

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 814 004**

51 Int. Cl.:

H05B 6/46 (2006.01)

H05B 6/62 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.08.2017 PCT/US2017/046155**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.02.2018 WO18031688**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2017 E 17764681 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 3498056**

54 Título: **Aparato y procedimiento de procesamiento de radiofrecuencia**

30 Prioridad:

09.08.2016 US 201662372612 P

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

25.03.2021

73 Titular/es:

**JOHN BEAN TECHNOLOGIES CORPORATION
(100.0%)
70 West Madison Street, Suite 4400
Chicago, IL 60602, US**

72 Inventor/es:

**BROUNLEY, RICHARD R.;
BROUNLEY, RICHARD W. y
TIMPERIO, RICHARD**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 814 004 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

Aparato y procedimiento de procesamiento de radiofrecuencia

Referencia cruzada con solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud de Patente Provisional de EE. UU. n.º 62/372.612, presentada el 9 de agosto de 2016.

Antecedentes

10 La finalidad de la descripción de los antecedentes proporcionada en el presente documento es la de presentar en general el contexto de la divulgación. A menos que se indique lo contrario en el presente documento, los materiales descritos en esta sección no pertenecen al estado de la técnica anterior a las reivindicaciones de esta solicitud y no se admite que pertenezcan al estado de la técnica anterior o que sean sugerencias de la técnica anterior, por estar incluidos en esta sección.

15 Los materiales pueden procesarse utilizando diferentes técnicas dependiendo del tipo de material, producto final deseado, cantidad de material, limitaciones energéticas, restricciones de control provisionales, restricciones de costes y similares. Por ejemplo, para material biológico y, en particular, material alimentario, el procesamiento puede comprender el hacer que el material alimentario se caliente utilizando energía de RF. Aunque el material alimentario congelado puede colocarse en un área con mayor temperatura (por ejemplo, del congelador al frigorífico) para que se caliente pasivamente a lo largo del tiempo, este proceso podría requerir un período de tiempo demasiado largo, el producto final podría no ser uniforme y/o el producto final podría tener otras características no deseables.

20 Por el contrario, el material alimentario congelado se puede calentar activamente utilizando, por ejemplo, técnicas de calentamiento por radiofrecuencia (RF). Un ejemplo de técnica de calentamiento por RF puede comprender el calentar el material alimentario a altas frecuencias, tal como a frecuencias de 13,56 Megahercios (Mhz) a 40,68 MHz. La utilización de frecuencias tan altas, sin embargo, puede tener como resultado una falta de uniformidad en el calentamiento debido a una baja profundidad de penetración de la radiación de alta frecuencia. Otro ejemplo de técnica de calentamiento por RF puede implementarse utilizando grandes sistemas de tubos de vacío que operan a 27 MHz.

25 En tales sistemas, los tubos de vacío pueden comprender un oscilador de funcionamiento libre que tiene un intervalo de frecuencia que puede desviarse de los 27 MHz y también puede desviarse de los requisitos de frecuencia de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Las características de rendimiento (por ejemplo, características de potencia) de los tubos de vacío también tienden a degradarse en cuanto se ponen en funcionamiento, siendo la vida útil de los tubos de vacío dos años de media. Estos sistemas de tubos de vacío también pueden operar a varios miles

30 de voltios, lo que plantea problemas de seguridad para el personal que está cerca, especialmente porque estos sistemas operan en un ambiente en el que puede haber agua o humedad presente. En otro ejemplo de técnicas de calentamiento por RF, la eficiencia energética de corriente continua (CC) a RF puede ser del 50 % o menos.

35 Por consiguiente, las técnicas de procesamiento que abordan uno o más de los problemas de seguridad del personal, uniformidad del estado del producto final, eficiencia energética, control de procesamiento, tamaño compacto del sistema, menores requisitos de energía, robustez del sistema, coste más bajo, capacidad de ajuste del sistema y/o similares pueden ser beneficiosas. En el documento US2013/105082 se desvela un aparato de procesamiento de radiofrecuencia de acuerdo con la técnica anterior.

Sumario

40 La invención se obtiene con un sistema según la reivindicación 1 y con un procedimiento según la reivindicación 12. Este sumario se proporciona para introducir una selección de conceptos en forma simplificada que se describen adicionalmente a continuación en la Descripción Detallada. Este sumario no pretende identificar aspectos clave de la materia objeto reivindicada, tampoco se pretende que este se utilice como ayuda para determinar el ámbito de la materia objeto reivindicada.

45 En algunas realizaciones, el sistema incluye una pluralidad de generadores de radiofrecuencia (RF); una pluralidad de módulos de adaptación de impedancia; una pluralidad de placas de electrodos, estando los módulos de adaptación de impedancia, primero y segundo, de la pluralidad de módulos de adaptación de impedancia acoplados eléctricamente entre los respectivos generadores de RF, primero y segundo, de la pluralidad de generadores de RF y las respectivas placas de electrodo, primera y segunda, de la pluralidad de placas de electrodo; y un transportador que incluye un electrodo de tierra. Cuando se va a colocar una carga a una temperatura inicial en el transportador, el

50 sistema utiliza señales de RF generadas por la pluralidad de generadores de RF para llevar la carga a una temperatura final diferente a la temperatura inicial, en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo y el primer módulo de adaptación de impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final, y en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la segunda placa de electrodo durante

55 un segundo período de tiempo y el segundo módulo de adaptación de impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final que es diferente al primer intervalo de temperaturas.

5 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye posicionar una carga para que se acople eléctricamente con una primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo, en el que un primer módulo de adaptación de impedancia está acoplado eléctricamente entre la primera placa de electrodo y un primer generador de radiofrecuencia (RF), y en el que el primer módulo de adaptación de impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre una temperatura inicial y una temperatura final asociada con la carga; aplicar una primera señal de RF a la carga durante una parte del primer período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del primer intervalo de temperaturas, comprendiendo la primera señal de RF una señal de RF generada por el primer generador de RF y la impedancia adaptada por el primer módulo de adaptación de impedancia; posicionar la carga para que se acople eléctricamente con una segunda placa de electrodo durante un segundo período de tiempo, en el que un segundo módulo de adaptación de impedancia está acoplado eléctricamente entre la segunda placa de electrodo y un segundo generador de RF, y en el que el segundo módulo de adaptación de impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final diferente al primer intervalo de temperaturas; y aplicar una segunda señal de RF a la carga durante una parte del segundo período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del segundo intervalo de temperaturas, comprendiendo la segunda señal de RF otra señal de RF generada por el segundo generador de RF y la impedancia adaptada por el primer módulo de adaptación de impedancia.

20 En algunas realizaciones, un aparato incluye unos medios para posicionar una carga para que se acople eléctricamente con una primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo, en el que un primer medio para adaptar la impedancia está acoplado eléctricamente entre la primera placa de electrodo y un primer generador de radiofrecuencia (RF), y en el que el primer medio para adaptar la impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre una temperatura inicial y una temperatura final asociada con la carga; unos medios para aplicar una primera señal de RF a la carga durante una parte del primer período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del primer intervalo de temperaturas, comprendiendo la primera señal de RF una señal de RF generada por el primer generador de RF y la impedancia adaptada por el primer medio para adaptar la impedancia; unos medios para posicionar la carga para que se acople eléctricamente con una segunda placa de electrodo durante un segundo período de tiempo, en el que un segundo medio para adaptar la impedancia está acoplado eléctricamente entre la segunda placa de electrodo y un segundo generador de RF, y en el que el segundo medio para adaptar la impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final diferente al primer intervalo de temperaturas; y unos medios para aplicar una segunda señal de RF a la carga durante una parte del segundo período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del segundo intervalo de temperaturas, comprendiendo la segunda señal de RF otra señal de RF generada por el segundo generador de RF y la impedancia adaptada por el segundo medio para adaptar la impedancia.

35 En algunas realizaciones, un dispositivo incluye un primer condensador en paralelo a un inductor; unos devanados primarios de un transformador en serie con el primer condensador y el inductor; y un segundo condensador en serie con unos devanados secundarios del transformador, en el que se aplica una señal de entrada de radiofrecuencia (RF) al primer condensador y los devanados primarios del transformador generan una señal de salida de RF, y en el que una impedancia asociada con el dispositivo debe coincidir con una impedancia asociada con una carga en serie con el dispositivo.

40 En algunas realizaciones, un aparato incluye un primer condensador en paralelo a un inductor; unos devanados primarios de un transformador en serie con el primer condensador y el inductor; y un segundo condensador en serie con unos devanados secundarios del transformador, en el que los devanados primario y secundario comprenden tiras conductoras planas, y el transformador comprende los devanados primarios enrollados alrededor de una superficie circunferencial externa de un tubo y los devanados secundarios enrollados alrededor de una superficie circunferencial interna del tubo.

45 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye modificar la capacitancia de uno o ambos de los condensadores, primero y segundo, incluidos en un módulo de adaptación de impedancia en serie entre un generador de radiofrecuencia (RF) y una carga, en el que la modificación se inicia de conformidad con un primer nivel de potencia reflejada, y en el que el primer condensador está en paralelo a un inductor, los devanados primarios de un transformador están en serie con el primer condensador y el inductor, y el segundo condensador está en serie con los devanados secundarios del transformador; y generar una señal de salida de RF basándose en una señal de RF recibida desde el generador de RF y de conformidad con la capacitancia modificada de los condensadores, primero y segundo, en el módulo de adaptación de impedancia, en el que un segundo nivel de potencia reflejada en un tiempo posterior al primer nivel de potencia reflejada es inferior al primer nivel de potencia reflejada.

55 En algunas realizaciones, un aparato incluye un módulo de control; un módulo oscilador que debe convertir una señal de corriente continua (CC) en una señal de radiofrecuencia (RF); un módulo amplificador de potencia acoplado a una salida del módulo oscilador, el módulo amplificador de potencia debe amplificar una potencia asociada con la señal de RF de conformidad con una señal de polarización del módulo de control para generar una señal de RF amplificada; y un módulo acoplador direccional acoplado a una salida del módulo amplificador de potencia, el módulo acoplador direccional debe detectar al menos una potencia reflejada y suministrar la potencia reflejada detectada al módulo de control, en el que el módulo de control debe generar la señal de polarización basándose en la potencia reflejada detectada y debe suministrar la potencia reflejada detectada como una salida monitorizada disponible del aparato.

5 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye convertir una señal de corriente continua (CC) en una señal de radiofrecuencia (RF); amplificar una potencia asociada con la señal de RF de conformidad con una señal de polarización de un módulo de control para generar una señal de RF amplificada; detectar al menos una potencia reflejada y suministrar la potencia reflejada detectada al módulo de control; y generar la señal de polarización basándose en la potencia reflejada detectada y suministrar la potencia reflejada detectada como una salida monitorizada disponible.

10 En algunas realizaciones, un aparato incluye unos medios para convertir una señal de corriente continua (CC) en una señal de radiofrecuencia (RF); unos medios para amplificar una potencia asociada con la señal de RF de conformidad con una señal de polarización de un medio de control para generar una señal de RF amplificada; unos medios para detectar al menos una potencia reflejada y suministrar la potencia reflejada detectada a los medios de control; y unos medios para generar la señal de polarización basándose en la potencia reflejada detectada y suministrar la potencia reflejada detectada como una salida monitorizada disponible.

15 En algunas realizaciones, un aparato incluye un generador de radiofrecuencia (RF) que debe generar una señal de RF; unos electrodos, primero y segundo; y un módulo de adaptación de impedancia en serie entre el generador de RF y el primer electrodo, en el que el generador de RF detecta la potencia reflejada de la señal de RF aplicada a una carga acoplada eléctricamente entre los electrodos, primero y segundo, para modificar la temperatura de la carga, la señal de RF debe aplicarse a la carga hasta que la potencia reflejada alcance un valor particular.

20 En algunas realizaciones, el procedimiento incluye aplicar una señal de radiofrecuencia (RF) a una carga; monitorizar un nivel de potencia reflejada asociado con un aparato que incluye una fuente de corriente continua (CC), un módulo de adaptación de impedancia, un generador de radiofrecuencia (RF) y la carga; y determinar una temperatura de la carga basándose en el nivel de potencia reflejada.

Descripción de los dibujos

25 Los aspectos anteriores y muchas de las ventajas concomitantes de la presente divulgación se apreciarán más fácilmente a medida que estas se entiendan mejor con referencia a la siguiente descripción detallada, cuando se toma junto con los dibujos adjuntos.

La FIG. 1 representa un diagrama de bloques de un ejemplo de sistema de procesamiento de radiofrecuencia (RF) que incorpora aspectos de la presente divulgación, según algunas realizaciones;
 la FIG. 2 representa una vista en sección transversal de un ejemplo del generador de RF, según algunas realizaciones;
 30 la FIG. 3 representa un diagrama de bloques de un ejemplo del generador de RF, según algunas realizaciones;
 la FIG. 4 representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo acoplador direccional 306, según algunas realizaciones;
 la FIG. 5 representa un diagrama de bloques de un ejemplo de al menos una parte del sistema de la FIG. 1, según algunas realizaciones;
 35 la FIG. 6 representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo APRF, según algunas realizaciones;
 la FIG. 7 representa una vista en sección transversal de un ejemplo de la cavidad, según algunas realizaciones;
 la FIG. 8A representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo de adaptación de impedancia, según algunas realizaciones;
 la FIG. 8B representa un diagrama de circuito que muestra un ejemplo de un circuito equivalente de la inductancia variable asociada con el circuito de la FIG. 8A, según algunas realizaciones;
 40 la FIG. 9 representa una vista superior de un ejemplo de componentes electrónicos que se pueden utilizar para implementar el circuito de la FIG. 8A, según algunas realizaciones;
 las FIGS. 10A-10B representan unas vistas adicionales de un ejemplo del transformador, según algunas realizaciones;
 45 la FIG. 11 representa un ejemplo del procedimiento que puede ser realizado por el sistema de la FIG. 1, según algunas realizaciones;
 la FIG. 12A representa un gráfico que muestra las temperaturas de un material de interés durante el período de tiempo de un ejemplo del procedimiento realizado por el sistema de la FIG. 1, según algunas realizaciones;
 la FIG. 12B muestra un gráfico que muestra ejemplos de curvas de congelación, según algunas realizaciones;
 50 la FIG. 13 representa un diagrama de bloques de un ejemplo de sistema de procesamiento de RF que incorpora aspectos de la presente divulgación, según unas realizaciones adicionales;
 la FIG. 14 representa un procedimiento que puede ser realizado por el sistema de la FIG. 13 para procesar térmicamente el material de interés, según algunas realizaciones;
 la FIG. 15 representa un procedimiento que puede ser realizado por el sistema de la FIG. 13 para procesar térmicamente el material de interés, según unas realizaciones alternativas; y
 55 la FIG. 16 representa un procedimiento de técnicas de detección de un punto final que puede ser realizado por el sistema de las FIGS. 1 y/o 13, según algunas realizaciones.

Descripción detallada

Se describen unas realizaciones de aparatos y procedimientos relacionados con el procesamiento de radiofrecuencia

- (RF). En unas realizaciones, el sistema incluye una pluralidad de generadores de radiofrecuencia (RF); una pluralidad de módulos de adaptación de impedancia; una pluralidad de placas de electrodos, estando los módulos de adaptación de impedancia, primero y segundo, de la pluralidad de módulos de adaptación de impedancia acoplados eléctricamente entre los respectivos generadores de RF, primero y segundo, de la pluralidad de generadores de RF y las respectivas placas de electrodo, primera y segunda, de la pluralidad de placas de electrodo; y un transportador que incluye un electrodo de tierra. Cuando se va a colocar una carga a una temperatura inicial en el transportador, el sistema utiliza señales de RF generadas por la pluralidad de generadores de RF para llevar la carga a una temperatura final diferente a la temperatura inicial, en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo y el primer módulo de adaptación de impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final, y en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la segunda placa de electrodo durante un segundo período de tiempo y el segundo módulo de adaptación de impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final que es diferente al primer intervalo de temperaturas. Estos y otros aspectos de la presente divulgación se describirán con más detalle a continuación.
- Si bien los conceptos de la presente divulgación son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, en los dibujos se muestran las realizaciones específicas de los mismos a modo de ejemplo y se describen en el presente documento en detalle. Debería entenderse, sin embargo, que no se pretende limitar los conceptos de la presente divulgación a las formas particulares desveladas, más bien al contrario, lo que se pretende es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas coherentes con la presente divulgación y las reivindicaciones adjuntas.
- Las referencias en la memoria descriptiva a "una realización", "un modo de realización", "una realización ilustrativa", etc., indican que la realización descrita puede incluir un aspecto, estructura o característica particular, pero cada realización puede incluir o no necesariamente ese aspecto, estructura o característica particular. Por otra parte, tales frases no se refieren necesariamente a la misma realización. Además, cuando se describe un aspecto, estructura o característica particular en relación con una realización, se asume que un experto en la técnica tiene conocimientos para saber cómo influir en dicho aspecto, estructura o característica en relación con otras realizaciones, ya estén descritas explícitamente o no. Asimismo, se debe tener en cuenta que los elementos incluidos en una lista en forma de "al menos un A, B y C" se pueden referir a (A); (B); (C); (A y B); (B y C); (A y C); o (A, B y C). De manera similar, los elementos enumerados en forma de "al menos uno de A, B o C" se pueden referir a (A); (B); (C); (A y B); (B y C); (A y C); o (A, B y C).
- Las realizaciones desveladas pueden implementarse, en algunos casos, en hardware, firmware, software o cualquier combinación de los mismos. Las realizaciones desveladas también pueden implementarse como instrucciones ejecutadas o almacenadas en uno o más medios de almacenamiento transitorios o no transitorios legibles por máquina (por ejemplo, legible por ordenador), que pueden ser leídos y ejecutados por uno o más procesadores. Un medio de almacenamiento legible por máquina puede estar realizado como cualquier dispositivo de almacenamiento, mecanismo u otra estructura física para almacenar o transmitir información en una forma legible por una máquina (por ejemplo, una memoria volátil o no volátil, un disco multimedia u otro dispositivo multimedia).
- En los dibujos, algunas características estructurales o del procedimiento pueden mostrarse en una disposición y/u orden específico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que podría no requerirse tal disposición y/u orden específico. Más bien, en algunas realizaciones, tales características pueden disponerse de una manera y/o en un orden diferente al mostrado en las figuras ilustrativas. Asimismo, la inclusión de un aspecto estructural o de procedimiento en una figura particular no significa que se requiera dicho aspecto en todas las realizaciones y, en algunas realizaciones, puede no estar incluido o puede haberse combinado con otros aspectos.
- La FIG. 1 representa un diagrama de bloques de un ejemplo de sistema de procesamiento de radiofrecuencia (RF) 100 que incorpora aspectos de la presente divulgación, según algunas realizaciones. Como se describe en detalle más adelante, el sistema 100 puede configurarse para calentar uniformemente un material de interés desde una temperatura inicial hasta una temperatura final. En algunas realizaciones, la temperatura inicial puede comprender una temperatura de almacenamiento comercial del material de interés. Por ejemplo, la temperatura de almacenamiento comercial (también conocida como temperatura de almacenamiento comercial en frío) puede comprender una temperatura asociada con el material de interés que se encuentra en un estado congelado, tal como, pero sin limitarse a, a -40 grados Celsius (°C), -20 °C, -10 °C, menos de -40 °C y/o similar. La temperatura final puede comprender una temperatura inferior a 0 °C, -2 °C, -3 °C, $-2 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$, de entre -4 a -2 °C, una temperatura por debajo de la cual el material de interés sufre un cambio de fase de sólido (por ejemplo, congelado) a líquido, una temperatura por debajo de la cual puede producirse una pérdida por goteo del material de interés, una temperatura superior a la temperatura inicial a la que el sistema 100 puede configurarse para finalizar el procesamiento del material de interés y/o similares.
- El sistema 100 también puede denominarse sistema de calentamiento, sistema de fusión, sistema de templado, sistema de calentamiento dieléctrico y/o similar.
- El sistema 100 puede incluir una fuente de alimentación de corriente continua (CC) 102, un generador de RF 104, un módulo de adaptación de impedancia 106, un motor paso a paso 108, una cavidad 110, un interruptor 112 y un interruptor 114. La salida de la fuente de alimentación de CC 102 puede acoplarse a la entrada del generador de RF 104, la salida del generador de RF 104 puede acoplarse a la entrada del módulo de adaptación de impedancia 106, y la salida del módulo de adaptación de impedancia 106 puede acoplarse a la entrada de la cavidad 110. El motor paso

a paso 108 puede estar acoplado a cada uno del generador de RF 104 y del módulo de adaptación de impedancia 106. El interruptor 112 puede estar dispuesto entre el generador de RF 104 y la cavidad 110, y el interruptor 114 puede estar dispuesto entre la fuente de alimentación de CC 102 y la cavidad 110.

5 La fuente de alimentación de CC 102 puede comprender la fuente de alimentación del sistema 100. En algunas realizaciones, la fuente de alimentación de CC 102 puede operarse, sin limitación, entre 0 y 3000 vatios (W), de 0 a 5000 W, o similar. A modo de ejemplo, la fuente de alimentación de CC 102 puede configurarse para operar a 2000 W y suministrar una señal de entrada de CC de 42 voltios (V) al generador de RF 104.

10 El generador de RF 104 puede configurarse para convertir la señal de CC recibida desde la fuente de alimentación de CC 102 en una señal de corriente alterna (CA) que tiene una frecuencia particular. El generador de RF 104 también puede configurarse para suministrar una o más funcionalidades de control tales como, pero sin limitarse a, una protección de apagado térmico, una protección por repliegue de corriente "foldback" en la relación de tensiones de onda estacionaria (ROET), una protección por limitación de corriente CC, una detección del punto final y una detección del nivel de potencia directa y reflejada, que se describirá en detalle más adelante. En algunas realizaciones, el generador de RF 104 puede comprender un generador de RF de alta potencia enfriado por aire que utiliza transistores de estado sólido, tales como unos transistores semiconductores de óxido de metal de difusión lateral (LDMOS); tener un intervalo de potencia dinámica de 0 a 10 kilovatios (kW); un intervalo de frecuencias de aproximadamente 13 megahercios (MHz) a 100 MHz; capaz de una estabilidad de frecuencia de al menos un $\pm 0,005\%$ a 27,12 MHz; una salida armónica de al menos -40 dBc (al menos 40 decibelios menos que la portadora); y unas dimensiones de aproximadamente 20 centímetros (cm) x 13,5 cm x 40 cm. Continuando con el ejemplo anterior, el generador de RF 104 puede operar con una potencia directa de entre 0 y 10 kW; tener una impedancia de salida de 50 ohmios (Ω); y emitir una señal de CA a una frecuencia de 27,12 MHz, 27 Mhz, aproximadamente 27 MHz, entre 13 y 100 MHz, a una frecuencia de RF que no es una frecuencia de resonancia asociada con la cavidad 110 o similar.

25 El módulo de adaptación de impedancia 106, también denominado módulo para adaptar la impedancia, puede comprender un componente configurado para hacer coincidir (o casi hacer coincidir) la impedancia de salida asociada con el generador de RF 104 con una impedancia asociada con una carga del sistema 100. En algunas realizaciones, la carga puede comprender una combinación de la cavidad 110 y el material que se va a procesar térmicamente (también denominado material de interés o carga) incluido en la cavidad 110. La impedancia asociada con la carga puede ser menor o diferir de otro modo con una impedancia de salida asociada con el generador de RF 104. Cada temperatura de la carga (por ejemplo, el material de interés) puede asociarse con un valor de impedancia particular. A medida que la temperatura de la carga varía, como lo haría durante el procesamiento del material de interés, tal como el calentamiento del material de interés, la impedancia asociada con la carga varía con el tiempo. De este modo, en algunas realizaciones, el módulo de adaptación de impedancia 106 puede configurarse para tener unas capacidades de adaptación de impedancia variable o dinámica para tener en cuenta los cambios en la impedancia de la carga durante el procesamiento. Los valores de adaptación de impedancia asociados con el módulo de adaptación de impedancia 106 pueden modificarse o ajustarse una o más veces en tiempo real, prácticamente en tiempo real y/o continuamente durante el procesamiento del material de interés en la cavidad 110, como se describe en detalle más adelante.

40 El motor paso a paso 108 puede configurarse para recibir al menos una indicación de los valores de potencia reflejada detectados desde el generador de RF 104 y controlar dinámicamente los valores de capacitancia del módulo de adaptación de impedancia 106 de acuerdo con los valores de potencia reflejada indicados. El motor paso a paso 108 puede incluir, sin limitación, además de uno o más motores paso a paso, uno o más controladores, unos circuitos, procesadores u otra lógica configurada para recibir la indicación de los valores de potencia reflejada detectados, determinar la modificación apropiada (si existe) en los valores de capacitancia del módulo de adaptación de impedancia 106 basándose en la indicación de los valores de potencia reflejada detectados, y la activación de cambio(s) físico(s) en los condensadores incluidos en el módulo de adaptación de impedancia 106 para influir en el cambio de capacitancia. El motor paso a paso 108 puede comprender como alternativa una variedad de otros mecanismos capaces de mover mecánicamente condensadores variables para modificar la capacitancia una cantidad específica (por ejemplo, sintonizar condensadores variables a un valor de capacitancia particular).

50 La potencia reflejada puede comprender la diferencia entre la potencia directa (emitida por el generador de RF 104) y la potencia de carga (la parte de la potencia directa suministrada en realidad a la carga). Cuando el módulo de adaptación de impedancia 106 suministra una adaptación de impedancia perfecta entre el generador de RF 104 y la carga, el nivel de potencia reflejada puede ser cero. Por el contrario, cuando hay un desajuste en la adaptación de impedancia suministrada por el módulo de adaptación de impedancia 106, el nivel de potencia reflejada puede ser mayor que cero. Por lo general, cuanto mayor es el nivel de potencia reflejada, mayor es la cantidad de desajuste de impedancia.

60 La cavidad 110 puede incluir, sin limitación, al menos un electrodo, un electrodo de puesta a tierra, y un área entre el electrodo y el electrodo de puesta a tierra en la que se puede situar el material de interés durante el procesamiento. La cavidad 110 también puede denominarse carcasa, caja, túnel, cavidad de carga, cinta transportadora, cinta u otra(s) estructura(s) en la(s) que el material de interés puede estar situado o posicionado y que permite que el material de interés se acople eléctricamente de manera selectiva al resto del sistema 100. Como se describe en detalle más adelante, la cavidad 110 puede estar configurada para manipular una pluralidad de tamaños del material de interés.

Por ejemplo, el material de interés puede tener una altura de aproximadamente 12,7 cm, 15,24 cm, 22,86 cm, 30,48 cm, menos de 12,7 cm, aproximadamente 12,7-31,75 cm y/o similares. En algunas realizaciones, la cavidad 110 puede incluir una puerta, por la que se puede introducir o sacar el material de interés de la cavidad 110.

5 En algunas realizaciones, los interruptores 112 y 114 pueden comprender características de seguridad incluidas en el sistema 100. Cuando el sistema 100 está en un estado "encendido" y la puerta está en una posición cerrada, los conmutadores 112 y 114 pueden configurarse en una posición cerrada y, en consecuencia, puede suministrarse energía de RF a la cavidad. Por el contrario, cuando la puerta incluida en la cavidad 110 está abierta, mientras el sistema 100 está en un estado "encendido" o "apagado", los interruptores 112 y 114 pueden configurarse para pasar a una posición abierta, creando de ese modo un circuito(s) abierto(s) e interrumpiendo o deteniendo el flujo de salida de CC (potencial) de la fuente de alimentación de CC 102 y la salida de RF (potencial) del generador de RF 104. Los interruptores 112 y 114 pueden servir, por tanto, como dobles medidas de seguridad. Como alternativa, uno de los interruptores 112 o 114 puede ser suficiente para impedir una irradiación de RF accidental, tal como del personal en las proximidades del sistema 100.

15 En algunas realizaciones, la Q (relación de la reactancia con respecto al componente resistivo) asociada con el sistema 100 puede comprender un valor elevado, tal como 400. La potencia perdida en la adaptación de impedancia suministrada por el módulo de adaptación de impedancia 106 puede ser de aproximadamente 50 W para la señal de RF de 1250 W, que comprende una pérdida de potencia del 4 % o menos del 5 % asociada con la adaptación de impedancia.

20 En algunas realizaciones, los materiales que pueden procesarse en el sistema 100 pueden incluir, sin limitación, uno o más de los siguientes: alimentos; material biológico; proteínas; carnes; aves de corral (por ejemplo, pollo, pavo, codorniz, pato); carne de vaca; carne de cerdo; carne roja; cordero; carne de cabra; conejo; marisco; alimentos envasados en una o más bolsas, plástico, cartón, latas y/o contenedores (por ejemplos, aves de corral crudas, carne de vaca, carne de cerdo o marisco dentro de una bolsa sellada al vacío y que pueden, a su vez, embalsarse en cajas de cartón); varios cortes de carne (por ejemplo, solomillo, paletilla, menudillos, sobrecostilla, pecho, redondo, costillas, carrillada, vísceras, vacío, falda, cortes de carne con hueso); varios cortes de cerdo (por ejemplo, cuadril, paletilla, lomo, costillas, jamón, menudillos, carrillada, bacón, cortes de cerdo con hueso); varios cortes de aves de corral (por ejemplo, tiras, pechugas, alas, patas, muslos, cortes de aves de corral con hueso); alimentos marinos enteros o en porciones (por ejemplo, pez, salmón, tilapia, atún, bacalao, fletán, merluza, pulpo, mariscos (con concha o sin concha), cangrejo, langosta, almejas, mejillones, cangrejo de río, gambas (con o sin cáscara)); carbohidratos; frutas; vegetales; productos de panadería; pasteles; productos lácteos; queso; mantequilla; nata; leche; huevos; zumos; caldos; líquidos; sopas; guisos; granos; alimentos que son combinaciones de uno o más de los anteriores (por ejemplo, pizza, lasaña, curry); materiales no alimentarios; plásticos; polímeros; cauchos; metales; cerámicas; madera; tierra; adhesivos; materiales que tienen una constante dieléctrica en el intervalo de aproximadamente 1 a 80 (por ejemplo, la constante dieléctrica de la proteína congelada a -20 °C puede ser 1,3, la constante dieléctrica de la proteína congelada a -3 °C puede ser 2 o 2,1, etc.); y/o similares. En los ejemplos de material que puede ser procesado por el sistema 100 se incluyen, sin limitación, un bloque de 18,14 kg de carne congelada, un atún entero congelado y similares.

35 En algunas realizaciones, el sistema 100 puede configurarse para realizar otros procedimientos tales como, pero sin limitarse a, esterilización, pasteurización, curado, secado, calentamiento y/o similares. Por ejemplo, el sistema 100 puede configurarse para secar granos, ablandar bloques de mantequilla o queso, controlar el contenido de humedad de los productos horneados o calentar productos alimentarios como comidas preparadas.

40 La FIG. 2 representa una vista en sección transversal de un ejemplo del generador de RF 104, según algunas realizaciones. El generador de RF 104 puede comprender una carcasa 200 que tiene una primera cámara 202 y una segunda cámara 204. Las cámaras, primera y segunda, 202, 204 también pueden denominarse compartimentos, primero y segundo. La primera cámara 202 puede incluir una pluralidad de conectores o acopladores configurados para ser las entradas y salidas del generador de RF 104. En algunas realizaciones, la pluralidad de conectores/acopladores puede comprender, sin limitación, un conector de entrada de CC 206 (para recibir la salida de la fuente de alimentación de CC 102), un conector de salida RF 208 (para emitir la señal RF generada por el generador RF 104), un conector de potencia directa 210 (para suministrar como salida indicaciones del nivel de potencia directa detectado), y un conector de potencia reflejada 212 (para suministrar como salida indicaciones del nivel de potencia reflejada detectado). La pluralidad de conectores puede comprender, por ejemplo, conectores coaxiales.

50 La primera cámara 202 también puede incluir una pluralidad de placas de circuito impreso (PCB) 220-228, en la que cada PCB de la pluralidad de PCB puede configurarse para incluir una circuitería particular (y/o hardware o firmware) del generador de RF 104. En algunas realizaciones, la pluralidad de PCB puede comprender, sin limitación, una PCB de control 220, una PCB de acoplador direccional 222, una PCB de amplificador de potencia de RF (APRF) 224, una PCB de oscilador o controlador 226 y una PCB de regulador de tensión 228. Los diversos circuitos pueden estar situados en PCB diferentes entre sí y la pluralidad de PCB también pueden estar separadas entre sí dentro de la primera cámara 202 para un aislamiento eléctrico. En presencia de circuitos de alta y baja potencia, se puede evitar tener planos de tierra comunes entre dichos circuitos colocando los circuitos en distintas PCB. Como alternativa, se puede incluir más de un circuito en una única PCB. Por ejemplo, dos o más circuitos de control, un acoplador direccional, un APRF, un oscilador y un regulador de tensión pueden estar provistos en una única PCB. Se pueden incluir más o menos de cinco PCB en la primera cámara 202. Las conexiones eléctricas entre la pluralidad de

conectores y las PCB no se muestran en la FIG. 2 para simplificar la ilustración.

En algunas realizaciones, la primera cámara 202 puede comprender una cámara sellada o estanca al aire lo suficiente como para proteger los componentes electrónicos del generador de RF 104 (por ejemplo, las PCB 220-228) de los residuos, la suciedad, la humedad y/u otros contaminantes que de otro modo podrían entrar y dañar dichos componentes electrónicos.

En algunas realizaciones, las PCB 220-228, como las partes inferiores de las PCB 220-228, pueden estar en contacto físico con un disipador de calor 230 para facilitar la disipación del calor. El disipador de calor 230 puede incluir un sustrato 232 (que opcionalmente puede incluir tubos y/u otras estructuras de disipación de calor) y una pluralidad de aletas 234. El sustrato 232 puede comprender cobre y la pluralidad de aletas 234 puede comprender aluminio. El disipador de calor 230 puede estar parcialmente situado en cada una de las cámaras, primera y segunda, 202, 204. Por ejemplo, al menos una superficie principal del sustrato 232 puede sobresalir por dentro o ser coplanar con un lado de la primera cámara 202, de modo que las PCB 220-228 pueden estar en contacto físico con el sustrato 232, y al menos la pluralidad de aletas 234 puede estar situada dentro de la segunda cámara 204. El disipador de calor 230 puede comprender uno o más disipadores de calor.

Además de la pluralidad de aletas 234 situadas en la segunda cámara 204, la segunda cámara 204 también puede incluir uno o más ventiladores, como los ventiladores 236 y 238, para suministrar una refrigeración por aire forzado. Como alternativa, los ventiladores 236 y 238 pueden ser opcionales si se puede lograr una disipación de calor suficiente sin una circulación de aire activa. En algunas realizaciones, la segunda cámara 204 no necesita estar sellada o ser estanca al aire y puede incluir una pluralidad de aberturas de ventilación 240 en uno o más lados (por ejemplo, recortes en el(los) lado(s) de la carcasa 200 coincidentes con la segunda cámara 204) para facilitar la disipación del calor.

La FIG. 3 representa un diagrama de bloques de un ejemplo del generador de RF 104, según algunas realizaciones. El generador de RF 104 puede incluir, sin limitación, un módulo regulador de tensión 300, un módulo oscilador 302, un módulo APRF 304, un módulo acoplador direccional 306 y un módulo de control 314. En algunas realizaciones, los módulos 300, 302, 304, 306, 314 estar incluidos en las PCB 228, 226, 224, 222, 220, respectivamente.

En algunas realizaciones, la señal de CC emitida por la fuente de alimentación de CC 102 puede comprender la entrada al módulo regulador de tensión 300. El módulo regulador de tensión 300 puede configurarse para reducir la señal de CC recibida a una señal de tensión más baja. Por ejemplo, si la señal de CC recibida comprende 40 V, el módulo regulador de tensión 300 puede reducir dicha señal a una señal de CC de 15 V. En algunas realizaciones, el módulo regulador de tensión 300 puede comprender reguladores de tensión de resistencia pelicular. La salida del módulo regulador de tensión 300 se puede suministrar a cada uno del módulo oscilador 302 y del módulo de control 314.

El módulo oscilador 302 se puede configurar para convertir la señal de CC reducida o escalonada en una señal de CA a una frecuencia de RF particular. La frecuencia de RF particular puede ser "fija" o establecerse de conformidad con un cristal particular incluido en el módulo oscilador 302. El módulo oscilador 302 también puede denominarse excitador, accionador, excitador de RF, oscilador de RF, controlador de RF o similar. La señal de RF emitida por el módulo oscilador 302 (señal de RF 303) se puede suministrar entonces al módulo APRF 304.

El módulo APRF 304 puede accionarse o controlarse basándose en una señal de polarización 322 procedente del módulo de control 314. En algunas realizaciones, la señal de polarización 322 puede oscilar entre 0 y 4 V. La señal de polarización 322 también se puede suministrar al módulo oscilador 302. El módulo APRF 304 se puede configurar para amplificar la potencia de la señal de RF recibida a una cantidad de conformidad con la cantidad de polarización aplicada (por ejemplo, el valor de la señal de polarización 322).

La cantidad de amplificación o ganancia de potencia suministrada por el módulo APRF 302 puede ser en función del valor de la señal de polarización 322.

En algunas realizaciones, el módulo APRF 302 puede incluir transistores de alta ganancia, como cuatro transistores LDMOS, configurados para amplificar la potencia de la señal de RF recibida desde el módulo oscilador 302 con una ganancia de aproximadamente 28 decibelios (dB). Por ejemplo, la señal de RF 303 recibida desde el módulo oscilador 302 puede comprender una señal de aproximadamente 4 a 6 W. Cada uno de los transistores de alta ganancia puede configurarse para utilizar aproximadamente de 1 a 1,5 W de la señal de RF 303 para emitir aproximadamente a 300 W. De este modo, los transistores de alta ganancia (y el módulo APRF 304 en general) pueden amplificar colectivamente aproximadamente de 4 a 6 W hasta aproximadamente 1250 W, menos de aproximadamente 1250 W, mayor de aproximadamente 1250 W, un intervalo de 0 a 1250 W (dependiendo de la cantidad de polarización aplicada al módulo APRF 304) y/o similares. La señal RF 305 emitida desde el módulo APRF 304 hacia el módulo acoplador direccional 306 puede comprender, por tanto, una señal RF que tenga la amplificación de potencia deseada.

La señal de RF 305 recibida por el módulo acoplador direccional 306 puede comprender la señal de salida del generador de RF 104 (también denominada salida de RF o salida RF), que puede ser emitida por el módulo acoplador direccional 306 al módulo de adaptación de impedancia 106.

En algunas realizaciones, el módulo acoplador direccional 306 puede configurarse para detectar los niveles de potencia directa y reflejada del sistema 100. Se puede detectar el nivel de tensión de RF o el valor asociado con cada una de las potencias directas y reflejadas, monitorizando o midiendo continuamente, en tiempo real o prácticamente en tiempo real. Cuanto mayor es el valor de tensión, mayor es el nivel de potencia. Se puede considerar el módulo acoplador direccional 306 un medidor de potencia o detector al menos para esta funcionalidad. Los niveles de potencia directa y reflejada monitorizados o las indicaciones de los niveles de potencia directa y reflejada monitorizados, se los puede suministrar al módulo acoplador direccional 306 al módulo de control 314.

Por ejemplo, las señales 310, 312 asociadas con los niveles de potencia directa y reflejada monitorizados suministrados al módulo de control 314 pueden comprender pequeñas señales de tensión que son proporcionales a los niveles reales de potencia directa y reflejada detectados, respectivamente. De cero a 2,5 V puede representar de 0 a 90 W aproximadamente, por ejemplo. También se pueden implementar otros factores de conversión o escalado.

La FIG. 4 representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo acoplador direccional 306, según algunas realizaciones. El módulo acoplador direccional 306 puede comprender un acoplador direccional de tipo transformador. Como se muestra en la FIG. 4, se puede suministrar la señal de RF (etiquetada entrada RF) desde el módulo APRF 304 a dos ramas del circuito, proporcionando la primera rama la señal de salida del generador de RF 308 y estando la segunda rama configurada con dos transformadores 400, 402 para monitorizar la potencia directa y reflejada como se ha descrito anteriormente. Se puede incluir un condensador de ajuste variable 404 en el circuito para mejorar la precisión (directividad) del módulo acoplador direccional 306. El condensador 404 puede configurarse para tener una capacitancia entre 6 y 50 picroFaradios (pF) aproximadamente.

En algunas realizaciones, el módulo de control 314 puede comprender un circuito lógico de bucle enganchado en fase analógica (PLL) que utiliza una lógica de transistor a transistor sin microprocesadores. El módulo de control 314 puede configurarse para recibir las señales 310 y 312 y suministrar las respectivas señales de salida 318 y 320. Al menos la señal 320 (indicador de nivel de potencia reflejada), por ejemplo, puede ser utilizada por el motor paso a paso 108 para ajustar dinámicamente la impedancia del módulo de adaptación de impedancia 106. A modo de otro ejemplo, se pueden suministrar una o ambas de las señales 318, 320 a otro módulo de control, un procesador, dispositivo de computación y/o similar para una funcionalidad adicional. La señal 316 puede comprender una señal de entrada de punto de referencia para "encender" el generador de RF 104. La señal 316 puede oscilar entre 0 y 10 V.

El módulo de control 314 puede configurarse para suministrar una protección de limitación por repliegue "foldback" de corriente. En algunas realizaciones, el módulo de control 314 puede incluir un amplificador operacional 500 (como se ha representado en un ejemplo de diagrama de bloques en la FIG. 5) configurado para comparar continuamente los niveles de potencia directa y reflejada utilizando las señales recibidas 310 y 312. Si el nivel de potencia reflejada está por encima de un umbral predeterminado (por ejemplo, el nivel de potencia reflejada es superior al 15 % del nivel de potencia directa, el nivel de potencia reflejada es igual o mayor que una tensión determinada), la salida del amplificador operacional 500 emite una señal de polarización 322 que puede ser menor que el valor inmediatamente anterior. Al aplicarse una polarización menor al módulo APRF 304, la siguiente señal de RF 305 generada por el módulo APRF 304 tiene una potencia proporcionalmente menor. Por tanto, la siguiente potencia directa se "repliega" o se reduce con relación a la potencia directa actual. El "replegado" de la potencia directa puede implementarse lenta, gradual o incrementalmente en lugar de apagar uno o más módulos y/o el generador de RF 104, lo que puede cortar/apagar efectivamente el sistema 100 en conjunto. Dependiendo de la tasa y/o cantidad de variación de la señal de polarización 322 a lo largo del tiempo, el repliegue puede adaptarse a la forma de una curva de repliegue de potencia predefinida.

En algunas realizaciones, se puede utilizar un potenciómetro 502 (véase la figura 5) incluido en el módulo de control 314 para definir el umbral predeterminado en el que se puede activar el repliegue. Por ejemplo, el potenciómetro 502 se puede ajustar para que se alcance el umbral predeterminado cuando la potencia reflejada llegue a 3 V.

La protección por repliegue de potencia suministrada por el módulo de control 314 puede comprender una protección de repliegue suave de potencia, en la que la polarización aplicada al módulo APRF 304 puede reducirse una o más veces en respuesta a una condición de activación de repliegue dada, pero la polarización aplicada puede no reducirse a cero o ninguna polarización.

La potencia asociada con la señal de RF 305/308 puede replegarse simplemente a un nivel seguro en lugar de cortar/apagar todo el procesamiento, lo que podría ser el caso con un repliegue fuerte de potencia. Por ejemplo, la potencia asociada con la señal de RF 305/308 (por ejemplo, la potencia directa) puede ser de 1250 W en un punto temporal, luego, la potencia reflejada aumenta hasta el nivel en el que se alcanza el umbral predeterminado. En respuesta, el módulo de control 314 puede empezar a reducir la señal de polarización 322 hacia el módulo APRF 304 una o más veces hasta que el nivel de potencia reflejada ya no satisfaga el umbral predeterminado (por ejemplo, cayendo por debajo del umbral predeterminado). En dicho momento, la potencia asociada con la señal de RF 305/308 puede ser de 900 W, a modo de ejemplo.

Este bucle de control de retroalimentación implementado en el módulo de control 314 puede considerarse una característica de seguridad que permite la protección de transistores (y posiblemente otros componentes) incluidos en el generador de RF 104. Por ejemplo, cuando el nivel de potencia reflejada se acerca a aproximadamente del 10 al 15 % del nivel de potencia directa, la cantidad de disipación de potencia en los transistores puede duplicarse con respecto a cuando los niveles de potencia reflejada son bajos. Someter los transistores (como los transistores LDMOS incluidos en el módulo APRF 304) a una disipación de potencia demasiado alta puede provocar daños en el transistor,

5 averías, fuego, daños o fallas en los componentes cercanos y/o similares. En realizaciones en las que el módulo APRF 304 puede emitir señales de RF superiores a 1250 W, como 2 kilovatios (kW), la protección por repliegue de potencia puede ser incluso más relevante para proteger los componentes. Se debe tener en cuenta que incluso con la potencia directa "replegada", el sistema 100 continúa procesando el material de interés, aunque a un nivel de potencia más bajo que antes. Debido a la monitorización y al ajuste continuos de la señal de polarización 322, se puede lograr un control dinámico de la señal de RF 308 emitida al módulo de adaptación de impedancia 106.

10 En algunas realizaciones, el módulo de control 314 puede configurarse para incluir una característica de protección basada en la temperatura. Cuando un termistor (o un sensor de temperatura) incluido en el generador de RF 104 detecta cierta temperatura asociada con el generador de RF 104, como la del disipador de calor 230, el termistor puede configurarse para modificar su valor o estado. Tal cambio en el valor o estado del termistor activa el módulo de control 314 para comunicar una señal de temperatura 324 al módulo APRF 304 y reducir la señal de polarización 322 a 0 V, apagando así el módulo APRF 304. El termistor puede experimentar un cambio de valor o estado cuando el disipador de calor 230 se calienta demasiado, uno o ambos ventiladores 236, 238 pueden no estar operativos o bloqueados, o alguna otra acumulación térmica interna ha alcanzado un nivel demasiado alto. El termistor, en algunas realizaciones, puede comprender un componente económico que puede montarse en uno de los tornillos asociados con un transistor del generador de RF 104, y que está configurado para disminuir la tensión a medida que aumenta la temperatura hasta que la tensión alcanza un valor preestablecido (tal como 1,9 V), el termistor registra un cambio de estado.

20 Aunque no se muestra en la FIG. 3, varias conexiones eléctricas dentro y fuera de uno o más de los módulos 300, 302, 304, 306, 314 pueden comprender conexiones blindadas (tales como un blindaje usando cables coaxiales) y que pueden estar conectadas a tierra por separado. Por ejemplo, conexiones eléctricas en las que la señal de polarización 322, la señal 310, la señal 312, la señal 316, la señal 303, la señal 305, la señal 318 y/o la señal 320 pueden transmitirse respectivamente y pueden comprender conexiones blindadas con una toma de tierra separada. Aunque los módulos 300, 302, 304, 306, 314 pueden comprender circuitos, una o más de las funcionalidades de los módulos 300, 302, 304, 306 y/o 314 pueden implementarse como alternativa utilizando firmware, software, otro hardware y/o combinaciones de los mismos.

30 La FIG. 6 representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo APRF 304, según algunas realizaciones. El diagrama de circuito de ejemplo puede corresponder al sistema 100 que opera a 27,12 MHz y una potencia de RF máxima de 1250 W o de hasta 1400 W, dependiendo de la temperatura del aire ambiente. Como se muestra en la FIG. 6, el circuito puede comprender unas ramas, primera y segunda, 600, 630 en el lado de entrada (lado izquierdo del circuito) que se combinan en el lado de salida (lado derecho del circuito), que se describe más adelante. Las ramas, primera y segunda, 600, 630 pueden ser idénticas entre sí. Con la configuración de dos ramas, los transistores LDMOS (transistores 606, 608, 636, 638) incluidos en la misma pueden implementarse en una configuración de empujar y tirar que proporciona una atenuación, cancelación o eliminación automática de armónicos de orden par de la frecuencia fundamental. De este modo, ningún armónico o ningún segundo, cuarto, sexto y armónicos superiores muy bajos pueden estar presentes.

40 El circuito mostrado en la FIG. 6 puede comprender una pluralidad de etapas o porciones. Con respecto a la primera rama 600, yendo de izquierda a derecha, puede incluir una etapa de entrada, una etapa de transformador de entrada, una etapa de transistor LDMOS, una etapa de transformador de salida, una etapa de combinación de señales 612 y una etapa de salida. De manera similar, la segunda rama 630, yendo de izquierda a derecha, puede incluir una etapa de entrada, una etapa de transformador de entrada, una etapa de transistor LDMOS, una etapa de transformador de salida, la etapa de combinación de señales 612 y una etapa de salida. El combinador de señales y las etapas de salida se comparten tanto en la primera como en la segunda rama 600, 630.

45 En algunas realizaciones, la señal de RF 303 emitida desde el módulo oscilador 302 puede comprender dos señales de RF 602 y 632 divididas de manera idéntica. Una sola señal de RF generada por el módulo oscilador 302 puede dividirse en dos señales de RF idénticas usando un divisor incluido en el módulo oscilador 302 justo antes de ser emitida al módulo APRF 304.

50 Cada una de las señales de RF divididas 602, 632 puede tener la mitad de la potencia de la señal de RF única. A modo de ejemplo, cada una de las señales de RF divididas 602, 632 puede tener una potencia de 3 W. Se pueden generar señales de RF divididas 602, 632 para que sirvan como señal de entrada o de accionamiento para las ramas, primera y segunda, 600, 630, respectivamente. Como alternativa, la señal de RF 303 del módulo oscilador 302 puede comprender una única señal que puede dividirse al recibirse en el módulo APRF 304.

55 La recepción de la señal de RF dividida 602 puede producirse en la etapa de entrada de la primera rama 600. A continuación, un transformador de entrada 604 (con circuitería asociada) incluido en la etapa del transformador de entrada puede configurarse para procesar la señal de RF dividida 602 para unas entradas adecuadas para la etapa de transistor LDMOS. El transformador de entrada 604 puede configurarse para dividir aún más la señal de RF dividida 602 en un par de señales, cada una con una potencia de 1,5 W. El transformador de entrada 604 puede comprender un transformador de baja potencia. El transformador de entrada 604 puede comprender una variedad de tipos de transformadores, incluyendo los transformadores de tubo con toroides de ferrita.

Las señales pueden comprender a continuación las entradas a un par de transistores LDMOS 606, 608 incluidos en

la etapa del transistor LDMOS de la primera rama 600. Cada uno de los transistores LDMOS 606, 608 (con circuitos asociados) puede configurarse para suministrar una amplificación de potencia de la señal de entrada del orden de aproximadamente 30 dB (por ejemplo, convertir una señal de RF de 1,5 W en una señal de RF de hasta 300 W). Los transistores LDMOS 606, 608 pueden comprender componentes electrónicos que son económicos, fiables, duraderos, con una larga vida útil y similares en comparación con los tubos de vacío. Las salidas de los transistores LDMOS 606, 608, ahora señales de RF de alta potencia, entonces pueden ser entradas de un transformador de salida 610 incluido en la etapa del transformador de salida. Los drenajes de los transistores LDMOS 606, 608 pueden acoplarse eléctricamente a los devanados primarios del transformador de salida 610. En algunas realizaciones, el transformador de salida 610 puede comprender un transformador de tubo con toroides de polvo de hierro o un transformador no basado en ferrita. Para evitar la degradación del material de ferrita en presencia de señales de alta potencia, se pueden implementar transformadores no basados en ferrita para el transformador de salida 610. La señal de RF en los devanados secundarios del transformador de salida 610 es la entrada en la etapa 612 del combinador de señales.

La segunda rama 630 puede procesar de manera similar la señal de RF dividida 632 utilizando etapas que incluyen un transformador de salida 634, transistores LDMOS 636, 638 y transformador de salida 640 como se ha expuesto anteriormente para el transformador de salida 604, transistores LDMOS 606, 608 y un transformador de salida 610, respectivamente.

En algunas realizaciones, la etapa de combinación de señales 612 puede configurarse para combinar dos entradas en una única salida. Los devanados secundarios del transformador de salida 610 pueden acoplarse eléctricamente a un condensador (en derivación) C23 que tiene una capacitancia de 10 pF, que a su vez puede estar acoplado eléctricamente a un inductor L8 que tiene una inductancia de 0,3 μ H, que a su vez puede estar acoplado eléctricamente a otro condensador (en derivación) C25 que tiene una capacitancia de 51 pF. Los condensadores C23, el inductor L8 y el condensador C25 pueden comprender una rama de entrada de la etapa 612 del combinador de señales. Los devanados secundarios del transformador de salida 640 pueden acoplarse eléctricamente a un condensador (en derivación) C24 que tiene una capacitancia de 10 pF, que a su vez puede estar acoplado eléctricamente a un inductor L9 que tiene una inductancia de 0,3 μ H, que a su vez puede estar acoplado eléctricamente a otro condensador (en derivación) C26 que tiene una capacitancia de 51 pF. Los condensadores C24, el inductor L9 y el condensador C26 pueden comprender otra rama de entrada de la etapa 612 del combinador de señales. Un condensador (en derivación) C27 que tiene una capacitancia de 120 pF puede ser común para ambas ramas de entrada y comprender la rama de salida de la etapa 612 del combinador de señales.

La configuración del combinador de señales mostrada en la FIG. 6 puede comprender una configuración de combinador Wilkinson no convencional. En un combinador Wilkinson convencional, la impedancia asociada con cada una de las dos ramas de entrada es la mitad de la impedancia asociada con la rama de salida. La reactancia que puede ser necesaria para hacer coincidir dos impedancias de entrada de 25 ohmios (Ω) con una única impedancia de salida de 50 Ω es de 70 Ω para cada componente. En la FIG. 6, la impedancia de entrada no es de 25 Ω , desviándose de los combinadores de Wilkinson convencionales. En su lugar, en la FIG. 6, la reactancia asociada con el inductor L8 puede ser de 50 Ω (+j50), la reactancia asociada con los condensadores C23 más el condensador C25 puede ser de 100 Ω (-j100), y la reactancia asociada con el inductor L8 (a 0,3 μ H) y el condensador C24 más el condensador C26 puede ser de 100 Ω (-j100). En la FIG. 6, los inductores L5 y L6 pueden comprender reactancias de RF y cada uno puede ser de 0,2 μ H, y los inductores L1-L4 pueden ser de 0,1 μ H.

Los valores de los parámetros de al menos los componentes incluidos en la etapa 612 del combinador de señales pueden seleccionarse para facilitar la conformación de la forma de onda de la señal y/o la operación/generación de Clase E. La forma de onda de tensión en los drenajes de los transistores LDMOS 606, 608, 638, 640 puede tener una forma de onda cuadrada (o aproximadamente cuadrada). La operación de clase E se refiere a la clase de operación de eficiencia energética más alta. La señal de RF 305 puede comprender una señal que tiene una eficiencia energética del 75 al 80 % en la conversión de CC a RF, con una eficiencia de conversión de CC a RF superior al 50 %, o similar.

La FIG. 7 representa una vista en sección transversal de un ejemplo de la cavidad 110, según algunas realizaciones. La cavidad 110 puede incluir, sin limitación, una carcasa 700, una primera placa de electrodo 702, una segunda placa de electrodo 704 y un conducto o cable de señal de RF 706. La carcasa 700 puede incluir una abertura a través de la cual puede pasar el conducto o cable 706 de señal de RF. Un extremo del conducto o cable de señal de RF 706 puede acoplarse eléctricamente a la salida del módulo de adaptación de impedancia 106. El extremo opuesto del conducto o cable de señal de RF 706 puede acoplarse eléctricamente a la primera placa de electrodo 702. La señal de RF generada por el generador de RF 104 (por ejemplo, 27,12 Mhz, 1250 W) puede transmitirse a través del conducto o cable de señal de RF 706 a un material de interés 708 situado entre las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704.

La primera placa de electrodo 702, también denominada electrodo o electrodo superior, se puede colocar de manera fija en una ubicación particular entre la parte superior e inferior de la carcasa 700. Una distancia o altura 710 puede separar la parte superior de la carcasa 700 de la primera placa de electrodo 702, y una distancia o altura 716 puede separar la primera placa de electrodo 702 de la parte inferior de la carcasa 700. La segunda placa de electrodo 704, también denominada electrodo, electrodo inferior o electrodo de tierra, puede comprender la parte inferior (o al menos una parte de la parte inferior) de la carcasa 700. La segunda placa de electrodo 704 puede comprender un plano de conexión a tierra de la cavidad 110. Como alternativa, la segunda placa de electrodo 704 puede comprender una placa

de electrodo situada encima de la parte inferior de la carcasa 700 y conectada a tierra a un plano de tierra de la carcasa 700.

5 Cada una de la carcasa 700, primera placa de electrodo 702 y segunda placa de electrodo 704 pueden comprender un material conductor, un metal, una aleación de metal, acero inoxidable, aluminio y/o similares. El conducto o cable de señal de RF 706 puede comprender un cable coaxial.

10 En algunas realizaciones, la longitud y anchura de cada una de las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704 pueden ser iguales o aproximadamente iguales que la longitud y anchura del material de interés 708. Como alternativa, la longitud y/o anchura de la primera y/o segunda placa de electrodo 702, 704 puede ser diferente (por ejemplo, mayor) que la del material de interés 708. La longitud y anchura de al menos la primera placa de electrodo 702 pueden ser menores que la longitud y anchura interior de la carcasa 700 de modo que la primera placa de electrodo 702 no entre en contacto físicamente con los lados de la carcasa 700. Por ejemplo, puede haber un hueco de 1,27 cm entre la primera placa de electrodo 702 en todos los lados de la carcasa 700.

15 Cuando el material de interés 708 está colocado dentro de la carcasa 700, el material de interés 708 puede estar o no en contacto físico con una o ambas de las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704. En algunas realizaciones, una distancia o hueco 712 entre la primera placa de electrodo 702 y la parte superior del material de interés 708 puede ser de aproximadamente 1,27 a 2,54 cm o menos, y una distancia o hueco 714 entre la parte inferior del material de interés 708 y la segunda placa de electrodo 704 puede ser de aproximadamente 1,27 cm o menos. En algunas realizaciones, el material de interés 708 puede tener una altura de aproximadamente 12,7 cm y, en consecuencia, la distancia 716 entre las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704 puede ser de aproximadamente 15,24 cm. Las dimensiones correspondientes de la carcasa 700 pueden ser entonces de aproximadamente 560 milímetros (mm) x 430 mm x 610 mm. Como alternativa, la distancia 716 puede ser menor o mayor de 15,24 cm, como se expone en detalle más adelante. La distancia 710 (también denominada hueco) se puede seleccionar para reducir los cambios en la impedancia de carga total con cambios en las dimensiones del material de interés y la constante dieléctrica. La distancia 710 puede crear un condensador de amortiguación para amortiguar los cambios en la capacitancia 722. Esto se debe a que la capacitancia 720 (C1) es mucho mayor que la capacitancia 722 (C2). El aumento de la capacitancia total reduce la carga Q (en la que $Q = \text{reactancia/resistencia}$). Disminuir la reactancia de la impedancia de carga y, por lo tanto, disminuir Q, facilita el ajuste fino de la impedancia de adaptación. La distancia 710 puede ser de 1,27 a 5,08 cm o menos.

30 Una capacitancia 720 (también denominada capacitancia C1) puede estar definida por la parte superior de la carcasa 700 y la primera placa de electrodo 702 (por ejemplo, un par de electrodos), la distancia 710 entre ellos, y las propiedades dieléctricas del material entre el par de electrodos (por ejemplo, aire). Dado que la capacitancia es inversamente proporcional a la distancia entre los electrodos, a medida que la distancia 710 disminuye, mayor es el valor de la capacitancia 720. En algunas realizaciones, cuanto menor es la distancia 710, mayor es la flexibilidad de diseño para uno o más de los demás parámetros, dimensiones o similares del sistema 100. Una capacitancia 722 (también denominada capacitancia C2) puede estar definida por las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704 (por ejemplo, un par de electrodos), la distancia 716 entre ellos, y las propiedades dieléctricas del material entre el par de electrodos (por ejemplo, una combinación de aire y material de interés 708 (por ejemplo, carne, hielo y sal)). La capacitancia 720 está dispuesta en paralelo a la capacitancia 722.

40 LA FIG. 8A representa un diagrama de circuito de un ejemplo del módulo de adaptación de impedancia 106, según algunas realizaciones. El circuito de adaptación de impedancia 800, también denominado circuito de adaptación LL, puede configurarse para incluir un condensador 804 (también denominado C1), un inductor 806 (también denominado L1), un transformador 808 (también denominado T1) y un condensador 810 (también denominado C2). La señal de RF 308 emitida por el generador de RF 104 puede comprender la entrada al circuito 800 en el condensador 804. La señal de RF 802 emitida por el circuito 800 en los devanados secundarios del transformador 808 puede ser la entrada al conducto o cable de señal de RF 706 de la cavidad 110 (por ejemplo, a la carga).

50 En algunas realizaciones, el condensador 804 y el inductor 806 pueden disponerse en paralelo entre sí, y tal disposición en paralelo, a su vez, puede estar en serie con los devanados primarios del transformador 808 que pueden formar lo que podría denominarse en general circuito primario. El condensador 810 y los devanados secundarios del transformador 808 pueden formar otro circuito en serie, que también puede denominarse circuito secundario. A medida que cambia la capacitancia del condensador 804, cambia la reactancia general asociada con el circuito primario. Debido al acoplamiento entre los devanados secundario y primario del transformador 808, tal cambio en el circuito secundario provoca un cambio en la inductancia asociada con el circuito primario. Se puede considerar que los devanados secundarios del transformador 808 cambian o controlan la inductancia asociada con los devanados primarios del transformador 808. Se puede considerar, por tanto, que el circuito primario y los devanados primarios del transformador 808 en particular, tienen capacidades de inductancia variable.

60 El condensador 804 (C1) y el condensador 810 (C2) se corresponden con la respectiva impedancia compleja de la capacitancia 720 (C1) y la capacitancia 722 (C2) asociada con la cavidad 110. En algunas realizaciones, dado que la capacitancia 722 (C2) está asociada con el material de interés 708 y el material de interés 708 es el elemento que experimenta un cambio térmico, la capacitancia 722 (C2) varía en el transcurso del tiempo de procesamiento a medida que el material de interés 708 sufre un cambio térmico. Como la capacitancia 722 (C2) varía con el tiempo, también lo

hace su impedancia asociada. Para que el módulo de adaptación de impedancia 106 mantenga una adaptación de impedancia entre el generador de RF 104 y la cavidad 110, a medida que la impedancia asociada con la cavidad 110 cambia en el transcurso del procesamiento debido al menos a cambios de impedancia asociados con el material de interés 708, los valores de capacitancia del condensador 810 (C2) y/o del condensador 804 (C1) en el módulo de adaptación de impedancia 106 pueden ajustarse de manera selectiva y/o dinámica en consecuencia. Los condensadores 804, 810 también pueden denominarse condensadores de valor variable o condensadores de valor de capacitancia variable.

Por ejemplo, cuando el material de interés 708 comprende proteína de aproximadamente 12,7 cm de altura, la distancia 716 entre las placas de electrodo, primera y segunda, 702, 704 de la cavidad 110 es de aproximadamente 15,24 cm, y el material de interés 708 debe calentarse desde una temperatura inicial de aproximadamente -20°C hasta una temperatura final de $-3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, el condensador 804 puede oscilar entre 16 y 107 pF, de 16 a 250 pF o similar; el condensador 810 puede oscilar entre 16 y 40 pF, de 16 a 80 pF o similar; y el inductor 806 puede tener aproximadamente 74 nanoHenry (nH).

A continuación, se proporcionan los valores de impedancia asociados con el circuito 800 en general (también denominados valores de impedancia de adaptación) para diferentes combinaciones de valores de capacitancia mínima y máxima de los condensadores 804, 810.

Condensador 804 (C1)	Condensador 810 (C2)	Adaptación de Impedancia
20 pF	20 pF	2,0 Ω - j50
120 pF	20 pF	3,0 Ω - j55
120 pF	120 pF	3,5 Ω - j72
20 pF	120 pF	3,0 Ω - j69
120 pF + un condensador de 120 pF añadido en paralelo al condensador 804	120 pF	5,0 Ω - j77

Como se puede observar, el componente real de la impedancia de adaptación oscila entre 2 y 5 Ω y el componente reactivo de la impedancia de adaptación oscila entre -j50 y -j77. Dicho intervalo en la impedancia de adaptación proporciona suficiente margen como para cubrir posibles valores de la impedancia de carga (por ejemplo, la impedancia asociada con la cavidad 110 en general) durante todo el procedimiento. En algunas realizaciones, aproximadamente el centro del intervalo de impedancia de adaptación posible basado en el intervalo de condensadores 804, 810 puede seleccionarse para que sea el mismo que los valores de impedancia de carga, y las porciones restantes del intervalo de impedancia de adaptación pueden seleccionarse para proporcionar un margen de error. Por ejemplo, la impedancia de carga asociada con la carne magra a -3 °C puede ser de 3 Ω -j60, que está totalmente dentro (y cerca del centro) del intervalo de impedancia de adaptación de 2 a 5 Ω en un componente real y de -j50 a -j77 en un componente reactivo.

La FIG. 8B representa un diagrama de circuito que muestra un ejemplo de un circuito equivalente de la inductancia variable expuesta anteriormente, según algunas realizaciones. También denominado circuito equivalente LL, el circuito puede comprender un inductor 820, que oscila entre 0,28 y 0,44 microHenry (μH), en serie con un inductor 822, que oscila entre 54 y 74 nH, para los mismos parámetros de procesamiento que se expusieron en lo que se acaba de mencionar.

La FIG. 9 representa una vista superior de un ejemplo de componentes electrónicos que pueden utilizarse para implementar el circuito 800, según algunas realizaciones. Los condensadores 804, 810 pueden comprender condensadores de tipo multiplaca o placa múltiple, en el que una o más placas pueden moverse mecánicamente a una o más posiciones para variar la capacitancia. El inductor 806 puede comprender un inductor de correa. En algunas realizaciones, el inductor 806 puede comprender una tira plana de cobre plateado. El valor de inductancia del inductor 806 puede establecerse en función de las dimensiones de la tira plana de cobre plateado, en particular, la longitud. Por ejemplo, se puede lograr una inductancia de 74 nH utilizando una tira plana de cobre plateado que tenga unas dimensiones de 0,15 cm x 0,95 cm x 15,24 cm. Como alternativa, el inductor 806 puede comprender otros tipos de metales, aleaciones o de material conductor.

El transformador 808 puede comprender un tipo de transformador de núcleo de aire. El transformador 808 también puede denominarse transformador de inductancia variable de devanado plano. Las FIGS. 10A-10B representan unas vistas adicionales de un ejemplo del transformador 808, según algunas realizaciones. Como se muestra en una vista en sección transversal en la FIG. 10A, el transformador 808 puede incluir un tubo 1000, una bobina primaria 1002 y una bobina secundaria 1004.

El tubo 1000 puede comprender un cilindro hueco que tiene unos diámetros y longitudes exteriores e interiores particulares. En algunas realizaciones, el tubo 1000 puede comprender un material no magnético, no conductor y/o aislante como, pero sin limitarse a, el Teflón u otro material. Las dimensiones y la forma del tubo 1000 proporcionan

un coeficiente de acoplamiento de 0,76. Es decir, la tensión inducida en los devanados secundarios puede ser 0,76 veces la tensión en los devanados primarios. El tubo 1000 también puede denominarse forma cilíndrica hueca o tubo de Teflón. La bobina primaria 1002 puede comprender una tira conductora plana, que comprende cobre plateado, que se enrolla o envuelve alrededor de la superficie externa del tubo 1000. La bobina secundaria 1004 también puede comprender una tira conductora plana de cobre plateado (material similar al de la bobina primaria 1002) que se enrolla o envuelve alrededor de la superficie interna del tubo 1000. Cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 se puede envolver en espiral alrededor del tubo 1000 de modo que se extienda por toda la longitud del tubo 1000. Como se muestra en la FIG. 10B, un extremo de cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 puede estar ubicado en un extremo del tubo 1000 y el otro extremo de cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 puede estar ubicado en el extremo opuesto del tubo 1000.

En algunas realizaciones, el tubo 1000 puede tener un diámetro interior de aproximadamente 3,17 cm, un diámetro exterior de aproximadamente 3,81 cm y una longitud de 5,59 cm. La bobina primaria 1002 puede tener un grosor de 0,15 cm, 0,95 cm de anchura y 39,37 cm de largo. Cuando se envuelve alrededor del tubo 1000, el diámetro envuelto de la bobina primaria 1002 puede ser similar al del diámetro exterior del tubo 1000. La bobina secundaria 1004 puede tener un grosor de 0,15 cm, 0,95 cm de anchura y 39,37 cm de largo. Cuando se envuelve alrededor del tubo 1000, el diámetro envuelto de la bobina secundaria 1004 puede ser similar al del diámetro interior del tubo 1000.

Las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 también pueden denominarse devanados, tiras planas, tiras finas, devanados planos o similares. En realizaciones alternativas, las bobinas primarias y secundarias 1002, 1004 pueden comprender materiales conductores, metales, aleaciones o similares distintas del cobre plateado.

Las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 pueden comprender, respectivamente, los devanados primario y secundario del transformador 808. En algunas realizaciones, el número de vueltas o devanados de la bobina primaria 1002 alrededor del exterior del tubo 1000 puede ser de tres vueltas, mientras que el número de vueltas o devanados de la bobina secundaria 1004 alrededor del interior del tubo 1000 puede ser de cuatro vueltas. Si bien las longitudes de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 pueden ser iguales entre sí, debido a que la circunferencia interior del tubo 1000 tiene un diámetro menor que la circunferencia exterior del tubo 1000, el número de vueltas alrededor de la circunferencia interior es mayor que el número de vueltas alrededor de la circunferencia exterior. Las inductancias asociadas con cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 pueden ser idénticas entre sí. Por ejemplo, la inductancia asociada con cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 puede ser de aproximadamente 0,26-0,28 μH .

En realizaciones alternativas, el transformador 808 puede configurarse para incluir una vuelta o devanado adicional de cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 en relación con el número de vueltas expuesto anteriormente (para un total de cuatro vueltas para la bobina primaria 1002 y cinco vueltas para la bobina secundaria 1004). El tubo 1000 puede tener las siguientes dimensiones: un diámetro interior de 3,05 cm, un diámetro exterior de 3,94 cm y una longitud de 7,62 cm. Tal configuración puede aumentar la inductancia asociada con cada una de las bobinas primaria y secundaria 1002, 1004 aproximadamente 50 nH de las inductancias asociadas con la configuración del transformador expuesta anteriormente (por ejemplo, hasta ahora aproximadamente 0,31 μH). Este transformador puede ser más grande que la versión del transformador 808 expuesta anteriormente y puede facilitar el suministro de adaptación de impedancia de la cavidad 110 configurada con una distancia de electrodo 716 en el intervalo de aproximadamente 11,43 cm hasta 31,75 cm. Para esta configuración, los valores de capacitancia del condensador 810 (C2) también pueden reducirse con respecto a los valores indicados anteriormente. Por ejemplo, el condensador 810 (C2) puede tener un intervalo de capacitancias de aproximadamente 16-80 pF. El módulo de adaptación de impedancia 106 puede incluir además un mecanismo de polea de engranajes 1:1 configurado para mover las placas/aletas de los condensadores 804, 810 juntas. El mecanismo de la polea de engranajes puede ser accionado por un único motor paso a paso.

La FIG. 11 representa un ejemplo de procedimiento 1100 que puede ser realizado por el sistema 100 para procesar térmicamente el material de interés 708 hasta la temperatura final, según algunas realizaciones. En el bloque 1102, el generador de RF 104 puede configurarse para recibir la señal de CC generada por la fuente de alimentación de CC 102. Usando la señal de CC recibida y de acuerdo con el nivel de polarización aplicado al módulo APRF 304 por el módulo de control 314, el generador de RF 104 puede configurarse para generar una señal de salida de RF (por ejemplo, la señal de salida RF 308) según la polarización aplicada, en el bloque 1104.

Simultáneamente, en el bloque 1106, el módulo acoplador direccional 306 incluido en el generador de RF 104 puede configurarse para monitorizar o detectar niveles de potencia directa y reflejada del sistema 100. El bloque 1106 se puede realizar de continuamente en algunas realizaciones. Como alternativa, el bloque 1106 puede realizarse periódicamente, aleatoriamente, en momentos predeterminados y/o según otra base temporal. Los niveles de potencia directa y reflejada monitorizadas (por ejemplo, las señales 310, 312) se pueden suministrar al módulo de control 314 y el módulo de control 314, a su vez, puede suministrar señales de salida 318 y 320. Las señales 318, 320 también pueden denominarse salidas supervisadas que pueden estar disponibles para su uso por otros componentes. En algunas realizaciones, el motor paso a paso 108 puede estar acoplado al menos al conector asociado con la señal 320, la señal de indicación de nivel de potencia reflejada supervisada. De este modo, en el bloque 1130, el nivel de potencia reflejada supervisada en el bloque 1106 puede ser recibido por el motor paso a paso 108 en el bloque 1130.

Volviendo al bloque 1106, conociendo los niveles de potencia directa y reflejada, el módulo de control 314 incluido en el generador de RF 104 puede configurarse para determinar si el nivel de potencia reflejada supera un umbral, en el bloque 1108. Si no se supera el umbral (por ejemplo, el nivel de potencia reflejada está dentro de los límites aceptables) (rama no del bloque 1108), entonces el nivel de polarización actual de la señal de polarización 322 al módulo APRF 304 se puede mantener y no modificar, en el bloque 1110. El procedimiento 1100 puede volver entonces al bloque 1104.

De lo contrario, se supera el umbral (rama sí del bloque 1108) y el módulo de control 314 puede reducir el nivel de polarización de la señal de polarización 322, en el bloque 1112. En algunas realizaciones, la reducción del nivel de polarización puede ser por una cantidad preestablecida, una cantidad en proporción a la cantidad de nivel excesivo del nivel de potencia reflejada, una cantidad de acuerdo con una curva de repliegue predeterminada y/o similar. El procedimiento 1100 puede volver entonces al bloque 1104.

Al recibir el nivel de potencia reflejada monitorizada en el bloque 1130, un chip de control, una lógica de control, un controlador o similar incluido en el motor paso a paso 108 puede configurarse para determinar si el nivel de potencia reflejada monitorizada supera un umbral predeterminado, en el bloque 1132. Si no se supera el umbral (rama no del bloque 1132), el procedimiento 1100 puede volver al bloque 1132 para continuar la detección de un nivel de potencia reflejada demasiado alto en el flujo continuo de niveles de potencia reflejada monitorizada recibidos en el bloque 1130. Si se supera el umbral (rama sí del bloque 1132), entonces, el procedimiento 1100 puede avanzar al bloque 1134 en el que se puede iniciar el cambio de uno o ambos valores de capacitancia 804, 810 de los condensadores.

En algunas realizaciones, el nivel de potencia reflejada puede aumentar a medida que aumenta la cantidad de desajuste entre el valor de impedancia de adaptación asociado con el módulo de adaptación de impedancia 106 y el valor de impedancia de carga asociado con la cavidad 110 y el material de interés 708 contenido en la misma. Cuando las impedancias de adaptación y carga coinciden perfectamente, el nivel de potencia reflejada puede ser de cero. Así pues, el nivel de potencia reflejada se puede utilizar para determinar la presencia de un desajuste de impedancia, la extensión del desajuste de impedancia, y/o servir como un disparador para sintonizar (o volver a sintonizar) uno o ambos de los condensadores 804, 810 en el módulo de adaptación de impedancia 106. A modo de ejemplo, el umbral en el que el nivel de potencia reflejada puede considerarse demasiado alto puede ser de 2,0 V. Los niveles de potencia reflejada superiores a 2,0 V pueden provocar la activación del motor paso a paso. El umbral asociado con el bloque 1132 puede ser menor que el umbral asociado con la protección por repliegue en el bloque 1108 al menos por una cantidad de 0,5 V. Los niveles de potencia reflejada a los que se puede justificar el repliegue tienden a ser significativamente más altos que los niveles de potencia reflejada indicativos de un desajuste de impedancia suficiente como para desencadenar un cambio en la impedancia de adaptación.

En el bloque 1134, el chip de control, una lógica de control, un controlador o similar incluido en el motor paso a paso 108 puede configurarse para accionar el motor paso a paso generando y suministrando una señal de ajuste apropiada al mecanismo configurado para mover/ajustar mecánicamente la(s) placa(s) de uno o ambos condensadores 804, 810.

En el módulo de adaptación de impedancia 106, cuando puede no existir una señal de ajuste (rama no del bloque 1136), entonces, los valores de capacitancia permanecen sin cambios y el procedimiento 1100 puede avanzar al bloque 1114. Por el contrario, cuando el motor paso a paso 108 genera una señal de ajuste (rama sí del bloque 1136), entonces, uno o ambos condensadores 804, 810 pueden sufrir un movimiento mecánico o un cambio de configuración para modificar/ajustar/sintonizar la capacitancia de acuerdo con la señal de ajuste, en el bloque 1138. En algunas realizaciones, los condensadores 804, 810 pueden configurarse inicialmente para estar en el valor más alto dentro de sus respectivos intervalos de capacitancia. A medida que empieza el procesamiento, el motor paso a paso 108 puede configurarse para mover o ajustar mecánicamente los condensadores 804, 810 una cantidad de incremento preestablecida o "bajar" un área asociada con los electrodos de modo que los valores de capacitancia asociados disminuyan. El motor paso a paso 108 puede tener, por ejemplo, cien pasos o capacidades incrementales de movimiento/ajuste, que pueden corresponder a los intervalos de capacitancia completos asociados con los condensadores 804, 810 (por ejemplo, 16 a 107 pF). Una señal de ajuste puede hacer que el motor paso a paso se mueva un paso o incremento, que puede corresponder a un pequeño cambio en la capacitancia, tal como aproximadamente de 3 a 5 pF. Con la capacitancia ahora cambiada aproximadamente de 3 a 5 pF, el nivel de potencia reflejada en respuesta a tal cambio puede detectarse en el bloque 1132 (en la siguiente ronda de detección del nivel de potencia reflejada). En algunas realizaciones, el motor paso a paso 108 puede comprender más de un motor paso a paso y/o tener la capacidad de ajustar los condensadores 804, 810 de manera independiente entre sí.

Si el nivel de potencia reflejada aún supera el umbral (la rama sí del bloque 1132), entonces puede generarse otra señal de ajuste en el bloque 1134 para ajustar mecánicamente los condensadores 804, 810 un paso o incremento y el valor de capacitancia cambia de nuevo aproximadamente de 3 a 5 pF. Este bucle puede repetirse según sea necesario hasta que el nivel de potencia reflejada esté por debajo del umbral. Si el nivel de potencia reflejada supera una vez más el umbral, entonces pueden volver a producirse ajustes incrementales de un solo paso en la capacitancia. En el transcurso del procesamiento térmico del material de interés 708 hasta la temperatura final, los condensadores 804 y/o 810 pueden moverse a través de todo su intervalo de capacitancias, desde sus valores de capacitancia más altos hasta los más bajos.

En algunas realizaciones, uno o ambos condensadores 804, 810 pueden ajustarse en respuesta a una señal de ajuste,

el ajuste de los condensadores 804, 810 puede alternarse en respuesta a señales de ajuste sucesivas o similares. Por ejemplo, los condensadores 804 y 810 pueden moverse o ajustarse ambos mediante activando el motor paso a paso.

5 Como alternativa, el bloque 1132 puede comprender la detección de un aumento en el nivel de potencia reflejada en relación con el nivel de potencia reflejada detectada inmediatamente anterior o un número determinado de niveles de potencia reflejada detectadas previamente. De manera similar a lo expuesto anteriormente, si se detecta un aumento, entonces, el procedimiento 1100 puede avanzar al bloque 1134 para provocar un aumento en la capacitancia en el módulo de adaptación de impedancia 106.

10 Con la capacitancia sintonizada (o sintonizada más estrechamente) para suministrar una impedancia adaptada, la señal de RF 308 generada por el generador de RF 104 en el bloque 1104 puede ser recibida por el módulo de adaptación de impedancia 106 en el bloque 1114. A continuación, en el bloque 1116, la señal de RF recibida 308 puede propagarse o ser procesada por la configuración actual del módulo de adaptación de impedancia 106 (incluyendo cualquier condensador(es) que pueda haber sido sintonizado en el bloque 1138). La señal de RF 802 resultante generada por el módulo de adaptación de impedancia 106 puede suministrarse a la cavidad 110 en el bloque 1118.

15 Cuando se recibe la señal de RF 802 en la cavidad 110, en el bloque 1120, la cavidad puede configurarse para aplicar la señal de RF recibida 802 al material de interés 708, en el bloque 1122.

20 Debido a que el sistema 100 puede configurarse para monitorizar continuamente los niveles de potencia directa y reflejada (en el bloque 1106), se puede considerar que la aplicación de una señal de RF al material de interés en un punto temporal dado puede tener como resultado la generación de la siguiente potencia reflejada, que puede detectarse en el bloque 1106. Este bucle de retroalimentación puede verse indicado por la línea de puntos del bloque 1122 al bloque 1106.

25 En algunas realizaciones, al final de dicho procesamiento continuo del material de interés 708, la uniformidad de la temperatura en todo el volumen del material de interés puede estar dentro de $\pm 1,4$ °C, dentro de 1 °C, dentro de menos de 1,5 °C o similar. Tal uniformidad de temperatura también puede existir en el material de interés 708 en el transcurso del procedimiento.

30 La FIG. 12A representa un gráfico 1200 que muestra las temperaturas del material de interés 708 durante el período de tiempo de un ejemplo del procedimiento realizado por el sistema 100, según algunas realizaciones. Una línea 1202 muestra las temperaturas del material de interés 708 desde una temperatura inicial de -20 °C en un tiempo inicial hasta una temperatura final de -4 °C en aproximadamente de 35 a 40 minutos a medida que la energía de RF se aplica continuamente al material de interés 708 durante el periodo de tiempo de 40 minutos. Se observa que el tiempo asociado con el aumento de la temperatura del material de interés 708 de -10 °C a -4 °C (la última parte del intervalo de temperaturas) es mayor que el tiempo asociado con el aumento de la temperatura en la parte inicial del procedimiento.

35 El período de tiempo para procesar un material de interés de menos de -20 °C (tal como, -40 °C) a -3 °C ± 1 °C puede ser de aproximadamente 40 a 50 minutos o menos de una hora. Debido a que el cambio de temperatura es rápido a temperaturas muy por debajo de aproximadamente -10 °C, una temperatura inicial inferior a -20 °C no añade mucho al tiempo de procesamiento total que una temperatura inicial de -20 °C.

40 La FIG. 12B representa un gráfico 1210 que muestra unas curvas 1212 y 1214 de ejemplo, según algunas realizaciones. La curva 1212 puede estar asociada con el aire, mientras que las curvas 1214 pueden estar asociadas con diversos materiales. Aunque las curvas 1212 y 1214 pueden estar asociadas con materiales congelados o el aire, materiales en presencia de un flujo de calor uniforme (por ejemplo, materiales que se están calentando) pueden presentar perfiles de cambio de temperatura similares, excepto a la inversa, en función del tiempo. Como se muestra en la sección 1216 de las curvas 1214, los materiales pueden presentar cambios casi lineales de temperatura en función del tiempo cuando se calientan de aproximadamente -20 °F a aproximadamente 27 °F. Los materiales también pueden presentar un período de tiempo durante el cual pueden cambiar de temperatura, aunque se esté aplicando o extrayendo energía, como se muestra en una sección horizontal 1218 (o casi horizontal) de las curvas 1214. Esta sección puede denominarse zona latente. La falta de cambio de temperatura en la sección 1218 puede estar asociada con los materiales que experimentan un cambio de fase de líquido a sólido (por ejemplo, agua en los materiales que se están convirtiendo en hielo).

50 La FIG. 13 representa un diagrama de bloques de un ejemplo de sistema de procesamiento de RF 1300 que incorpora aspectos de la presente divulgación, según unas realizaciones adicionales. El sistema 100 puede comprender un sistema de procesamiento de RF estacionario, en que el material de interés (por ejemplo, la carga) no se mueve dentro del sistema 100 durante el procedimiento aplicado, mientras que el sistema 1300 puede comprender un sistema de procesamiento de RF en el que el material de interés se mueve y/o se reposiciona en una o más áreas dentro del sistema 1300 durante el procedimiento, como se describe en detalle más adelante.

55 En algunas realizaciones, el sistema 1300 puede incluir, sin limitación, un túnel 1302, un transportador 1304, una placa de electrodo de tierra 1306, una puerta de introducción 1308, una puerta de extracción 1310, una pluralidad de celdas de procesamiento 1312, un módulo de control maestro 1350, un dispositivo de computación 1352 y un dispositivo de

computación 1356. El túnel 1302 y el (los) compartimento(s)/cámara(s) que incluyen la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 se muestran en una vista en sección transversal en la FIG. 13.

5 El túnel 1302 en combinación con las puertas de introducción y extracción 1308, 1310 puede comprender un recinto en el que el material de interés 708 puede procesarse térmicamente. El túnel 1302 puede tener una variedad de formas como, pero sin limitarse a, un tubo cuadrado, un tubo rectangular o similar. El túnel 1302 también puede denominarse cavidad, carcasa, recinto o similar. El túnel 1302 puede ser análogo a la cavidad 110 del sistema 1300.

10 El fondo del túnel 1302 puede incluir un transportador 1304 que se extiende al menos por la longitud del túnel 1302 o se extiende por la longitud del túnel 1302 y también más allá del túnel 1302 en uno o ambos extremos del túnel 1302. El transportador 1304 puede incluir cintas, rodillos u otros mecanismos de transporte para hacer que los elementos colocados sobre los mismos (por ejemplo, el material de interés 708) se mueva o sea trasladado en una dirección 1305. El movimiento en la dirección 1305 puede ser continuo, intermitente, a velocidad constante, a velocidad variable, indexado, a demanda y/o similar. Dispuesta encima del transportador 1304 puede estar la placa de electrodo de tierra 1306. La placa 1306 de electrodo de tierra puede comprender un material conductor que está conectado eléctricamente a tierra. La placa de electrodo de tierra 1306 también puede denominarse placa de tierra, un electrodo de tierra o similar. El túnel 1302 puede incluir la puerta de introducción 1308 en una abertura/extremo y la puerta de extracción 13 10 en la abertura/extremo opuesto. La puerta de introducción 1308 puede comprender una puerta o abertura a través de la cual se puede introducir material de interés 708 en el túnel 1302. La puerta de extracción 1310 puede comprender una puerta o abertura a través de la cual se puede sacar material de interés 708 del túnel 1302. En realizaciones alternativas, una o ambas puertas 1308, 13 10 se pueden omitir del sistema 1300.

20 En algunas realizaciones, la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede situarse encima del túnel 1302. La pluralidad de celdas de procesamiento 1312 (a excepción de las placas de electrodos 1326, 1336, 1346) puede situarse en una cámara o compartimento diferente del túnel 1302. Una o más de las celdas de procesamiento de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 pueden situarse en una cámara o componente diferentes entre sí.

25 La pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede comprender N celdas, en el que cada *i*-ésima celda de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede incluir una fuente de alimentación de CC, un generador de RF, un módulo de adaptación de impedancia, un motor paso a paso y una placa de electrodo. La fuente de alimentación de CC puede ser similar a la fuente de alimentación de CC 102, el generador de RF puede ser similar al generador de RF 104, el módulo de adaptación de impedancia puede ser similar al módulo de adaptación de impedancia 106, el motor paso a paso puede ser similar al motor paso a paso 108, y la placa de electrodo puede ser similar a la placa 702 de electrodo.

30 Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, la celda 1 puede incluir una fuente de alimentación de CC 1320, un generador de RF 1322, un módulo de adaptación de impedancia 1324, un motor paso a paso 1326 y una placa de electrodo 1326. El generador de RF 1322 puede acoplarse eléctricamente entre la fuente de alimentación de CC 1320 y el módulo de adaptación de impedancia 1324, la salida del módulo de adaptación de impedancia 1324 puede acoplarse eléctricamente a la placa de electrodo 1326, y el motor paso a paso 1326 puede acoplarse eléctricamente al módulo de adaptación de impedancia 1324. La celda 2 puede incluir una fuente de alimentación de CC 1330, un generador de RF 1332, un módulo de adaptación de impedancia 1334, un motor paso a paso 1336 y una placa de electrodo 1336. El generador de RF 1332 puede acoplarse eléctricamente entre la fuente de alimentación de CC 1330 y el módulo de adaptación de impedancia 1334, la salida del módulo de adaptación de impedancia 1334 puede acoplarse eléctricamente a la placa de electrodo 1336, y el motor paso a paso 1336 puede acoplarse eléctricamente al módulo de adaptación de impedancia 1334. La celda N puede incluir una fuente de alimentación de CC 1340, un generador de RF 1342, un módulo de adaptación de impedancia 1344, un motor paso a paso 1346 y una placa de electrodo 1346. El generador de RF 1342 puede acoplarse eléctricamente entre la fuente de alimentación de CC 1340 y el módulo de adaptación de impedancia 1344, la salida del módulo de adaptación de impedancia 1344 puede acoplarse eléctricamente a la placa de electrodo 1346, y el motor paso a paso 1346 puede acoplarse eléctricamente al módulo de adaptación de impedancia 1344.

35 40 45 50 55 60 En algunas realizaciones, puede existir una separación o hueco físico entre celdas adyacentes, o entre al menos las placas de electrodos 1326, 1336, 1346, de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 a lo largo de la dirección 1305. La separación o hueco físico puede ser de al menos cinco centímetros para garantizar el aislamiento eléctrico entre celdas adyacentes. Las placas de electrodos 1326, 1336, 1346 pueden disponerse o posicionarse a una distancia/hueco particular desde la parte superior del túnel 1302, similar a la distancia 710 en la cavidad 110. La distancia/hueco particular encima de las placas de electrodos 1326, 1336, 1346 (junto con el área de los electrodos y las características dieléctricas entre los electrodos) puede estar asociada con una capacitancia C1, como las capacitancias 1328 y 1338 para las respectivas placas de electrodos 1326 y 1336, que puede ser similar a la capacitancia 720 (C1) en la cavidad 110. Del mismo modo, las placas de electrodos 1326, 1336, 1346 pueden disponerse o posicionarse a una distancia/hueco particular de la placa de electrodo de tierra 1306, similar a la distancia 722 en la cavidad 110. La distancia/hueco particular entre las placas de electrodos 1326, 1336, 1346 y la placa de electrodo de tierra 1306 (junto con el área del electrodo y las características dieléctricas entre los electrodos) puede estar asociada con una capacitancia C2, como las capacitancias 1329 y 1339 para las respectivas placas de electrodos 1326 y 1336, que puede ser similar a la capacitancia 722 (C2) en la cavidad 110.

En algunas realizaciones, los componentes incluidos en cada celda de procesamiento de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 pueden ser idénticos entre sí excepto por el intervalo de capacitancias de los condensadores incluidos en el módulo de adaptación de impedancia en las respectivas celdas de procesamiento. Los condensadores incluidos en los módulos de adaptación de impedancia (por ejemplo, los módulos de adaptación de impedancia 1324, 1334, 1344) de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 pueden comprender los condensadores 804, 810, como se muestra en la FIG. 8A. El intervalo de capacitancias en las respectivas celdas de procesamiento puede diferir entre sí.

En algunas realizaciones, cada celda de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede estar asociada con un intervalo particular de temperaturas entre la temperatura inicial y la temperatura final, en el que cada celda puede estar asociada con un intervalo de temperaturas diferentes entre sí. El intervalo de capacitancias en las respectivas celdas de procesamiento también puede seleccionarse de acuerdo con el intervalo de temperaturas particular previsto del material de interés 708 en las respectivas celdas. La temperatura inicial puede comprender la temperatura del material de interés 708 en la que empieza el procesamiento en la primera celda (celda 1). La temperatura inicial también puede denominarse temperatura de introducción. La temperatura final puede comprender la temperatura del material de interés 708 después de que se haya completado el procesamiento en la última celda (celda N). La temperatura final también puede denominarse temperatura de extracción.

En contraste con el sistema 100, que procesa el material de interés 708 a una temperatura inicial hasta una temperatura final utilizando la misma fuente de alimentación de CC 102, el generador de RF 104, el módulo de adaptación de impedancia 106, el motor paso a paso 108 y las placas de electrodos 702, 704, el sistema 1300 puede configurarse para procesar el material de interés 708 desde la temperatura inicial hasta la temperatura final en etapas utilizando la pluralidad de celdas de procesamiento 1312. El material de interés 708 puede avanzar sucesivamente de la celda 1 a la celda N, cada *i*-ésima celda configurada para modificar la temperatura del material de interés 708 desde una *i*-ésima temperatura inicial hasta una *i*-ésima temperatura final superior a la *i*-ésima temperatura inicial.

Por ejemplo, la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede comprender ocho celdas (N=8) y el material de interés 708 debe procesarse desde una temperatura inicial de -20 °C hasta una temperatura final de -2 °C. El intervalo de temperaturas asociado con cada celda puede ser aproximadamente la diferencia entre las temperaturas inicial y final dividida por el número de celdas. Para ocho celdas, cada celda puede configurarse para procesar un intervalo de temperaturas de aproximadamente 2,25 °C (= 18 °C / 8). La celda 1 puede configurarse para procesar el material de interés 708 de -20 °C a -17,75 °C, la celda 2 puede configurarse para procesar el material de interés 708 de -17,75 °C a 15,5 °C, y así sucesivamente hasta la celda N que puede configurarse para procesar el material de interés 708 de -4,25 °C a -2 °C. En algunas realizaciones, el intervalo de temperaturas de las celdas respectivas puede o no ser idéntico entre sí. Una o más de las celdas determinadas pueden estar asociadas con un intervalo de temperaturas más amplio o más estrecho que el resto de las celdas. Por ejemplo, la celda 1 y la celda N pueden configurarse para manejar un intervalo de temperaturas de 3 o 4 °C, mientras que el resto de las celdas pueden configurarse para un intervalo de temperaturas inferior a 2 °C. Se entiende que, aunque anteriormente se habla de ocho celdas, el número de celdas puede ser menor o mayor que ocho celdas, tal como, pero sin limitarse a, dos, cuatro, cinco, seis, 10, 12 celdas o similar.

En algunas realizaciones, el intervalo de capacitancias asociado con el módulo de adaptación de impedancia de cada celda puede ser un subintervalo de valores de todo el intervalo de capacitancias si el material de interés 708 se procesó en un sistema estacionario como el sistema 100. El subintervalo de valores del intervalo de capacitancias completo asociado con cada celda pueden ser diferente entre sí. Los condensadores del módulo de adaptación de impedancia (por ejemplo, los condensadores 804, 810 como en la FIG. 8A) de cada celda puede sintonizarse entre el valor más bajo hasta el más alto de su subintervalo de valores asignados asociado. Cuando los condensadores se han sintonizado a través del subintervalo, pero el nivel de potencia reflejada medida para la celda todavía está por encima de un umbral, entonces el material de interés puede estar a una temperatura fuera del intervalo de temperaturas asignado para esa celda y se debe hacer avanzar el material de interés a la siguiente celda, como se describe en detalle más adelante.

En realizaciones alternativas, los condensadores incluidos en los módulos de adaptación de impedancia pueden comprender condensadores de valor fijo (también denominados condensadores de valor de capacitancia fija) que no cambian durante el procesamiento del material de interés. Los motores paso a paso (por ejemplo, los motores paso a paso 1326, 1336, 1346) pueden ser opcionales en el sistema 1300 si se implementa una capacitancia fija en las celdas. Cada uno de los módulos de adaptación de impedancia 1324, 1334, 1346 puede incluir el circuito 800 salvo que los condensadores 804 (C1) y 810 (C2) pueden ajustarse a valores particulares o pueden sustituirse por condensadores fijos a valores particulares. A continuación, se proporciona un ejemplo de valores de capacitancia fijos de C1 y C2 en los módulos de adaptación de impedancia en una configuración de ocho celdas, para un procedimiento de -20 °C a -2,5 °C, con una distancia de aproximadamente 15,24 cm entre las placas de electrodos 1326, 1336, 1346 y la placa de electrodo de tierra 1306, y en la que el material de interés 708 puede comprender proteína.

Célula	Temperatura entrante (°C)	Tiempo de procesamiento en la celda (minutos)	Potencia de RF (W)	Impedancia de adaptación (ohmios)	C1 (pF)	C2 (pF)
1	-20,0	5	1000	2,50 - j63,0	100	60
2	-17,5	5	1000	2,57 - j62,57	90	57
3	-15,0	5	1000	2,64 - j62,14	80	54
4	-12,5	5	1000	2,71 - j61,71	70	51
5	-10,0	5	1100	2,78 - j60,28	60	48
6	-7,5	5	1200	2,85 - j60,85	50	45
7	-5,0	5	1300	2,92 - j60,42	40	42
8	-2,5	5	1300	2,99 - j59,99	30	39

En la tabla anterior, también se muestra un ejemplo de potencia de RF que puede incrementarse en las últimas celdas con respecto a las celdas de partida. Dicho aumento de potencia puede implementarse para acelerar el tiempo de procesamiento en esas celdas.

- 5 En otras realizaciones más, la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede implementarse usando una mezcla de celdas de condensadores variables y celdas de condensadores fijos. Cuanto menor es el número de celdas que comprenden la pluralidad de celdas de procesamiento 1312, mayor es el número de celdas que se pueden configurar con condensadores variables. Cuanto menor es el número de celdas que comprenden la pluralidad de celdas de procesamiento 1312, más probable es que las celdas puedan configurarse como celdas de condensador variable para mantener la impedancia de adaptación en cada celda.
- 10

En algunas realizaciones, el tiempo total para llevar el material de interés 708 a la última temperatura final (por ejemplo, $-2\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$) puede ser aproximadamente igual en ambos sistemas 100 y 1300. En el sistema 1300, la cantidad de tiempo que el material de interés 708 puede pasar acoplado eléctricamente a una celda particular puede ser aproximadamente el tiempo de procesamiento total dividido entre el número de celdas. Por ejemplo, para unas temperaturas inicial y final de -20 °C y -2 °C , respectivamente, la cantidad de tiempo de procesamiento en una celda dada puede ser de aproximadamente 4-5 minutos antes de que el material de interés 708 avance a la siguiente celda.

15

En algunas realizaciones, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para controlar componentes y coordinar el funcionamiento de los componentes durante el procesamiento del material de interés 708. El módulo de control maestro 1350, también denominado controlador maestro, controlador principal o similar, puede comprender uno o más controladores lógicos programables (CLP), un microprocesador, un procesador, un ordenador, una estación de trabajo, un ordenador portátil, un servidor y/o similares. El módulo de control maestro 1350 puede estar acoplado eléctricamente y/o estar en comunicación con, sin limitación, el transportador 1304, la puerta de introducción 1308, la puerta de extracción 1310, las fuentes de alimentación de CC (por ejemplo, las fuentes de alimentación de CC 1320, 1330, 1340), los generadores de RF (por ejemplo, los generadores de RF 1322, 1332, 1342), los motores paso a paso (por ejemplo, los motores paso a paso 1326, 1336, 1346), el dispositivo de computación 1352 y el dispositivo de computación 1356 a través de la red 1354. El módulo de control maestro 1350 puede estar localizado o alejado del túnel 1302 y de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312.

20

25

El movimiento del transportador 1304 (por ejemplo, cuando empezar a moverse, dejar de moverse, tasa de movimiento, cantidad de movimiento, etc.) puede estar determinado por señales del módulo de control maestro 1350. Las puertas de introducción y extracción 1308, 1310 pueden abrirse y cerrarse basándose en señales generadas por el módulo de control maestro 1350. Las fuentes de alimentación de CC se pueden encender y apagar y/o los parámetros operativos (por ejemplo, la potencia) estar especificados por el módulo de control maestro 1350. Una o más de las fuentes de alimentación de CC incluidas en la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 pueden configurarse de manera diferente entre sí para un procesamiento dado de un material de interés.

30

El módulo de control maestro 1350 puede tener una o más líneas de comunicación o acoplamientos con cada generador de RF. Por ejemplo, una conexión entre el módulo de control maestro 1350 y un generador de RF puede comprender una línea de control para el módulo de control maestro 1350 para encender y apagar el generador de RF y/o especificar parámetros operativos. Otra conexión entre el módulo de control maestro 1350 y el generador de RF puede comprender una línea de monitorización en la que la salida del nivel de potencia reflejada monitorizada del generador de RF (por ejemplo, la señal 320) puede ser recibida por el módulo de control maestro 1350. El módulo de control maestro 1350 puede utilizar los niveles de potencia reflejada monitorizada recibidos asociados con una celda en particular para controlar el motor paso a paso y, por extensión, seleccionar/ajustar la capacitancia del módulo de adaptación de impedancia y la impedancia de adaptación, para la celda en particular. En lugar de que el motor paso

35

40

a paso utilice el nivel de potencia reflejada detectado por el generador de RF para determinar cuándo volver a sintonizar los condensadores en el módulo de adaptación de impedancia, al igual que en el sistema 100, el módulo de control maestro 1350 puede proveer tales funcionalidades, como se describe con más detalle a continuación. Debido a que el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para utilizar el nivel de potencia reflejada para controlar la impedancia de adaptación en lugar de los motores paso a paso, los motores paso a paso (por ejemplo, los motores paso a paso 1325, 1335, 1346) no necesitan incluir un chip o lógica de control u otros mecanismos de determinación de capacidad, en algunas realizaciones.

El dispositivo de computación 1352 puede estar situado localmente donde el túnel 1302, en algunas realizaciones. El dispositivo de computación 1352 puede comprender, sin limitación, una o más de una interfaz de usuario, un panel de control de usuario, un ordenador, un ordenador portátil, un teléfono inteligente, una tableta, un dispositivo de Internet de las cosas (IoT), un dispositivo cableado, un dispositivo inalámbrico y/o similar que puede ser utilizado por un usuario u operador para controlar el sistema 1300. Por ejemplo, el usuario puede utilizar el dispositivo de computación 1352 para anular el módulo de control maestro 1350 (por ejemplo, para un apagado de emergencia, abrir la puerta de introducción 1308) o suministrar entradas para ser utilizadas por el módulo de control maestro 1350 (por ejemplo, temperatura inicial del material de interés 708) para una operación y/o configuración eficiente del sistema 1300.

El dispositivo de computación 1356 puede estar situado lejos del túnel 1302, en algunas realizaciones. El dispositivo de computación 1356 puede comprender, sin limitación, una o más de una interfaz de usuario, un panel de control de usuario, un ordenador, un ordenador portátil, un teléfono inteligente, una tableta, un dispositivo de Internet de las cosas (IoT), un dispositivo cableado, un dispositivo inalámbrico, un servidor, una estación de trabajo y/o similar capaz al menos de funcionalidades del dispositivo de computación 1352 y configurado para proporcionar funcionalidades adicionales tales como, pero sin limitarse a, recopilación de datos, análisis de datos, diagnósticos, actualizaciones del sistema, control remoto y/o similares. Aunque no se muestra, el dispositivo de computación 1356 también puede estar en comunicación con otros sistemas del túnel. El dispositivo de computación 1356 puede comprender uno o más dispositivos de computación distribuidos por una o más ubicaciones.

El dispositivo de computación 1356 puede comunicarse con el módulo 1350 de control maestro a través de la red 1354. La red 1354 puede comprender una red de comunicaciones por cable y/o inalámbrica. La red 1354 puede incluir uno o más elementos de red (no mostrados) para conectar física y/o lógicamente dispositivos informáticos para que intercambien datos entre sí. En algunas realizaciones, la red 1354 puede ser Internet, una red de área amplia (WAN), una red de área personal (PAN), una red de área local (LAN), una red de área de campus (CAN), una red de área metropolitana (MAN), una red de área local virtual (VLAN), una red celular, una red WiFi, una red WiMax y/o similar. Asimismo, en algunas realizaciones, la red 1354 puede ser una red privada, pública y/o de seguridad, que puede ser utilizada por una sola entidad (por ejemplo, un negocio, un colegio, una agencia del gobierno, una casa, una persona y similar). Aunque no se muestra, la red 1354 puede incluir, sin limitación, servidores, bases de datos, interruptores, routers, cortafuegos, estaciones base, repetidores, software, firmware, servidores intermediarios y/u otros componentes para facilitar la comunicación.

En algunas realizaciones, se puede procesar una pluralidad de materiales de interés simultáneamente en el túnel 1302 en un momento dado. Desde uno hasta N materiales de interés pueden procesarse simultáneamente en el túnel 1302, en el que cada uno de los materiales de interés puede estar a una temperatura diferente en cada punto temporal puesto que cada uno se encuentra en un punto diferente de su procesamiento.

La FIG. 14 representa un procedimiento 1400 que puede ser realizado por el sistema 1300 para procesar térmicamente el material de interés 708 posicionado inicialmente en la *i*-ésima celda (por ejemplo, de la misma manera que el material de interés 708 se acopla eléctricamente con la *i*-ésima placa de electrodo de la *i*-ésima celda), según algunas realizaciones. El *i*-ésimo generador de RF de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 puede configurarse para realizar el bloque 1402, que puede ser similar a los bloques 1102-1112 de la FIG. 11. Como en el bloque 1106 de la FIG. 11, el nivel de potencia reflejada monitorizada para la *i*-ésima celda puede estar disponible como una salida del *i*-ésimo generador de RF y que puede ser recibida por el módulo de control maestro 1350 en el bloque 1430. Por lo demás, el bloque 1430 puede ser similar al bloque 1130.

A continuación, en el bloque 1432, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para determinar si el nivel de potencia reflejada recibido excede un umbral de pasos. El umbral de pasos puede ser similar al umbral en el bloque 1132 salvo que está asociado con el ajuste de los valores de capacitancia del *i*-ésimo módulo de adaptación de impedancia. Por lo demás, el bloque 1432 puede ser similar al bloque 1132. Si no se supera el umbral de pasos (rama sí del bloque 1432), entonces, el procedimiento 1400 puede volver al bloque 1432 para continuar monitorizando un nivel de potencia reflejada demasiado alto. Si se supera el umbral de pasos (rama sí del bloque 1432), entonces el módulo de control maestro 1350 además puede configurarse para determinar si el material de interés 708 está a una temperatura fuera del intervalo de temperaturas asociado con la *i*-ésima celda. El nivel de potencia reflejada puede compararse con un umbral de avance. El umbral de avance puede comprender un valor umbral predeterminado que es mayor que el valor umbral de pasos. Por ejemplo, el umbral de avance puede ser de 1 V (por ejemplo, aproximadamente 35 W). Como alternativa, el número de pasos dados por el *i*-ésimo motor paso a paso y/o el estado físico/posiciones de los condensadores variables en el *i*-ésimo módulo de adaptación de impedancia puede ser detectado y utilizado por el módulo de control maestro 1350 en el bloque 1434 para determinar (por ejemplo, comparado con un valor o estado predeterminado) si el material de interés 708 ha terminado de procesarse en la *i*-

ésima celda y debe avanzar a la siguiente celda.

Si no se supera el umbral de avance (rama no del bloque 1434), entonces, el procedimiento 1400 puede proceder al bloque 1436, en el que el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para generar una señal de ajuste. Esta señal de ajuste puede ser similar a la señal de ajuste generada en el bloque 1134. La señal de ajuste puede entonces ser suministrada a y recibida por el i -ésimo motor paso a paso, en el bloque 1438. En respuesta, el i -ésimo motor paso a paso puede configurarse para accionar el i -ésimo motor paso a paso en el bloque 1440.

El i -ésimo módulo de adaptación de impedancia puede responder a la activación del i -ésimo motor paso a paso y procesar la señal de salida de RF del i -ésimo generador de RF en el bloque 1404. El bloque 1404 puede ser similar al descrito en relación con los bloques 1136-1138 y 1114-1118 de la FIG. 11. Del mismo modo, la señal de RF emitida por el i -ésimo módulo de adaptación de impedancia puede ser recibida por la i -ésima placa de electrodo en el bloque 1406. El bloque 1406 puede ser similar a los descritos en relación con los bloques 1120-1122 de la FIG. 11. Una vez que la señal de RF (actual) se ha aplicado en el material de interés 708, se puede considerar que el procedimiento 1400 ha vuelto a las operaciones asociadas con el i -ésimo generador de RF para la siguiente señal de RF.

Si se supera el umbral de avance (rama sí del bloque 1434), entonces, el procedimiento 1400 puede proceder al bloque 1450. El módulo de control maestro 1350 puede configurarse para generar una señal de avance en el bloque 1450. La señal de avance puede comprender una señal para mover o hacer avanzar el transportador 1304 la distancia necesaria para alinear o posicionar el material de interés 708 para acoplarse eléctricamente con la siguiente celda (la celda $i+1$).

La señal de avance puede ser suministrada a y recibida por el transportador 1304 (o el mecanismo de movimiento mecánico asociado con el transportador 1304), en el bloque 1452. En respuesta a la recepción de la señal de avance, se puede producir una activación del transportador 1304 para que el transportador 1304 se mueva en la dirección 1305 a la distancia especificada, en el bloque 1454. Con el material de interés que ya se ha movido para acoplarse eléctricamente con la siguiente celda, $i = i + 1$, en el bloque 1456, y el procedimiento 1400 puede repetirse para la ahora incrementada i -ésima celda. El procedimiento 1400 puede repetirse como se describe en el presente documento de $i = 1$ a N celdas.

En realizaciones alternativas en las que el transportador 1304 ya podría estar configurado para un movimiento continuo, incremental, indexado u otro esquema de movimiento similar, se pueden omitir los bloques 1450-1454. Por ejemplo, el transportador 1304 puede configurarse para moverse incrementalmente una distancia suficiente como para que el material de interés 708 avance a la siguiente celda cada 5 minutos. En tal caso, el procedimiento 1400 puede determinar si ha transcurrido el período de tiempo asignado a la celda en la rama sí del bloque 1434. Si ha transcurrido el período de tiempo, entonces, el procedimiento 1400 puede proceder al bloque 145. Por el contrario, si no ha transcurrido el período de tiempo, el procedimiento 1400 puede volver al bloque 1432.

La FIG. 15 representa un procedimiento 1500 que puede ser realizado por el sistema 1300 para procesar térmicamente el material de interés 708 posicionado inicialmente en la i -ésima celda (por ejemplo, de la misma manera que el material de interés 708 está acoplado eléctricamente con la i -ésima placa de electrodo de la i -ésima celda), según unas realizaciones alternativas. El procedimiento 1500 puede ser similar al procedimiento 1400 salvo que el procedimiento 1500 está dirigido a operaciones en las que los condensadores de los respectivos módulos de adaptación de impedancia pueden tener valores de capacitancia fijos.

Los bloques 1502 y 1530 pueden ser similares a los bloques 1402 y 1430 respectivos de la FIG. 14. El módulo de control maestro 1350 puede configurarse para monitorizar el nivel de potencia reflejada recibido desde el i -ésimo generador de RF para determinar si supera un umbral de avance, en el bloque 1534. El bloque 1534 puede ser similar al bloque 1434. Si no se supera el umbral de avance (rama no del bloque 1534), entonces, el procedimiento 1500 puede volver al bloque 1534 para seguir monitorizando el último nivel de potencia reflejada recibido. De lo contrario, cuando se supera el umbral de avance (rama sí del bloque 1534), entonces, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para generar una señal de avance en el bloque 1550. El bloque 1550 puede ser similar al bloque 1450. La señal de avance puede comunicarse al transportador 1304.

En respuesta, el transportador 1304 puede configurarse para realizar operaciones en los bloques 1552, 1554 y 1556 que pueden ser similares a los bloques 1452, 1454 y 1456 respectivos. La señal de salida de RF suministrada por el i -ésimo generador de RF puede ser recibida por el i -ésimo módulo de adaptación de impedancia en el bloque 1504. El bloque 1504 puede ser similar al bloque 1404. La señal de RF emitida por el i -ésimo módulo de adaptación de impedancia puede ser recibida por la i -ésima placa de electrodo en el bloque 1506. El bloque 1506 puede ser similar al bloque 1406.

Al igual que con el procedimiento 1400, el procedimiento 1500 puede repetirse según sea necesario para $i = 1$ a N celdas para procesar térmicamente de manera continuada el material de interés 708 desde una temperatura inicial, de introducción o entrada hasta una temperatura final, de extracción o salida utilizando la pluralidad de celdas de procesamiento 1312.

La FIG. 16 representa un procedimiento 1600 de técnicas de detección de un punto final que pueden ser realizadas por el sistema 100 y/o 1300, según algunas realizaciones. En el bloque 1602, se puede recibir una señal asociada con

la detección del punto final. Para el sistema 100, tal señal puede ser recibida por el módulo de control 314 incluido en el generador de RF 104. Como alternativa, tal señal puede ser recibida por un módulo de control adicional incluido en el sistema 100. Para el sistema 1300, tal señal puede estar asociada con una celda particular y puede ser recibida por el módulo de control maestro 1350. La señal asociada con la detección del punto final puede comprender un/a o más de, pero sin limitarse a, una indicación de nivel de potencia reflejada (generada por el acoplador direccional incluido en el generador de RF), un recuento del número de pasos dados por el motor paso a paso (el motor paso a paso y/o los componentes que controlan el motor paso a paso pueden mantener un contador), una indicación de la posición física o del estado de los condensadores variables incluidos en el módulo de adaptación de impedancia (utilizando sensores ópticos, tal como unos láseres, para detectar la posición física o el estado de las placas de electrodos de los condensadores variables para determinar la distancia entre las placas de electrodos), y/o similares.

A continuación, la señal asociada con la detección del punto final recibida puede analizarse para determinar si se ha alcanzado un punto final en el bloque 1604. En algunas realizaciones, la detección del punto final puede referirse a la detección de una característica de procesamiento, temperatura o estado particular del material de interés 708. La característica de procesamiento, temperatura o estado de interés particular puede estar definido por un valor umbral predeterminado que puede compararse con la señal asociada con la detección del punto final. Para el sistema 100, el análisis puede ser realizado por el módulo de control 314 incluido en el generador de RF 104 y/o un módulo de control adicional (por ejemplo, unos circuitos, un microprocesador, etc.) incluido en el sistema 100. Para el sistema 1300, el análisis puede ser realizado por el módulo de control maestro 1350.

En realizaciones en las que la detección del punto final comprende detectar que el material de interés 708 ha alcanzado la temperatura final deseada (por ejemplo, la temperatura de un punto final), la señal asociada con la detección del punto final puede comprender el nivel de potencia reflejada. Debido a que se sabe que el material de interés 708 alcanza la temperatura final hacia la última parte del período de tiempo de procesamiento, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para realizar la detección del punto final en la última celda (celda N) de la pluralidad de celdas de procesamiento 1312 buscando un valor particular del nivel de potencia reflejada asociado con la última celda (por ejemplo, 65 W, 70 W, 75 W o al menos 65 W). Para el sistema 100, la detección del punto final puede comprender buscar un valor particular del nivel de potencia reflejada dentro del último período de tiempo (por ejemplo, los últimos 15 minutos aproximadamente o durante un período de tiempo de zona latente) del período de tiempo de procesamiento esperado.

Cuando la señal asociada con la detección del punto final comprende un recuento del número de pasos dados por el motor paso a paso, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para monitorizar el contador de pasos asociado con el motor paso a paso incluido en la última celda hasta que se alcance un recuento particular. Para el sistema 100, el generador de RF 104 y/o el módulo de control adicional incluido en el sistema 100 también pueden configurarse para monitorizar un recuento particular en el contador de pasos asociado con el motor 108 de pasos. Debido a que el motor paso a paso 108 del sistema 100 puede pasar por un número mayor de pasos debido al intervalo de capacitancias más amplio del sistema 100 en comparación con el intervalo de capacitancias más estrecho asociado con la última celda del sistema 1300, los valores de recuento particulares en los que se puede considerar que se ha alcanzado el punto final pueden diferir entre los sistemas 100 y 1300.

Cuando la señal asociada con la detección del punto final comprende una indicación de la posición física o del estado de los condensadores variables incluidos en el módulo de adaptación de impedancia, el módulo de control maestro 1350 puede configurarse para monitorizar una posición física particular o el estado de los condensadores variables incluidos en la última celda. Para el sistema 100, el generador de RF 104 y/o el módulo de control adicional incluido en el sistema 100 pueden configurarse para monitorizar una posición física particular o el estado de los condensadores variables incluidos en el módulo de adaptación de impedancia 106. Las posiciones físicas o estados de interés particulares pueden ser diferentes entre los sistemas 100 y 1300.

En otras realizaciones, la detección del punto final puede comprender la detección de cuándo hacer avanzar el material de interés 708 a la siguiente celda. Tal detección puede implementarse de manera similar a como se ha expuesto anteriormente, salvo que el umbral u otras características de referencia con las que se puede comparar la señal asociada con la detección del punto final pueden ajustarse para que sean específicas para la celda. En otras realizaciones más, la detección del punto final puede comprender la detección de la temperatura del material de interés 708. El nivel de potencia reflejada, el valor del contador de pasos y/o la indicación de la posición o estado físico del condensador variable pueden correlacionarse con la temperatura del material de interés 708. Por ejemplo, el módulo de control maestro 1350 se puede configurar para detectar la temperatura inicial real del material de interés 708 en la primera celda (celda 1), que puede denominarse detección del punto inicial.

A modo de otro ejemplo, si se espera que el material de interés 708 tenga una temperatura inicial de -20 °C y el sistema 1300 esté configurado para dicha temperatura inicial (por ejemplo, celda 1 configurada para procesar entre -20 y -17 °C, celda 2 configurada para procesar entre -16,9 y -14 °C, etc.), pero el material de interés 708 puede tener una temperatura inicial real de -15 °C, entonces, cuando el material de interés se posiciona en la primera celda (celda 1) del sistema 1300, la implementación de la detección del punto final en la primera celda puede permitir la detección de la necesidad inmediata de hacer avanzar el material de interés 708 a la segunda celda (celda 2) ya que el material de interés 708 ya está a una temperatura inferior a las temperaturas asociadas con/que están siendo manejadas por la primera celda. En tal caso, el material de interés 708 puede pasar menos tiempo en la primera celda que el asignado

nominalmente para esa celda. Como alternativa, la primera celda puede apagarse de modo que la primera celda no proporcione energía de RF al material de interés. Si la segunda celda también tiene capacidades de detección del punto final, entonces, una vez que el material de interés 708 se ha posicionado en la segunda celda, los componentes asociados con la segunda celda pueden detectar que el material de interés 708 se puede procesar para calentarlo de -15 °C a -14 °C, en lugar del intervalo de temperaturas completo de -16,9 a -14 °C configurado para la segunda celda. De este modo, el material de interés 708 también puede pasar menos tiempo del asignado nominalmente para emplearse en la segunda celda.

Si no se detecta el punto final (rama no del bloque 1604), entonces, el procedimiento 1600 puede volver al bloque 1604 para seguir monitorizando la presencia del punto final. De lo contrario, cuando se haya detectado el punto final (rama sí del bloque 1604), entonces, el procedimiento 1600 puede proceder al bloque 1606. En el bloque 1606, se puede generar y transmitir una señal de respuesta apropiada. Por ejemplo, si la detección del punto final comprende determinar cuándo finalizar el procesamiento del material de interés 708 porque se ha alcanzado una temperatura final deseada, entonces la señal de respuesta puede comprender una señal para apagar el generador de RF 104, la fuente de alimentación de CC 102 y/o el sistema 100. Lo mismo ocurre con el sistema 1300, la señal de respuesta puede comprender una señal para apagar uno o más componentes incluidos en la última celda, una señal para mover el material de interés 708 fuera del área asociada con la última celda o similar.

A modo de otro ejemplo, se pueden utilizar varios umbrales del nivel de potencia reflejada para la protección de replique de potencia, igualar el ajuste de impedancia y/o la detección del punto final. Para la protección de repliegue de potencia, el umbral puede ser de 2,5 V (por ejemplo, aproximadamente 90 W) para un generador de RF que funciona hasta 1250 W y el umbral puede ser de 1,8 V (por ejemplo, aproximadamente 65 W) para un generador de RF que opere a hasta 2000 W. Para ajustar la impedancia, el umbral (de pasos) puede establecerse en 1 V (por ejemplo, aproximadamente 35 W). Para la detección del punto final en el que se detiene la señal/energía de RF al material de interés, el umbral puede ser de 1,8 V (por ejemplo, aproximadamente 65 W) para un generador de RF que opere a hasta 1250 W.

En algunas realizaciones, para la detección del punto final, incluso cuando se puede superar el umbral de pasos, es posible que los condensadores no se ajusten. En su lugar, se puede permitir intencionadamente que el nivel de potencia reflejada aumente, al menos durante el último período de tiempo de procesamiento del material de interés, hasta que se detecte un nivel de potencia reflejada de aproximadamente 65 W. En ese momento, el procesamiento del material de interés puede detenerse ya que el nivel de potencia reflejada a aproximadamente 65 W corresponde a que el material de interés está a -3 °C \pm 1 °C.

En algunas realizaciones, la detección del nivel de potencia reflejada puede permitir conocer la temperatura del material de interés, en el sistema 100 y en cada celda del sistema 100. El nivel de potencia reflejada se puede monitorizar con una precisión del 1 % del nivel de potencia reflejada del punto final deseado (por ejemplo, 65 W) o con una precisión de menos de 1 W. Los valores del nivel de potencia reflejada pueden oscilar entre un poco más de cero y 65 W, correspondiendo 65 W a -3 °C y correspondiendo aproximadamente 10 W a -20 °C.

En algunas realizaciones, a medida que aumenta la distancia 716 entre las placas de electrodos 702 y 704 (por ejemplo, para procesar materiales de interés más grandes), la corriente en el segundo condensador 810 (C2) puede aumentar para una temperatura dada del material de interés. Para el circuito 800 y, en particular, el segundo condensador 810 para poder manejar las corrientes más altas sin superar la limitación de corriente del condensador, se pueden proveer uno o más condensadores adicionales en paralelo al segundo condensador 810 en el circuito 800. Por ejemplo, para una distancia 716 de aproximadamente 30,48 cm, pueden incluirse tres condensadores adicionales de 10 pF cada uno en paralelo al segundo condensador 810.

Por otra parte, a medida que aumenta la distancia 716, aumenta la reactancia capacitiva de la capacitancia 722. Para que el circuito 800 suministre una impedancia adaptada a la carga, puede ser necesario un aumento de la inductancia asociada con el transformador 808 para igualar la reactancia capacitiva aumentada. Por ejemplo, la inductancia de cada uno de los devanados primario y secundario del transformador 808 puede ser de 0,26 μ H para una distancia 716 de aproximadamente 15,24 cm, 0,31 μ H para una distancia 716 de aproximadamente 20,32 cm pulgadas y 0,4 μ H para una distancia 716 de aproximadamente 30,48 cm.

En algunas realizaciones, una cantidad determinada de nivel de potencia reflejada puede facilitar una mayor eficiencia energética de CC a RF (por ejemplo, hasta un 84 u 85 %) que si el nivel de potencia reflejada se reduce adaptando mejor la impedancia entre la carga y el generador de RF. En otras palabras, la adaptación de impedancia intencionadamente imperfecta puede aumentar la eficiencia energética de CC a RF hasta un 84 u 85 %. La siguiente tabla muestra varias eficiencias de potencia de CC a RF en diferentes ángulos de fase entre el generador de RF y la carga para un nivel de potencia reflejada del 6 %, un coeficiente de reflexión del desajuste de A 0,25 y una relación de tensiones onda estacionaria de tensión (ROET) de 1,7:1.

Ángulo de fase (grados)	Potencia directa (en V)	Potencia reflejada (en V)	Potencia directa (W)	Potencia de carga (W)	Corriente (A)	Disipación de potencia	Eficiencia energética de CC respecto a RF (%)
Inicial	9,8	2,5	1220	1147	42	133	68
30	9,1	2,0	1078	1013	34	87	74
60	9,0	1,8	1080	1015	28	26	90
90	9,3	1,4	1220	1147	34	53	84
120	8,5	1,8	1060	996	39	141	64
150	8,8	2,0	1100	1034	42	162	62

5 Se puede establecer un ángulo de fase de 90 grados entre el generador de RF y el material de interés/carga, especialmente durante el período de tiempo de la zona latente (la última parte del tiempo de procesamiento cuando la temperatura de carga es de -5 a -3 °C), controlando un tramo del cable coaxial entre el generador de RF y los electrodos que se acoplan a la carga. La eficiencia energética de CC a RF resultante puede aumentar al 84 % desde aproximadamente el 75 % (la eficiencia en una condición de impedancia adaptada cuando la potencia reflejada puede ser cero). Una cantidad determinada de potencia reflejada da como resultado una mayor eficiencia en algunos ángulos de fase. Se puede utilizar una impedancia de adaptación fija para un intervalo de temperaturas determinado. Se puede permitir que la potencia reflejada pase de cero W a 75 W (6 %) durante el procesamiento de RF de la carga. La técnica de adaptación fija y un ángulo de fase particular puede ser beneficiosa para cargas cuya impedancia de carga cambia lentamente a lo largo del tiempo. Las cargas en la zona latente son ejemplos de cuando la impedancia de carga cambia lentamente a lo largo del tiempo. La impedancia de adaptación y el ángulo de fase se pueden ajustar para lograr una eficiencia energética de CC a RF más alta de lo que sería posible con una impedancia adaptada entre el generador de RF y la carga. En algunas realizaciones, se puede utilizar un medidor de corriente CC acoplado entre el generador de RF y la fuente de alimentación de CC junto con un medidor de potencia acoplado entre el generador de RF y el módulo de adaptación de impedancia para optimizar el ángulo de fase y, a su vez, la longitud del cable coaxial, entre el generador de RF y la carga para un aumento de la eficiencia energética de CC a RF de hasta aproximadamente un 84 u 85 %.

20 De esta manera, los niveles de potencia reflejada monitorizada se pueden utilizar para suministrar protección de repliegue de potencia, para ajustar dinámicamente la impedancia de adaptación, para determinar la temperatura de la carga a lo largo de/durante la aplicación de RF y/o para determinar cuándo finalizar la señal de RF aplicada a la carga desde que se alcanza la temperatura de punto final deseada.

25 Aunque en el presente documento se han ilustrado y descrito determinadas realizaciones con fines descriptivos, las realizaciones mostradas y descritas pueden ser sustituidas por una amplia variedad de realizaciones o implementaciones alternativas y/o equivalentes calculadas para alcanzar los mismos objetivos sin apartarse del ámbito de la presente divulgación. Esta solicitud pretende cubrir cualquier adaptación o variación de las realizaciones expuestas en el presente documento. Por lo tanto, se pretende manifiestamente que las realizaciones descritas en el presente documento estén limitadas únicamente por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende:

una pluralidad de generadores de radiofrecuencia (RF);
una pluralidad de módulos de adaptación de impedancia;

5 una pluralidad de placas de electrodos, estando los módulos de adaptación de impedancia, primero y segundo, de la pluralidad de módulos de adaptación de impedancia acoplados eléctricamente entre los respectivos generadores de RF, primero y segundo, de la pluralidad de generadores de RF y las respectivas placas de electrodo, primera y segunda, de la pluralidad de placas de electrodo; **caracterizado porque** el sistema comprende un transportador que incluye un electrodo de tierra,

10 en el que, cuando se va a colocar una carga a una temperatura inicial en el transportador, el sistema utiliza señales de RF generadas por la pluralidad de generadores de RF para llevar la carga a una temperatura final diferente a la temperatura inicial, en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo y el primer módulo de adaptación de impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final, y en el que el transportador debe posicionar la carga para que se acople eléctricamente a la segunda placa de electrodo durante un segundo período de tiempo y el segundo módulo de adaptación de impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final que es diferente al primer intervalo de temperaturas.

2. El sistema según la reivindicación 1, que además comprende una pluralidad de fuentes de alimentación de corriente continua (CC) y un módulo de control maestro, en el que las fuentes de alimentación, primera y segunda, de CC de la pluralidad de fuentes de alimentación de CC están acopladas eléctricamente a los generadores de RF, primero y segundo, respectivamente, y en el que el módulo de control maestro está en comunicación con los generadores de RF, primero y segundo.

3. El sistema según la reivindicación 2, que además comprende una pluralidad de motores paso a paso, en el que los motores paso a paso, primero y segundo, de la pluralidad de motores paso a paso están acoplados eléctricamente a los módulos de adaptación de impedancia, primero y segundo, respectivamente, y en el que el módulo de control maestro está en comunicación con los motores paso a paso, primero y segundo.

4. El sistema según la reivindicación 3, en el que el primer módulo de adaptación de impedancia incluye condensadores variables, y en el que el primer motor paso a paso, bajo el control del módulo de control maestro, modifica una adaptación de impedancia asociada con el primer módulo de adaptación de impedancia entre el primer generador de RF y la carga modificando una capacitancia de los condensadores variables.

5. El sistema según la reivindicación 2, en el que el módulo de control maestro debe utilizar indicaciones del nivel de potencia reflejada suministrada por el primer generador de RF para determinar cuándo reposicionar la carga de la primera placa de electrodo a la segunda placa de electrodo.

6. El sistema según la reivindicación 2, en el que la primera fuente de alimentación de CC suministra una primera señal de CC al primer generador de RF, y el primer generador de RF convierte la primera señal de CC en una primera señal de RF que tiene una eficiencia energética de CC a RF superior al 50 %.

7. El sistema según la reivindicación 1, en el que la temperatura final es de entre -4 a -2 grados Celsius (C), una temperatura inferior a 0° C, o una temperatura por debajo de la que se produce una pérdida por goteo de la carga, o en el que la temperatura inicial es menor que la temperatura final.

8. El sistema según la reivindicación 1, en el que el primer módulo de adaptación de impedancia incluye condensadores fijos o variables y los valores de capacitancia asociados con los condensadores fijos o variables se seleccionan para una primera adaptación de impedancia asociada con el primer módulo de adaptación de impedancia para adaptarse a una primera impedancia de carga asociada con la carga durante el primer período de tiempo.

9. El sistema según la reivindicación 8, en el que el segundo módulo de adaptación de impedancia incluye condensadores fijos o variables y los valores de capacitancia asociados con los segundos condensadores fijos o variables se seleccionan para una segunda adaptación de impedancia asociada con el segundo módulo de adaptación de impedancia para adaptarse a una segunda impedancia de carga asociada con la carga durante el segundo período de tiempo, en el que las impedancias de carga, primera y segunda, son diferentes entre sí.

10. El sistema según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de placas de electrodos está dispuesta por encima del transportador y distribuida a lo largo de la longitud del transportador, y en el que una última placa de electrodo de la pluralidad de placas de electrodos está asociada con hacer que la carga alcance la temperatura final.

11. El sistema según la reivindicación 1, en el que el transportador se mueve continuamente para posicionar la carga de la primera placa de electrodo a la segunda placa de electrodo, o en el que el transportador se mueve incrementalmente para posicionar la carga de la primera placa de electrodo a la segunda placa de electrodo, o en el que el primer generador de RF debe monitorizar una potencia reflejada para determinar una temperatura de la

carga, monitorizándose la potencia reflejada para ser precisa dentro de un 1 % de un punto final de potencia reflejada o tener una precisión dentro de menos de 1 vatio (W), o en el que el primer módulo de adaptación de impedancia tiene un primer intervalo de capacitancias diferente a un segundo intervalo de capacitancias del segundo módulo de adaptación de impedancia.

5 12. Un procedimiento que comprende:

10 posicionar una carga para que se acople eléctricamente con una primera placa de electrodo durante un primer período de tiempo, en el que un primer módulo de adaptación de impedancia está acoplado eléctricamente entre la primera placa de electrodo y un primer generador de radiofrecuencia (RF), y en el que el primer módulo de adaptación de impedancia está asociado con un primer intervalo de temperaturas entre una temperatura inicial y una temperatura final asociada con la carga;

15 aplicar una primera señal de RF a la carga durante una parte del primer período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del primer intervalo de temperaturas, comprendiendo la primera señal de RF una señal de RF generada por el primer generador de RF y la impedancia adaptada por el primer módulo de adaptación de impedancia;

20 posicionar la carga para que se acople eléctricamente con una segunda placa de electrodo durante un segundo período de tiempo, en el que un segundo módulo de adaptación de impedancia está acoplado eléctricamente entre la segunda placa de electrodo y un segundo generador de RF, y en el que el segundo módulo de adaptación de impedancia está asociado con un segundo intervalo de temperaturas entre las temperaturas inicial y final diferente al primer intervalo de temperaturas; y

aplicar una segunda señal de RF a la carga durante una parte del segundo período de tiempo durante el cual la carga está a una temperatura dentro del segundo intervalo de temperaturas, comprendiendo la segunda señal de RF otra señal de RF generada por el segundo generador de RF y la impedancia adaptada por el primer módulo de adaptación de impedancia.

13. El procedimiento según la reivindicación 12, que además comprende:

25 generar, mediante una primera fuente de alimentación de corriente continua (CC), una primera señal de CC y aplicar la primera señal de CC para accionar el primer generador de RF; y

30 generar, mediante una segunda fuente de alimentación de CC, una segunda señal de CC y aplicar la segunda señal de CC para accionar el segundo generador de RF, en el que la primera señal de RF comprende una señal que tiene una eficiencia energética de CC a RF del 75 al 80 %, y en el que la potencia de la primera señal de RF es de aproximadamente hasta 10 kilovatios (kW).

14. El procedimiento según la reivindicación 13, en el que la primera señal de RF comprende una señal que tiene una eficiencia energética de CC a RF del 75 al 80 %, y en el que la potencia de la primera señal de RF es de aproximadamente hasta 10 kilovatios (kW).

15. El procedimiento según la reivindicación 12, que además comprende:

35 recibir, desde el primer generador de RF, una indicación de un primer nivel de potencia reflejada asociado con el procesamiento de la carga utilizando el primer generador de RF, el módulo de adaptación de impedancia y la placa de electrodo;

40 determinar si la indicación del primer nivel de potencia reflejada supera un umbral; y

si la determinación es afirmativa, hacer que la carga se posicione para acoplarse eléctricamente con la segunda placa de electrodo y

si la determinación es negativa, modificar una primera adaptación de impedancia asociada con el primer módulo de adaptación de impedancia, en el que la primera adaptación de impedancia se modifica para que el siguiente primer nivel de potencia reflejada sea menor que el primer nivel de potencia reflejada.

45

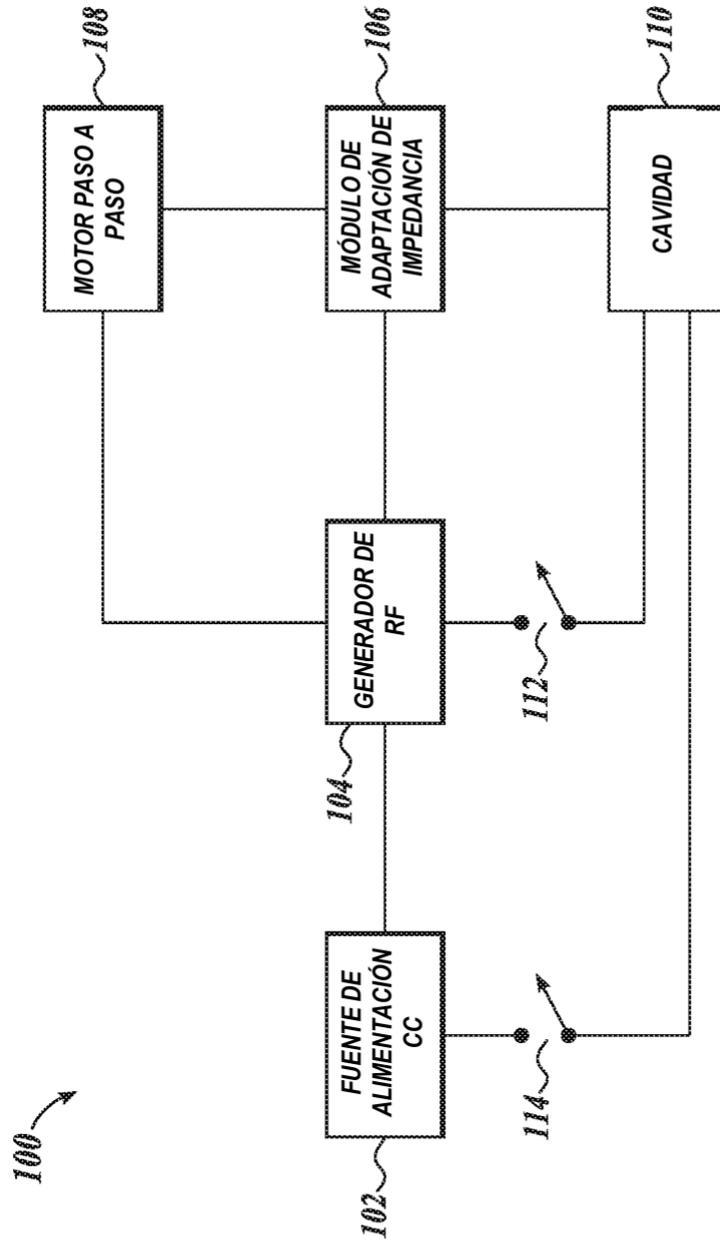


FIG. 1

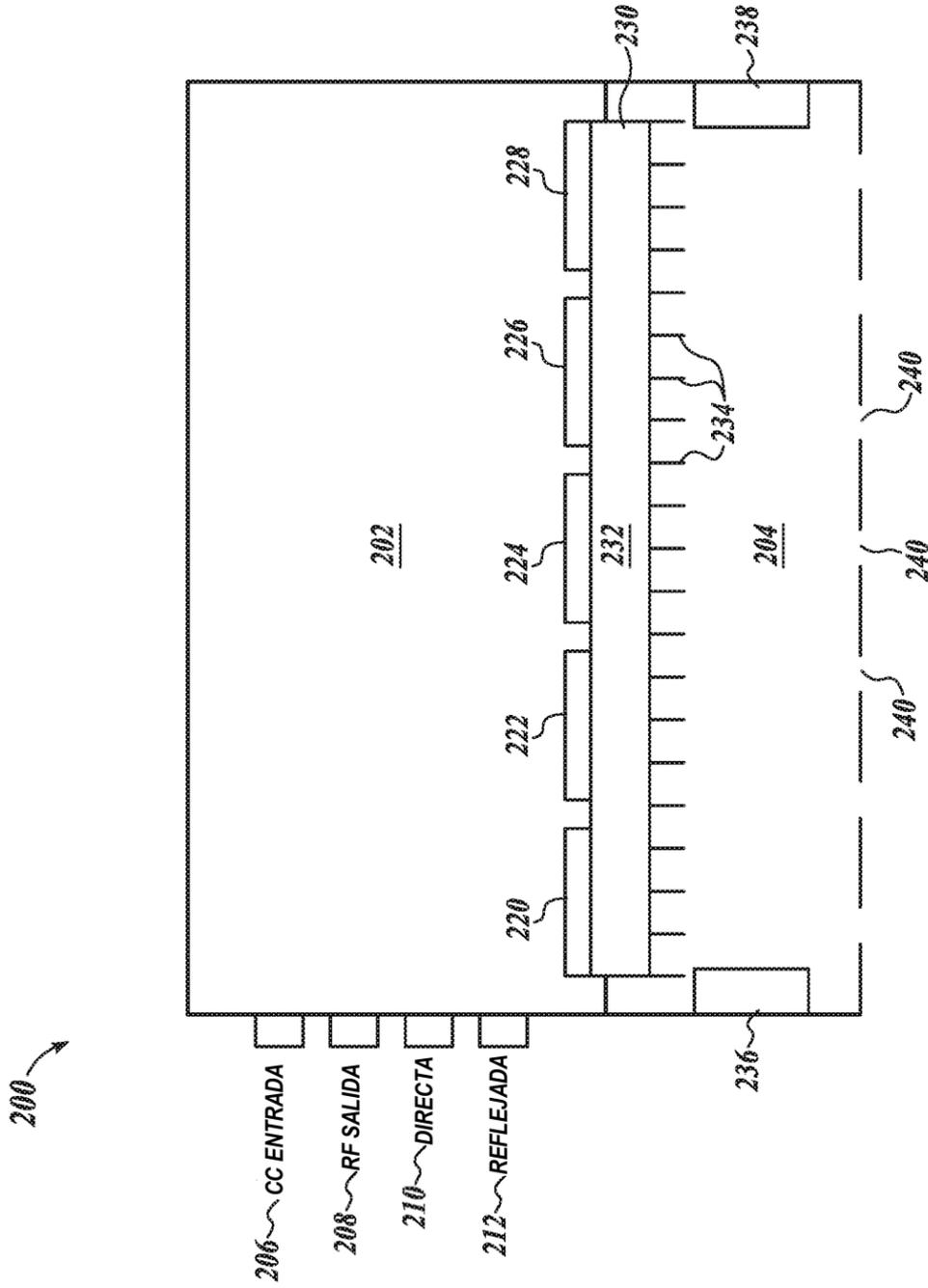


FIG. 2

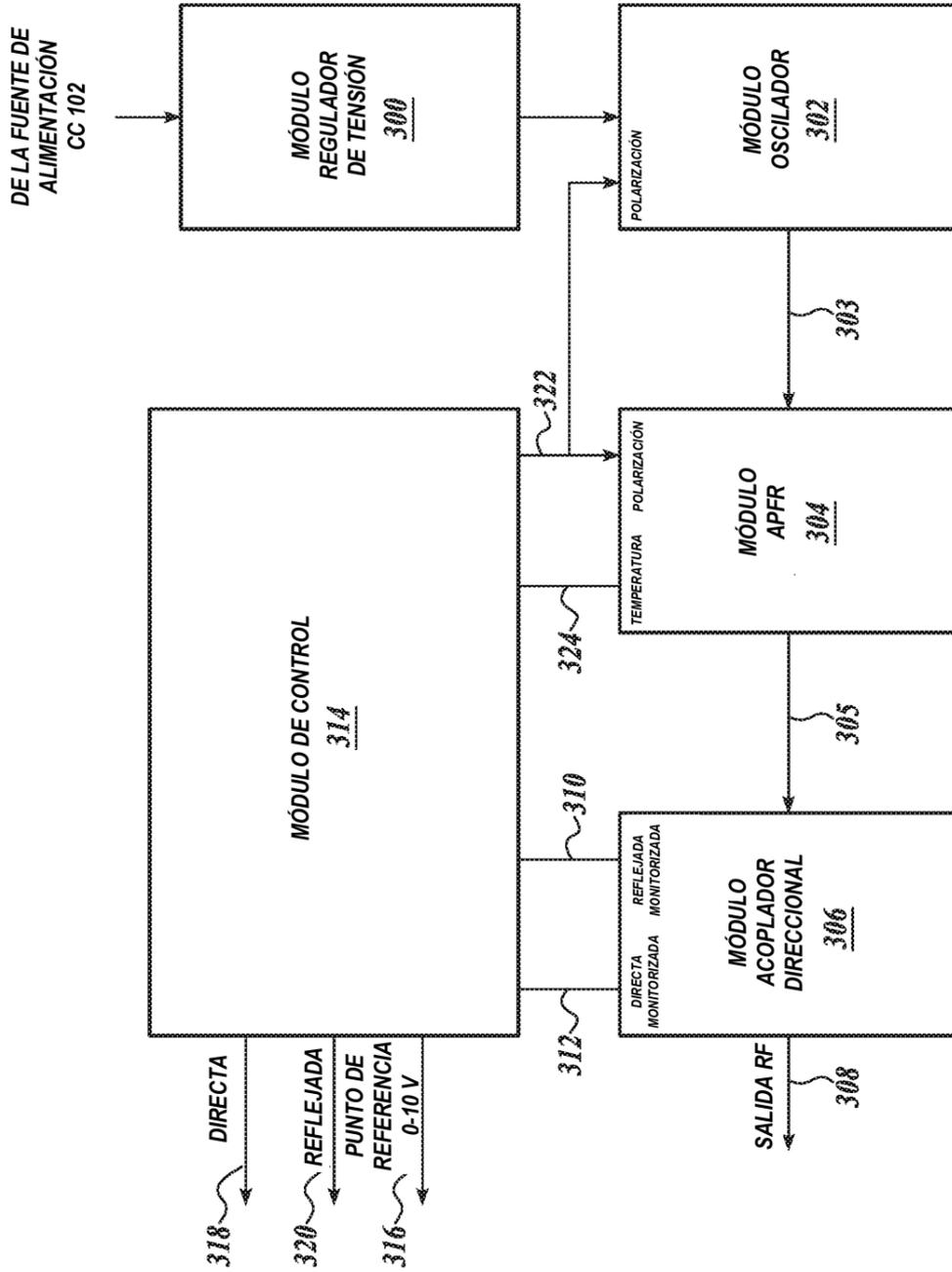


FIG. 3

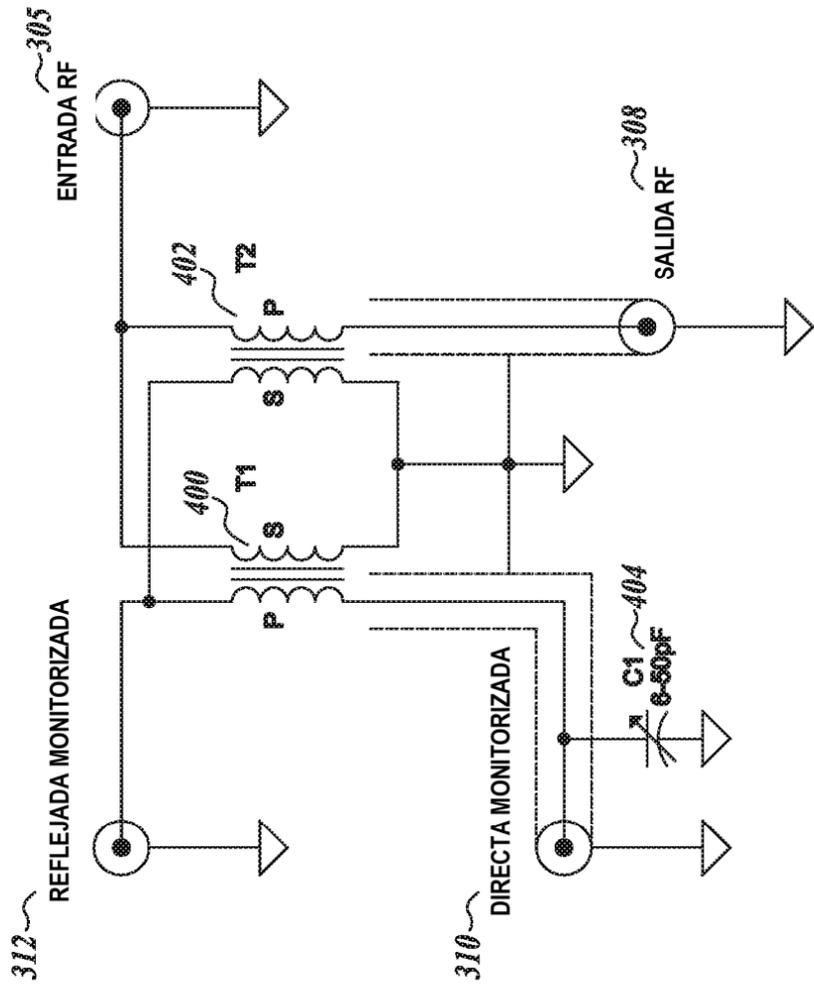


FIG. 4

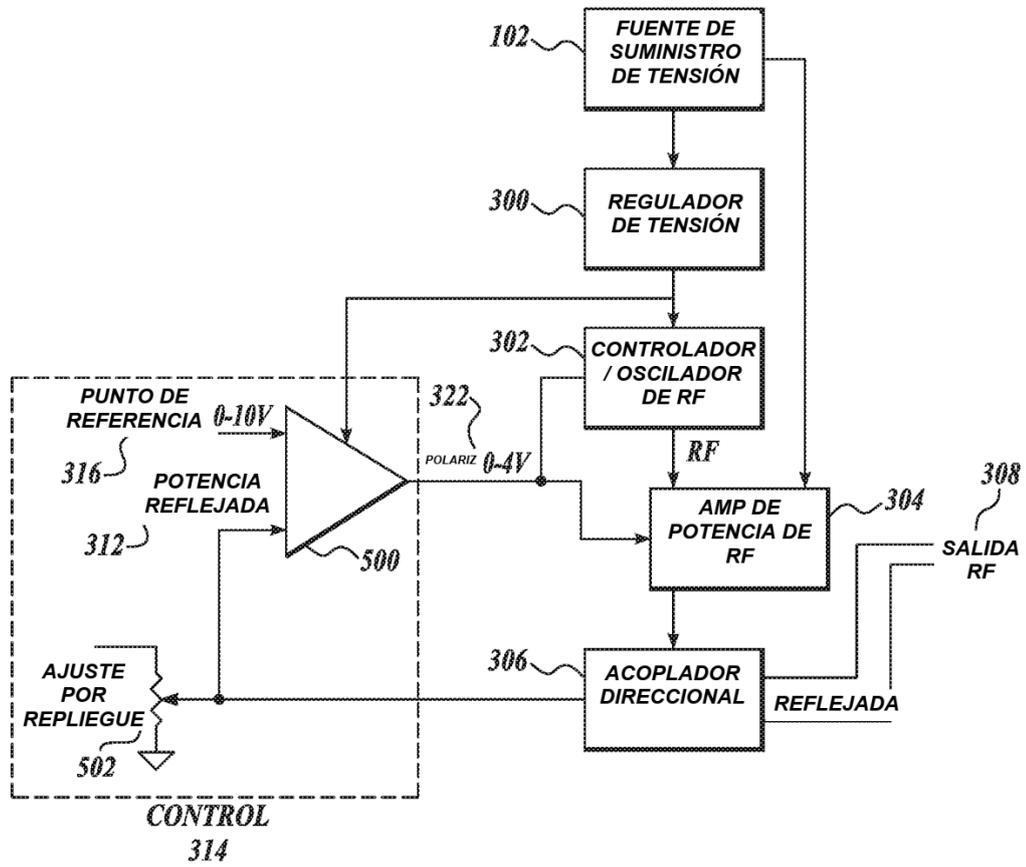


FIG. 5

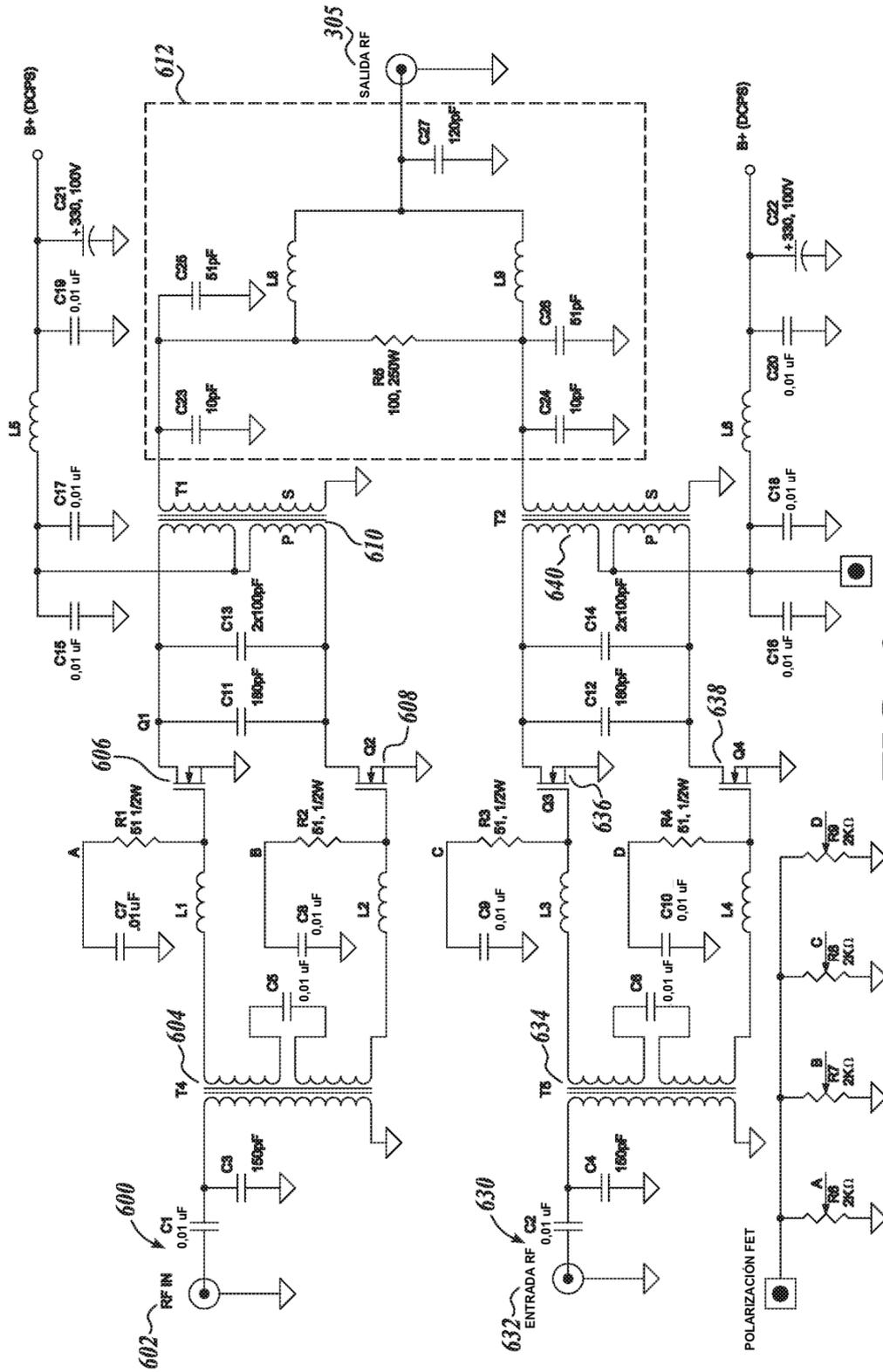


FIG. 6

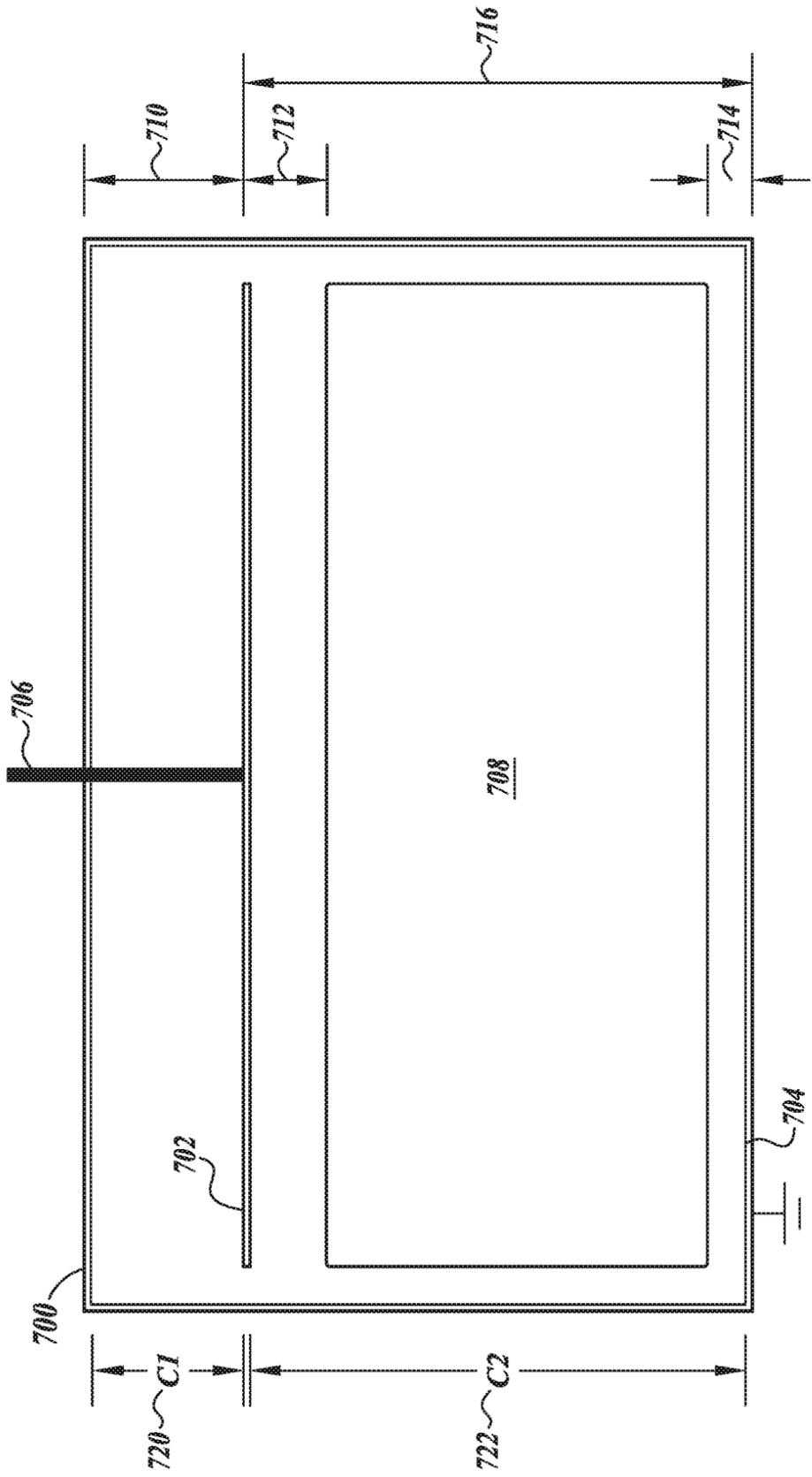


FIG. 7

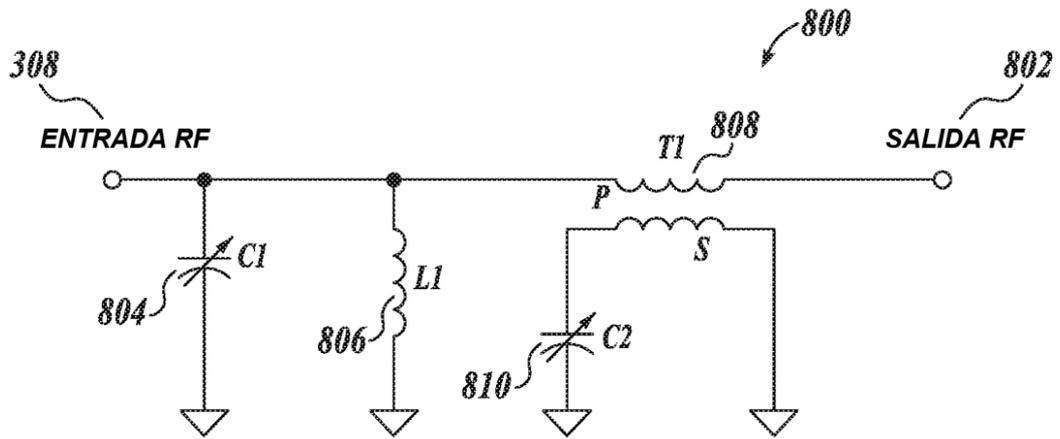


FIG. 8A

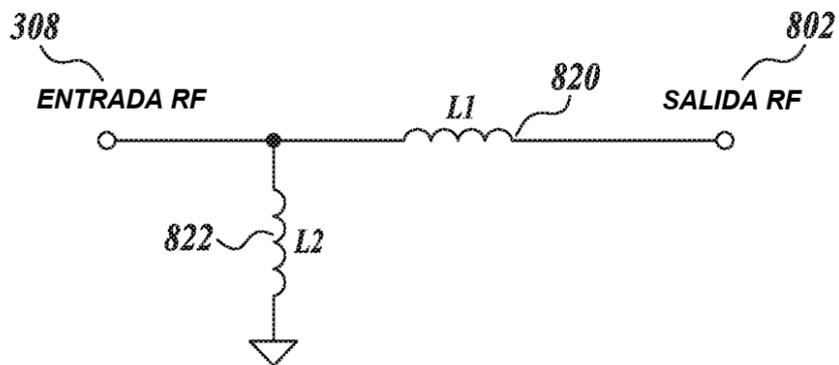


FIG. 8B

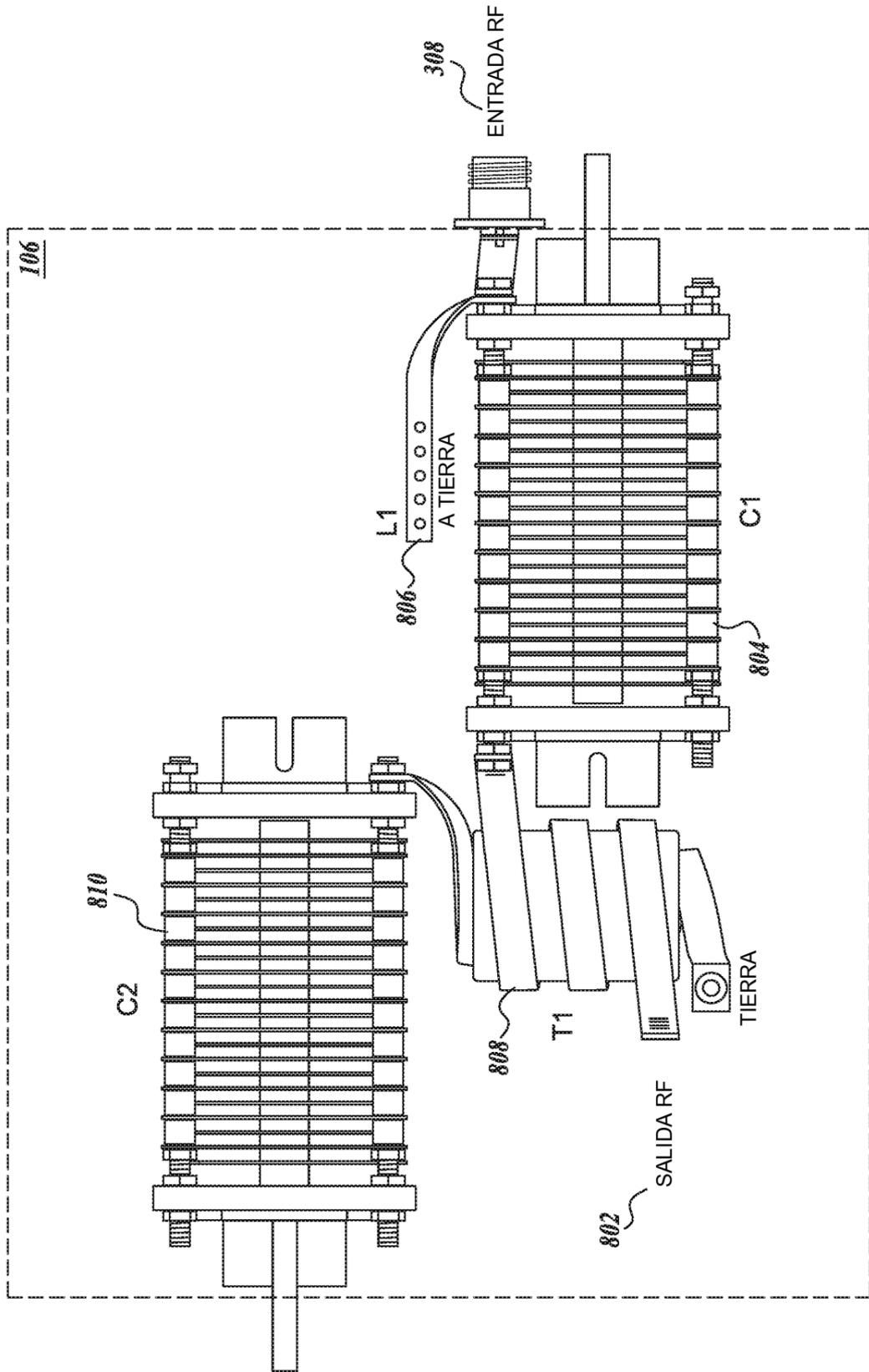


FIG. 9

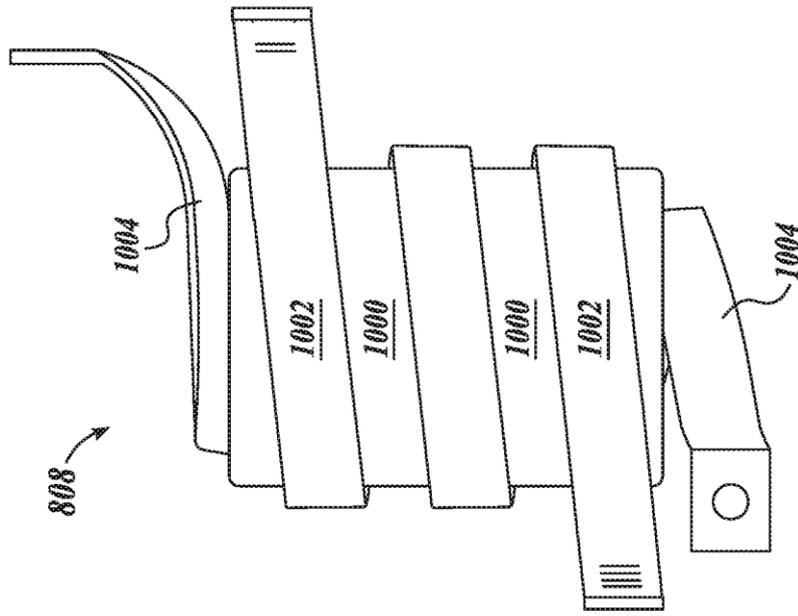


FIG. 10B

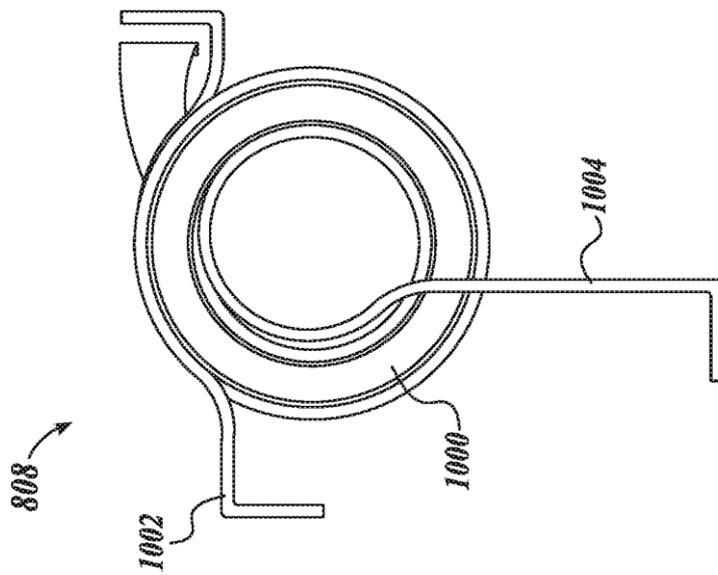


FIG. 10A

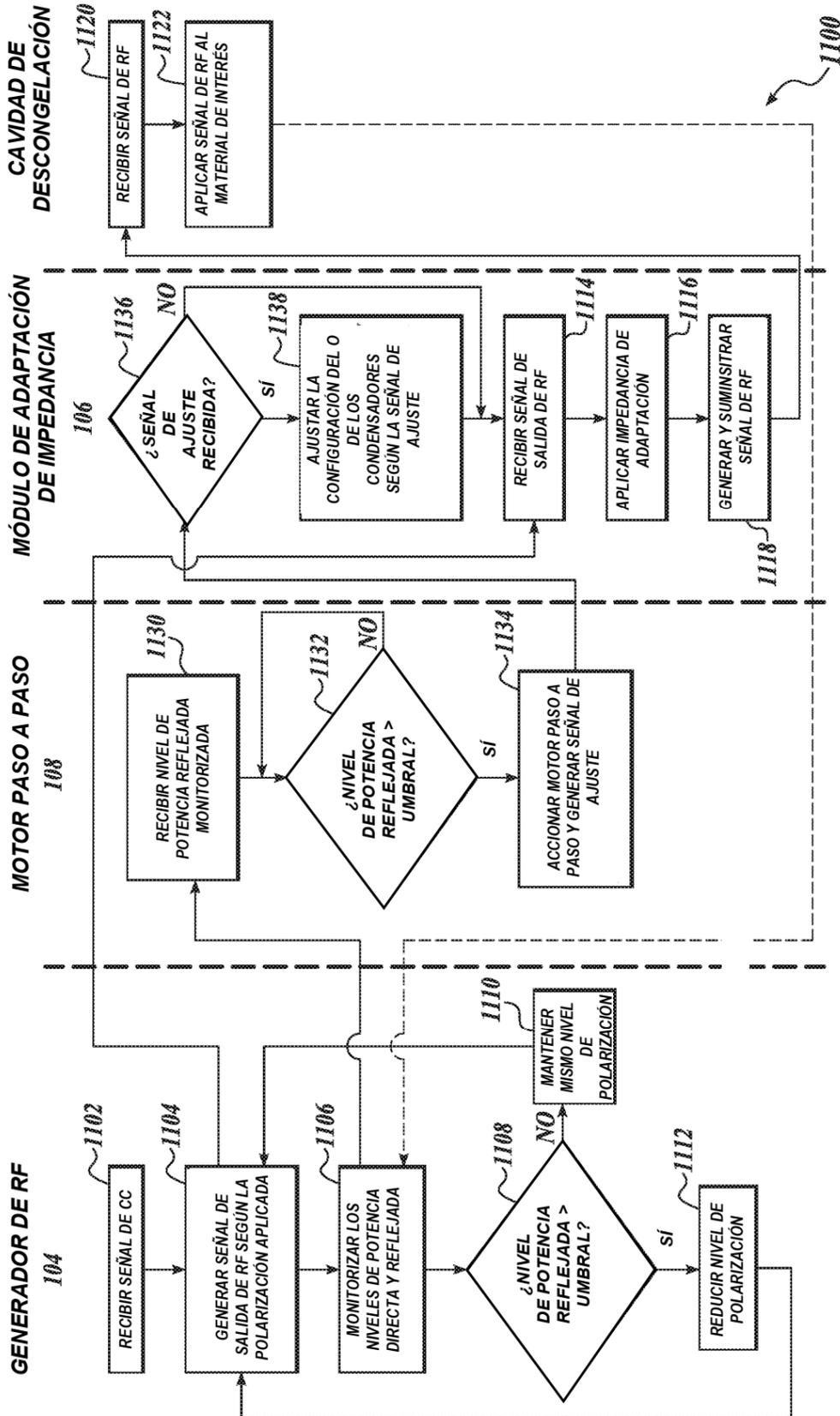


FIG. 11

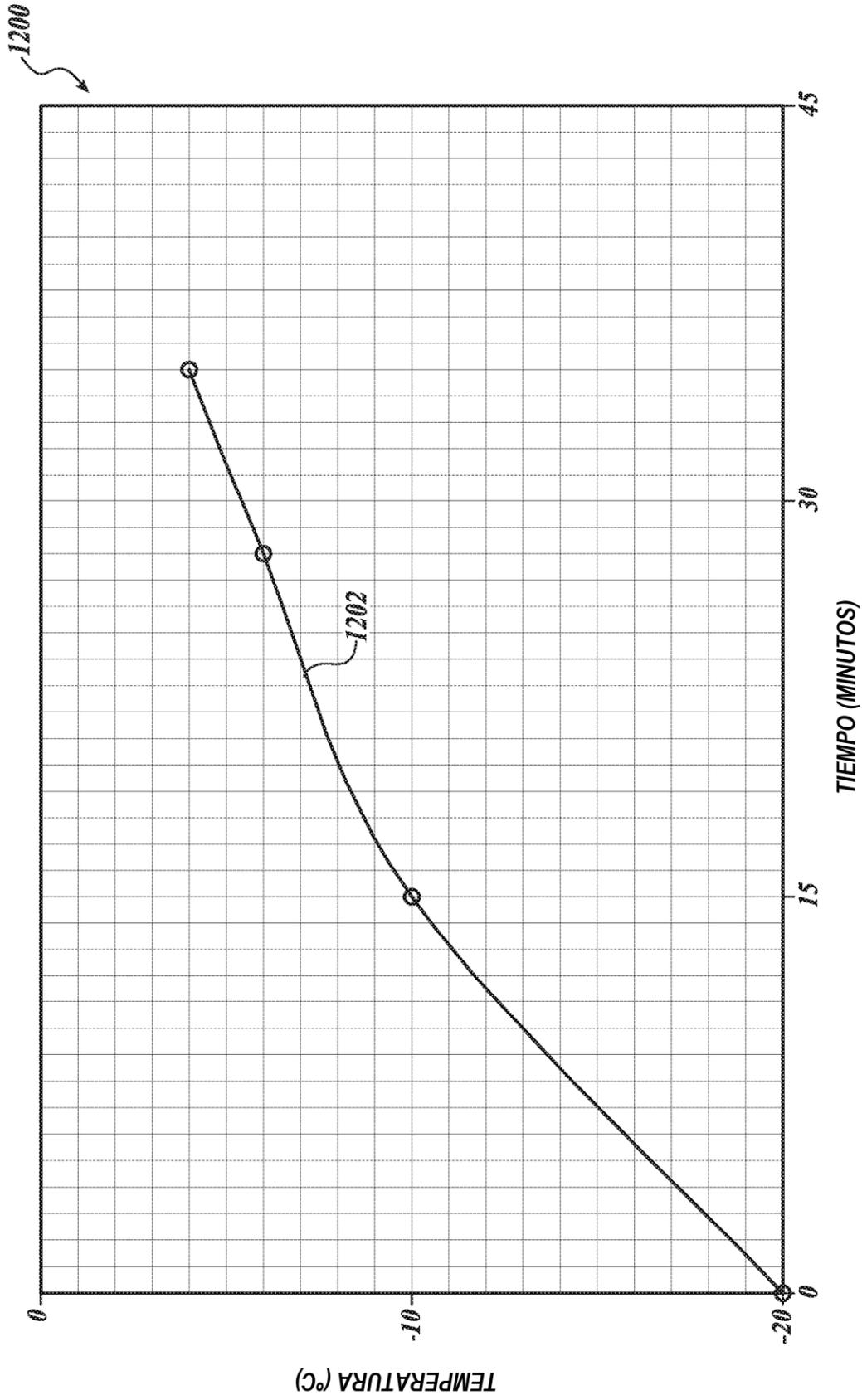


FIG. 12A

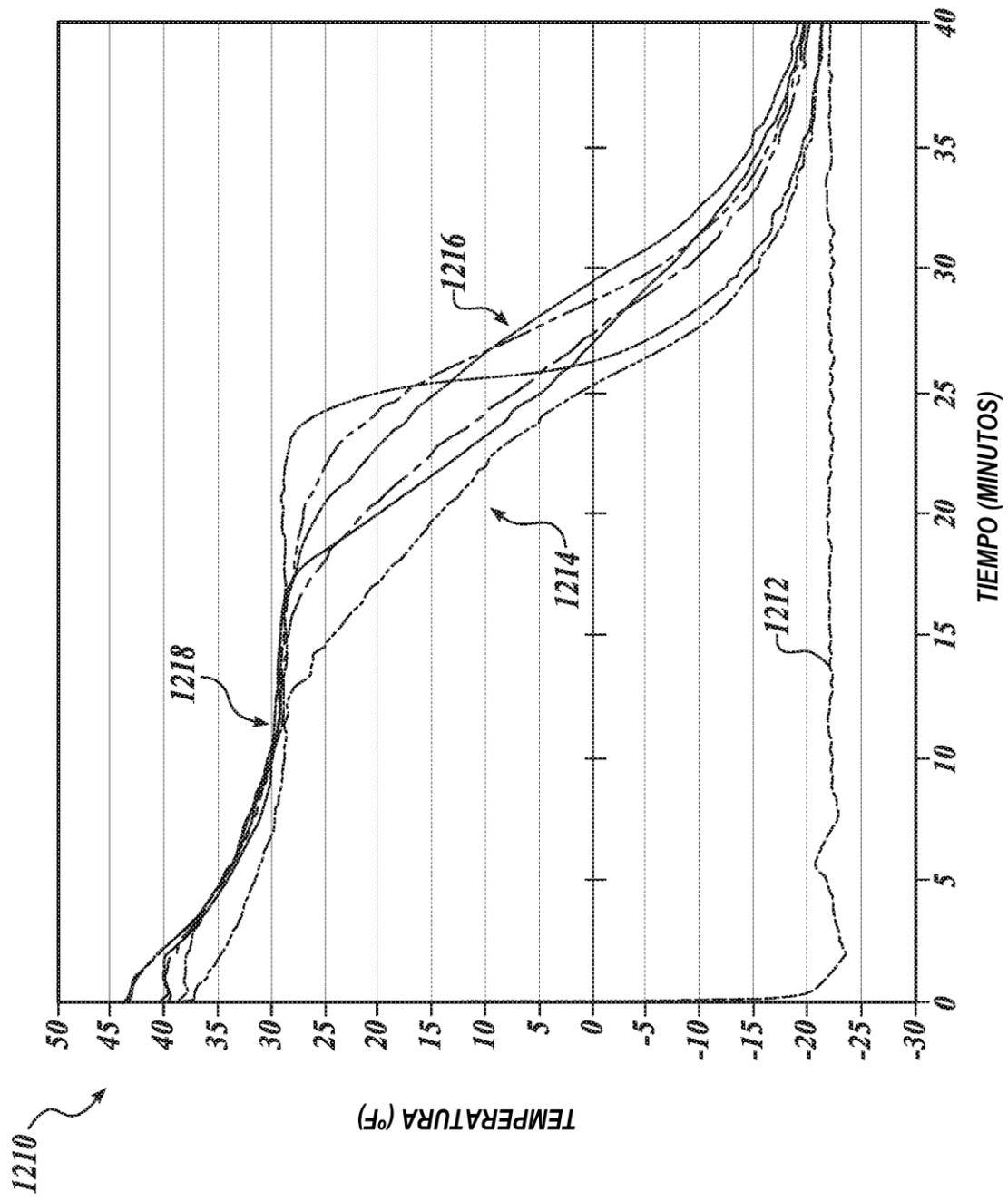


FIG. 12B

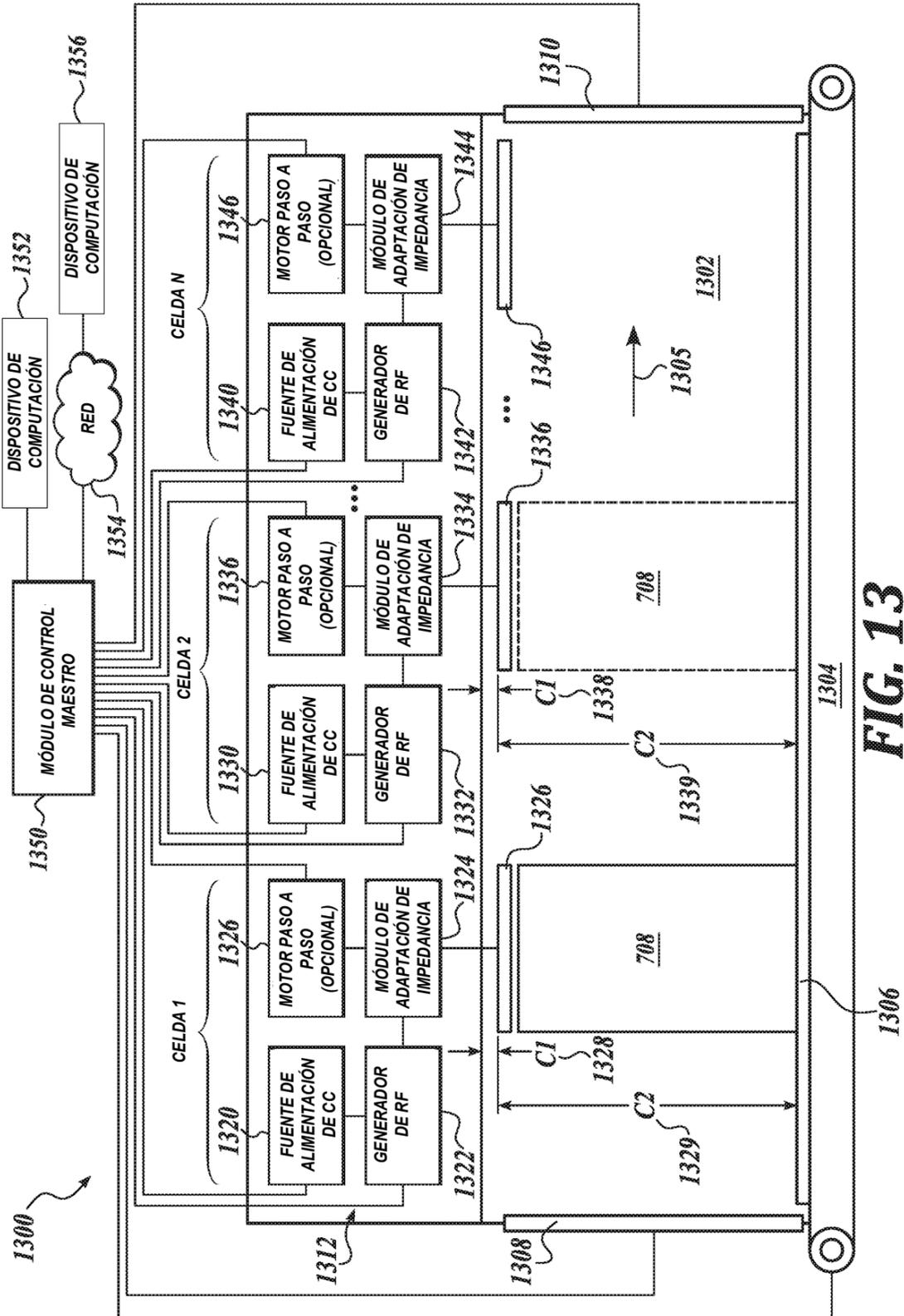


FIG. 13

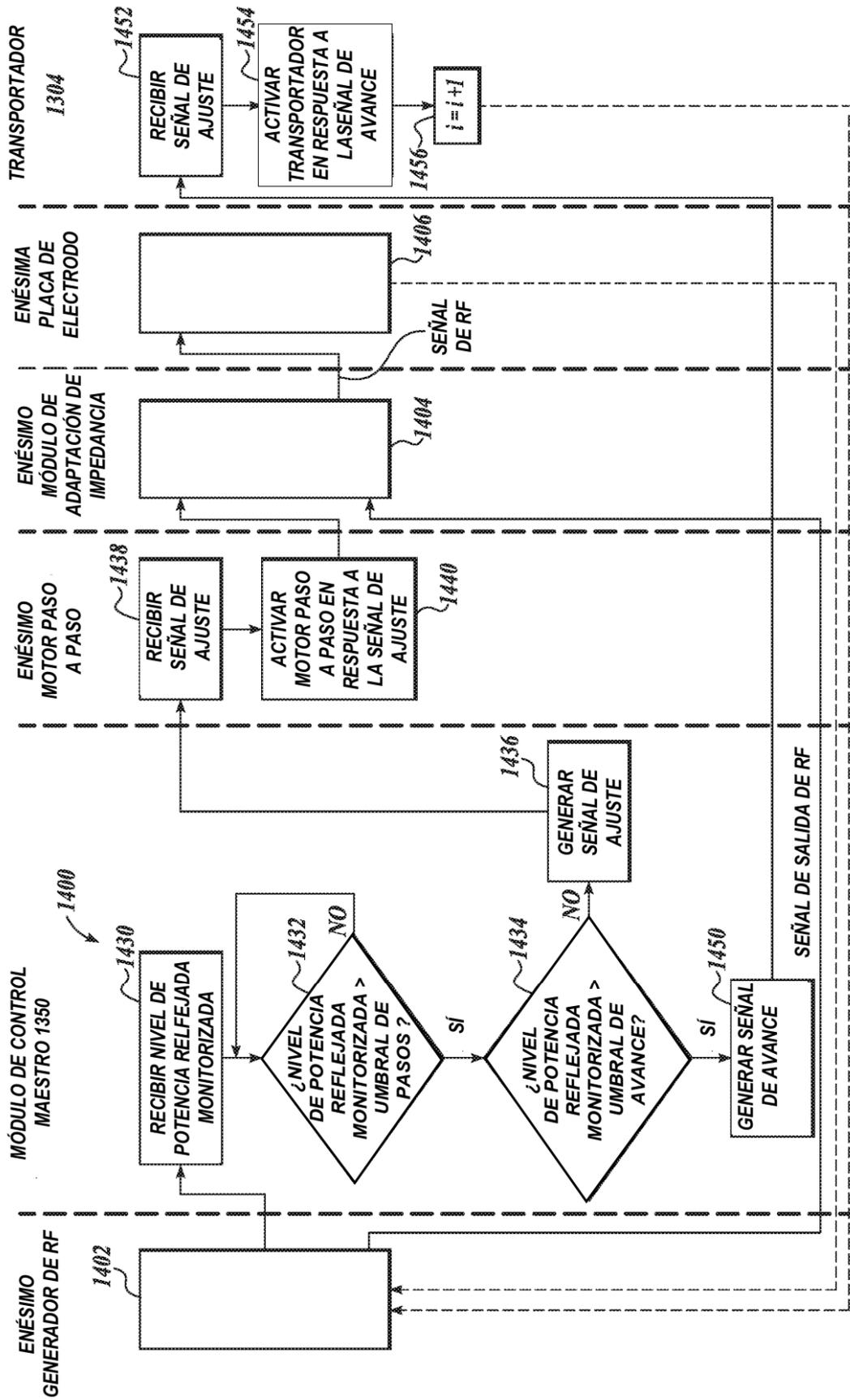


FIG. 14

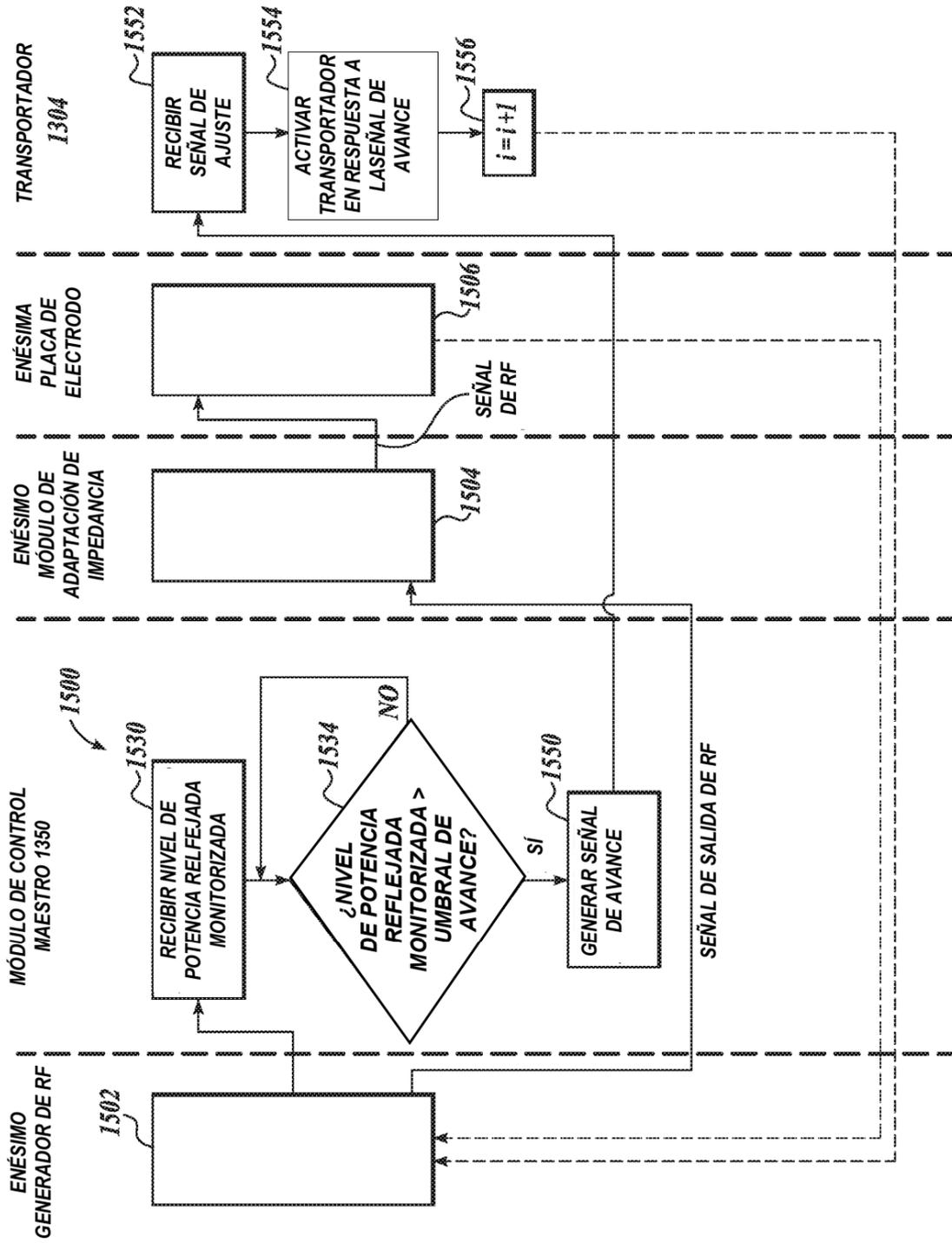


FIG. 15

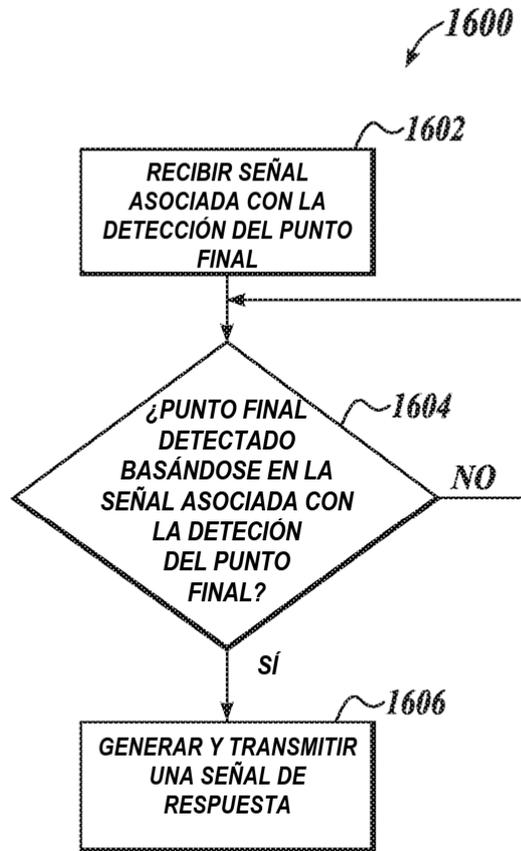


FIG. 16