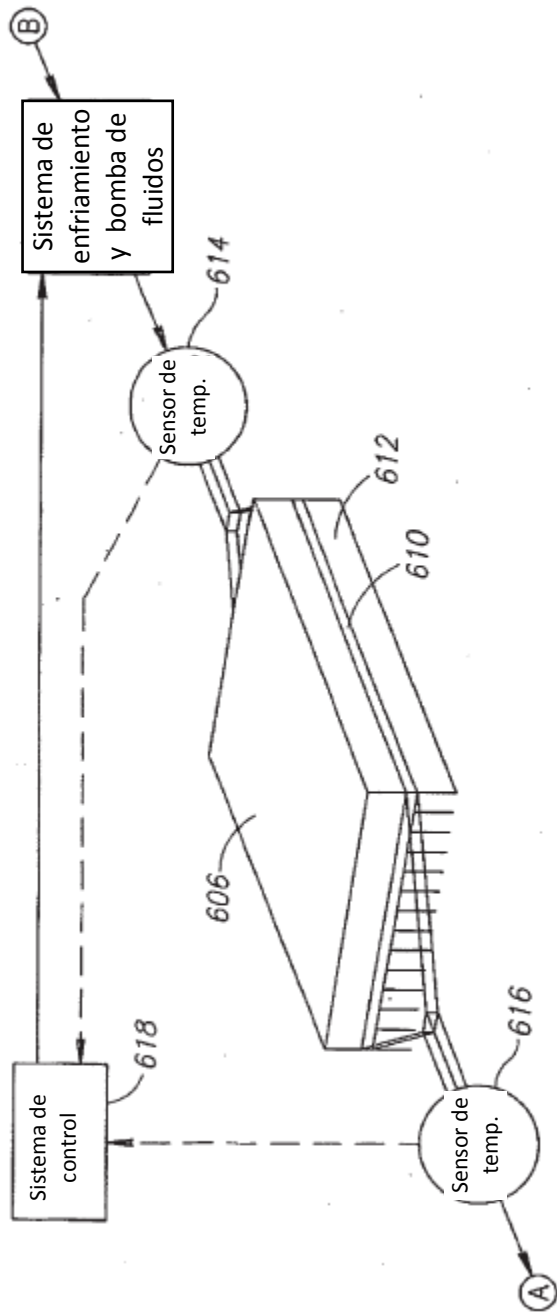


FIG.12B

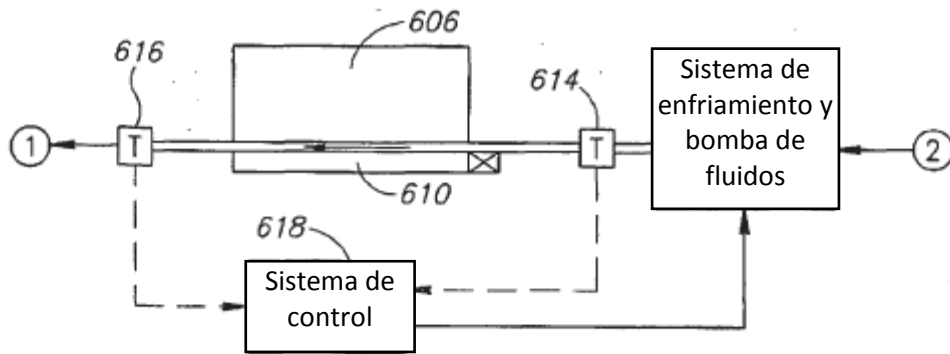


FIG.12C

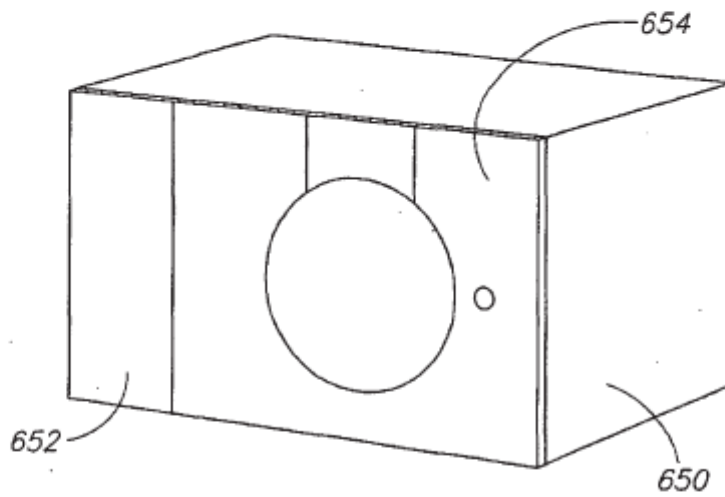


FIG.12D