

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 972**

51 Int. Cl.:

H05B 6/06

(2006.01)

H05B 6/36

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05849543 .3**

96 Fecha de presentación: **08.12.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1829426**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.09.2007**

54 Título: **Sistema de control de inducción eléctrica**

30 Prioridad:
08.12.2004 US 634353 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.05.2012

73 Titular/es:
**INDUCTOTHERM CORP.
10 INDEL AVENUE, P.O. BOX 157
RANCOCAS, NEW JERSEY 08073, US**

72 Inventor/es:
**FISHMAN, Oleg S. y
CAO, Mike Maochang**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 379 972 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

Sistema de control de inducción eléctrica.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al control del calentamiento o fusión por inducción eléctrica de un material conductor de la electricidad, en el que el calentamiento o la fusión por zonas se controla selectivamente.

Antecedentes de la invención

10 El calentamiento y la fusión por inducción eléctrica por lotes de un material conductor de la electricidad pueden llevarse a cabo en un crisol al rodear el crisol con una bobina de inducción. Un lote de un material conductor de la electricidad, tal como lingotes o chatarra, se coloca dentro del crisol. Una o más bobinas de inducción rodean el crisol. Una fuente de suministro de potencia adecuada proporciona corriente continua a las bobinas, con lo que se genera un campo magnético alrededor de las bobinas. El campo se dirige hacia dentro de manera tal, que se acopla magnéticamente con el material contenido en el crisol, lo que induce una corriente parásita en el material. Básicamente, el circuito acoplado magnéticamente se describe por lo común como un circuito transformador en el que las una o más bobinas de inducción representan el arrollamiento primario, y el material acoplado magnéticamente y contenido en el crisol representa un circuito secundario acortado.

15 El documento DE 1800431 A1 divulga un modo dual de hacer funcionar un horno de inducción con un modo de agitación de múltiples fases y un modo de fusión de una sola fase. En el modo de agitación de múltiples fases, o polifase, unas bobinas de inducción alternas dispuestas alrededor de la altura del crisol se han configurado como un tramo o sección de bobina activa que está conectado a una fuente de suministro de potencia de corriente alterna, y un tramo o sección de bobina pasiva que no se conecta a una fuente de suministro de potencia alterna, a fin de establecer la agitación de polifase. En un modo de fusión de una única fase, las secciones de bobina pasivas se conmutan de tal manera que son conectadas a la fuente de suministro de potencia de corriente alterna para establecer la agitación de una única fase.

20 La Figura 1 ilustra de forma simplificada un ejemplo de un circuito que comprende una fuente de suministro de potencia, un elemento de ajuste de impedancia de carga (condensador C_T de tanque), una bobina de inducción L_L , y que puede ser utilizado en un procedimiento de fusión por lotes. La fuente 102 de suministro de potencia comprende un rectificador de ca (corriente alterna ("ac –alternating current")) a cc (corriente continua ("cd –direct current")) 104 y un inversor 106. El rectificador 104 rectifica la potencia de ca disponible (RED de CA), convirtiéndola en potencia de cc. Típicamente, tras la filtración de la potencia de cc, el inversor 106, utilizando componentes de conmutación de semiconductor adecuados, suministra como salida potencia de ca monofásica. La potencia de ca alimenta el circuito de carga, el cual comprende la impedancia de la bobina de inducción y la impedancia del material acoplado magnéticamente contenido en el crisol, según se refleja de vuelta al circuito de carga primario. El valor del condensador C_T de tanque se selecciona para maximizar la transferencia de potencia al circuito de carga inductivo primario. La bobina de inducción L_L comprende un tramo o sección primaria L_P y un tramo o sección secundaria L_S , las cuales están, preferiblemente, conectadas en una configuración en paralelo y en arrollamientos opuestos con el fin de establecer un flujo de corriente instantáneo a través de la bobina según se indica por las flechas en la Figura 1.

25 La Figura 2(a) ilustra el uso de la disposición de la Figura 1 con el crisol 10 para fundir por lotes una composición de metal generalmente sólida 112 (que se muestra esquemáticamente en forma de círculos discretos), que se coloca dentro del crisol. Se hace referencia al estado del procedimiento de fusión de los lotes de la Figura 2(a) como el "estado frío", puesto que, generalmente, no se ha fundido nada de la composición de metal. La impedancia de carga para el circuito de carga de la bobina superior (primaria) es sustancialmente igual a la impedancia de carga para el circuito de carga de la bobina inferior (secundaria). A medida que la composición de metal se va calentando por inducción, se forma material fundido en el fondo del crisol, al tiempo que se añade, generalmente, material sólido a la sección superior del crisol. La Figura 2(b) ilustra el "estado templado" del procedimiento de fusión por lotes, en el que la mitad inferior del crisol contiene, generalmente, material fundido (que se muestra esquemáticamente como líneas o rayas) y la mitad superior del crisol contiene, generalmente, material sólido. En el estado templado, la impedancia de carga del circuito de carga de bobina inferior es más baja que la impedancia de carga del circuito de carga de bobina superior, fundamentalmente porque la resistencia de carga equivalente del material fundido es inferior a la resistencia de carga equivalente del material sólido. Por último, en la Figura 2(c), que ilustra el "estado caliente" del procedimiento de fusión por lotes, generalmente todo el material contenido en el crisol se encuentra en el estado fundido, y las impedancias de carga en los circuitos de carga de bobinas superior e inferior son iguales, pero de menor magnitud que las impedancias de carga en el estado frío.

30 La Figura 3(a), la Figura 3(b) y la Figura 3(c) ilustran gráficamente la división de la potencia suministrada desde la fuente de suministro de potencia a las secciones de bobina superior (sección primaria c_1 en estas Figuras) e inferior (sección secundaria c_2 en estas Figuras), para la bobina total (c_i en estas Figuras) mostrada en la Figura 1 y en las Figuras 2(a) a 2(c), a medida que prosigue el procedimiento de fusión por lotes a través, respectivamente, de las etapas fría, templada y caliente. Por ejemplo, en el estado frío (Figura 3(a), con una salida de suministro de potencia

de 600 kW y aproximadamente 390 Hertz), se suministran aproximadamente 300 kW a la sección de bobina superior y se aportan aproximadamente 300 kW a la sección de bobina inferior; en el estado templado (Figura 3(b), con una salida de suministro de potencia de 600 kW y aproximadamente 365 Hertz), se suministran aproximadamente 200 kW a la sección de bobina superior y se aportan 400 kW a la sección de bobina inferior; y en el estado caliente (Figura 3(c), con una salida de suministro de potencia de 600 kW y aproximadamente 370 Hertz), se aportan aproximadamente 300 kW a la sección de bobina superior y se suministran 300 kW a la sección de bobina inferior. Este ejemplo ilustra la situación general del procedimiento en la que, a medida que avanza la fusión por lotes desde el estado frío al estado templado, se proporciona una mayor potencia a la sección de bobina inferior con respecto a la sección de bobina superior, puesto que la sección de bobina inferior rodea una cantidad creciente de material fundido, el cual tiene una resistencia más baja que el material sólido, conforme el procedimiento prosigue hasta que la altura del material fundido es suficiente como para acoplarse magnéticamente con el campo generado por la sección de bobina superior. Esta situación es opuesta a la situación preferida, a saber, que el material sólido ha de recibir mayor potencia que el material fundido con el fin de fundir más rápidamente todo el lote de metal. La línea continua de la Figura 4 ilustra gráficamente la eficiencia típica de un procedimiento de fusión por lotes a lo largo del tiempo del procedimiento, en tanto que la línea de trazos o discontinua ilustra una eficiencia promedio porcentual típica 82 para el procedimiento.

Similarmente, cuando las secciones de bobina primaria y secundaria rodean un susceptor o un material conductor de la electricidad, tal como un tocho o una plancha de metal, la disposición de la Figura 1 y las Figuras 2(a) a 2(c), en la cual el susceptor o material conductor de la electricidad reemplaza el crisol 110 que contiene una composición de metal sólida 112, tiene como resultado una configuración de temperatura no controlada a lo largo de la longitud del material, debido al hecho de que la configuración o patrón de suministro de energía se define por la disposición de la bobina y la configuración de consumo de energía viene definida por los procesos del interior de un susceptor, o bien por las características de absorción de calor del material del tocho.

Por lo tanto, existe la necesidad de inducir selectivamente calor en una sección de un material que está siendo calentado o fundido por inducción, de tal modo que el procedimiento de calentamiento o fusión por inducción utilice múltiples tramos o secciones de bobina.

Breve resumen de la invención

En un aspecto, la presente invención consiste en un aparato para, y un método para, calentar o fundir un material conductor de la electricidad. Una única bobina de inducción activa y un par de bobinas de inducción pasivas se colocan en torno a diferentes tramos o secciones del material conductor de la electricidad, de tal manera que una del par de bobinas de inducción pasivas se sitúa adyacente a cada uno de los extremos opuestos de la bobina de inducción activa única. Cada una del par de bobinas de inducción pasivas se conecta en paralelo con un condensador diferente para formar un par de circuitos de bobina pasiva. Una fuente de suministro de potencia de ca (corriente alterna ("ac –alternating current")) proporciona potencia a la bobina de inducción activa única. La corriente que fluye a través de la única bobina de inducción activa, genera un primer campo magnético alrededor de la bobina de inducción activa única, el cual se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad que está sustancialmente rodeado por la bobina de inducción activa única. El primer campo magnético también se acopla con cada una del par de bobinas de inducción pasivas, que no están conectadas a la fuente de suministro de potencia de ca, para provocar el flujo de una corriente inducida en cada una del par de bobinas de inducción pasivas. El flujo de corriente inducida en cada uno del par de circuitos de bobina pasiva genera un segundo campo magnético alrededor de cada una del par de bobinas de inducción pasivas, el cual se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad sustancialmente rodeado por cada una del par de bobinas de inducción pasivas. La potencia de calentamiento inductiva procedente de la fuente de suministro de potencia puede ser selectivamente dividida entre los circuitos de carga formados por la bobina de inducción activa individual y el par de circuitos de bobina pasiva, los cuales se acoplan magnéticamente con el material conductor de la electricidad, mediante el control de la frecuencia de la potencia suministrada y la selección de las impedancias de cada uno del par de circuitos de bobina pasiva, de manera que los circuitos tengan diferentes frecuencias de resonancia.

Otros aspectos de la invención se establecen en esta memoria y en las reivindicaciones que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

El breve resumen anterior, así como la siguiente descripción detallada de la invención, se comprenderán mejor al leerse en combinación con los dibujos que se acompañan. Para el propósito de ilustración de la invención, se muestran en los dibujos formas proporcionadas a modo de ejemplo de la invención y que son preferidas en el momento presente; sin embargo, la invención no está limitada a las disposiciones e instalaciones instrumentales representadas en los dibujos anexos siguientes:

La Figura 1 es una disposición de circuitos de la técnica anterior para calentar y fundir por inducción un material conductor de la electricidad.

La Figura 2(a) ilustra un procedimiento de calentamiento y fusión de la técnica anterior en un estado frío, en el que no se ha fundido sustancialmente nada del material conductor de la electricidad.

- La Figura 2(b) ilustra un procedimiento de calentamiento y fusión de la técnica anterior en un estado templado, en el que se ha fundido aproximadamente la mitad del material conductor de la electricidad.
- La Figura 2(c) ilustra un procedimiento de calentamiento y fusión de la técnica anterior en un estado caliente, en el que sustancialmente la totalidad del material conductor de la electricidad se ha fundido.
- 5 La Figura 3(a) ilustra gráficamente la división de la potencia entre los tramos o secciones de bobina de inducción superior e inferior para el estado frío de calentamiento y fusión de la técnica anterior que se ha mostrado en la Figura 2(a), en función de la frecuencia de la potencia de calentamiento aplicada.
- La Figura 3(b) ilustra gráficamente la división de la potencia entre las secciones de bobina de inducción superior e inferior para el estado templado de calentamiento y fusión de la técnica anterior que se ha mostrado en la Figura 2(b), en función de la frecuencia de la potencia de calentamiento aplicada.
- 10 La Figura 3(c) ilustra gráficamente la división de la potencia entre las secciones de bobina de inducción superior e inferior para el estado caliente de calentamiento y fusión de la técnica anterior que se ha mostrado en la Figura 2(c), en función de la frecuencia de la potencia de calentamiento aplicada.
- La Figura 4 ilustra gráficamente la eficiencia típica del procedimiento de calentamiento y fusión de la técnica anterior.
- 15 La Figura 5 ilustra de una forma esquemática y a modo de diagrama simplificado un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- La Figura 6(a) ilustra gráficamente la división de la potencia entre la bobina de inducción activa y la bobina de inducción pasiva en el estado frío para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica, conforme se hace variar la frecuencia de la potencia de calentamiento.
- 20 La Figura 6(b) ilustra gráficamente magnitudes de las corrientes en las bobinas de carga activa y pasiva, en el estado frío, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- La Figura 6(c) ilustra gráficamente el cambio en el desplazamiento o corrimiento de fase entre las corrientes de las bobinas activa y pasiva con el cambio de frecuencia de la potencia de calentamiento, en el estado frío, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- 25 La Figura 7(a) ilustra gráficamente la división de la potencia entre la bobina de inducción activa y la bobina de inducción pasiva, en el estado templado, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica, a medida que se varía la frecuencia de la potencia de calentamiento.
- La Figura 7(b) ilustra gráficamente las magnitudes de las corrientes en las bobinas de carga activa y pasiva, en el estado templado, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- 30 La Figura 7(c) ilustra gráficamente el cambio en el corrimiento de fase entre las corrientes de las bobinas activa y pasiva con el cambio de frecuencia de la potencia de calentamiento, en el estado templado, para un ejemplo de un sistema de control de inducción.
- La Figura 8(a) ilustra gráficamente la división de potencia entre la bobina de inducción activa y la bobina de inducción pasiva, en el estado caliente, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica, a medida que se varía la frecuencia de la potencia de calentamiento.
- 35 La Figura 8(b) ilustra gráficamente las magnitudes de las corrientes en las bobinas de carga activa y pasiva, en el estado caliente, para un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- La Figura 8(c) ilustra gráficamente el cambio en el corrimiento de fase entre las corrientes de las bobinas activa y pasiva con el cambio de frecuencia de la potencia de calentamiento, en el estado caliente, para un ejemplo de un sistema de control de fusión por inducción eléctrica.
- 40 La Figura 9 ilustra gráficamente la eficiencia típica conseguida con un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- La Figura 10(a) y la Figura 10(b) son un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un sistema de control de inducción eléctrica.
- 45 La Figura 11(a) y la Figura 11(b) ilustran configuraciones del flujo electromagnético para material fundido contenido en un crisol provisto de un sistema de control de inducción eléctrica, cuando las fases eléctricas entre las corrientes de los circuitos de carga activo y pasivo se encuentran aproximadamente a 90 grados eléctricos y a menos de 20 grados eléctricos, respectivamente.
- 50 La Figura 12 ilustra de una forma esquemática y a modo de diagrama simplificado un ejemplo del sistema de control de inducción eléctrica de la presente invención.

La Figura 13 ilustra la división de la potencia entre la bobina de inducción activa y la bobina de inducción pasiva para un ejemplo de la presente invención que se ilustra en la Figura 12, en el que la frecuencia de salida de la potencia suministrada se modifica con el fin de variar la potencia de inducción aplicada a diferentes secciones de un material conductor de la electricidad.

5 La Figura 14 ilustra un ejemplo de la distribución o secuencia temporal de la potencia de inducción que se aplica a diferentes tramos o secciones de un material conductor de la electricidad para un ejemplo de la presente invención que se ilustra en la Figura 12.

Descripción detallada de la invención

10 Haciendo referencia, a continuación, a los dibujos, en los que los mismos números indican elementos similares, se muestra en la Figura 5 un ejemplo de un diagrama eléctrico simplificado de un sistema de control de inducción eléctrica.

15 La Patente norteamericana Nº 6.542.535 divulga una bobina de inducción que comprende una bobina activa que está conectada a la salida de una fuente de suministro de potencia de ca, y una bobina pasiva conectada con un condensador para formar un circuito cerrado que no está conectado a la fuente de suministro de potencia. Las bobinas activa y pasiva rodean un crisol en cuyo interior se ha colocado un material conductor de la electricidad. Las bobinas activa y pasiva se disponen de manera tal, que el campo magnético activo generado por el flujo de corriente dentro de la bobina activa, corriente que es suministrada desde la fuente de suministro de potencia, se acopla magnéticamente con la bobina pasiva, así como con el material contenido en el crisol.

20 La Figura 5 ilustra un ejemplo de una fuente 12 de suministro de potencia de ca que se utiliza con el sistema de control de inducción eléctrica de la presente invención. La sección de rectificador 14 comprende un rectificador de puente 16 de onda entera con una entrada de potencia de ca por las líneas o conducciones A, B y C. Una sección de filtro opcional 18 comprende un reactor L_{CLR} de limitación de corriente y un condensador C_{FIL} de filtro de cc. La sección de inversor 20 comprende cuatro dispositivos de conmutación S_1 , S_2 , S_3 y S_4 , así como unos diodos antiparalelos asociados D_1 , D_2 , D_3 y D_4 , respectivamente. De preferencia, cada dispositivo de conmutación es un dispositivo de estado sólido que puede ser activado y desactivado en cualquier momento de un ciclo de ca, tal como un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT).

30 El circuito de carga del ejemplo no limitativo comprende una bobina de inducción activa 22, la cual está conectada a la salida de inversor de la fuente de suministro de potencia a través de un condensador C_{TANK} de ajuste de carga (o de tanque), y una bobina de inducción pasiva 24, que se conecta en paralelo con un condensador de sintonización C_{TUNE} con el fin de formar un circuito de carga pasivo. La corriente suministrada desde la fuente de suministro de potencia genera un campo magnético en torno a la bobina de inducción activa. Este campo se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad 90 contenido en el crisol 10 y con la bobina de inducción pasiva, la cual induce una corriente en el circuito de carga pasivo. La corriente inducida que fluye por la bobina de inducción pasiva genera un segundo campo magnético que se acopla con el material conductor de la electricidad contenido en el crisol. Unos medios 30 y 32 de detección de la tensión se han proporcionado con el fin de detectar la tensión instantánea a través, respectivamente, de la bobina activa y las bobinas pasivas; y unas líneas de control 30a y 32a transmiten las dos tensiones detectadas al sistema de control 26. Se han proporcionado unos medios 34 y 36 de detección de corriente con el fin de detectar la corriente instantánea a través, respectivamente, de la bobina activa y de la bobina pasiva; y unas líneas o conducciones de control 34a y 36a transmiten las dos corrientes detectadas al sistema de control 26. El sistema de control 26 incluye un procesador para calcular la potencia instantánea en el circuito de carga activo y en el circuito de carga pasivo a partir de las tensiones y corrientes suministradas como entrada. Los valores de potencia calculados pueden ser comparados por el procesador con datos almacenados para un perfil de potencia deseado de un procedimiento de fusión por lotes, al objeto de determinar si los valores calculados de la división de potencia entre los circuitos de carga activo y pasivo son diferentes del perfil de potencia deseado del procedimiento de fusión por lotes. Si existe alguna diferencia, el sistema de control 26 suministrará como salida señales de activación y de desactivación de puerta a los dispositivos de conmutación contenidos en el inversor, a través de una conducción de control 38, de tal manera que la frecuencia de salida del inversor se ajusta para conseguir la división de potencia deseada entre los circuitos de carga activo y pasivo.

50 Al seleccionar el condensador C_{TANK} de tanque, el condensador de sintonización C_{TUNE} y las bobinas de inducción activa y pasivas en los valores apropiados, el circuito de carga activo tendrá una frecuencia de resonancia que es diferente de la del circuito de carga pasivo. La Figura 6(a), la Figura 7(a) y la Figura 8(a) ilustran un ejemplo de la división de potencia que se consigue en las bobinas de inducción activa y pasivas a lo largo de un cierto intervalo de frecuencias, para un conjunto de valores de circuito. Por ejemplo: en el estado frío (Figura 6(a), con una salida de la fuente de suministro de potencia a 1.000 kW y aproximadamente 138 Hertz), se suministran aproximadamente 500 kW a la sección de bobina activa, y se aportan 500 kW a la sección de bobina pasiva; en el estado templado (Figura 7(a), con una salida de la fuente de suministro de potencia a 1.000 kW y aproximadamente 136 Hertz), se suministran aproximadamente 825 kW a la sección de bobina activa y se aportan 175 kW a la sección de bobina pasiva; y en el estado caliente (Figura 8(a), con una salida de la fuente de suministro de potencia a 1.000 kW y

aproximadamente 134 Hertz), se suministran aproximadamente 500kW a la sección de bobina activa y se aportan aproximadamente 500 kW a la sección de bobina pasiva. A diferencia de la técnica anterior, en los estados intermedios entre el estado frío y el caliente, puede dirigirse más potencia a la bobina superior (activa), que rodea sustancialmente el material sólido contenido en el crisol durante aproximadamente la primera mitad del procedimiento de fusión por lotes en este ejemplo, que a la bobina inferior (pasiva), que rodea un nivel creciente de material fundido durante aproximadamente la primera mitad del procedimiento de fusión por lotes en este ejemplo. Esta situación se ejemplifica por la división de potencia en el estado templado, en el que el sistema de control de calentamiento por inducción del presente ejemplo dirige la mayor parte de la potencia a la bobina superior con el fin de fundir el material sustancialmente sólido rodeado por la bobina superior.

Los datos almacenados para un procedimiento de fusión por lotes deseado, para una disposición de circuito y crisol particular, pueden ser determinados a partir de las características físicas y eléctricas de la disposición concreta. Las características de potencia y de corriente frente a la frecuencia, para los circuitos de carga activo y pasivo de una disposición particular, pueden también determinarse a partir de las características físicas y eléctricas de una disposición particular.

En un ejemplo alternativo de la invención, pueden utilizarse diferentes parámetros y métodos para medir la potencia en los circuitos de carga activo y pasivo, según se conocen en la técnica. El procesador del sistema de control 26 puede ser un microprocesador o cualquier otro dispositivo de procesamiento o tratamiento adecuado. En algunos ejemplos de la invención, las bobinas pueden haberse configurado de forma diferente en torno al crisol. Por ejemplo, bobinas activas y pasivas pueden solaparse, disponerse separadas entre sí o arrollarse en sentidos contrarios unas con respecto a otras para conseguir una aplicación controlada de potencia inducida a regiones seleccionadas del material conductor de la electricidad.

La Figura 6(b), la Figura 7(b) y la Figura 8(b) ilustran gráficamente las magnitudes de corriente para las corrientes de las bobinas de carga activa y pasiva, respectivamente para los estados frío, templado y caliente, que están asociadas con el ejemplo representado por las magnitudes de potencia de la Figura 6(a), la Figura 7(a) y la Figura 8(a), respectivamente.

La Figura 6(c), la Figura 7(c) y la Figura 8(c) ilustran gráficamente la diferencia de ángulo de fase entre las corrientes de las bobinas de carga activa y pasiva, respectivamente para los estados frío, templado y caliente, que están asociadas con el ejemplo representado por las magnitudes de corriente de la Figura 6(b), la Figura 7(b) y la Figura 8(b), respectivamente. De preferencia, pero a modo de limitación, el corrimiento de fase entre las corrientes de las bobinas activa y pasiva se mantiene lo suficientemente bajo, al menos inferior a 30 grados, al objeto de minimizar la diferencia en el corrimiento de fase de manera tal, que no se produce una cancelación de campo magnético significativa entre los campos generados en torno a las bobinas activa y pasiva.

La Figura 9 ilustra gráficamente la eficiencia típica de un procedimiento de fusión por lotes a lo largo del tiempo del procedimiento, cuando se utiliza el sistema de control del procedimiento de fusión por inducción anteriormente descrito. Comparando la línea curva continua de la Figura 9 con la curva de eficiencia de la Figura 4, con el sistema de control anteriormente descrito, la eficiencia de un procedimiento de fusión por lotes a lo largo del tiempo del procedimiento puede mantenerse en un valor superior durante un periodo de tiempo más largo, en comparación con el procedimiento de la técnica anterior. En consecuencia, la eficiencia promedio para el procedimiento, según se ilustra por la línea discontinua de la Figura 9, será más alta (87 por ciento en este ejemplo), y el procedimiento puede ser llevado a cabo en un periodo de tiempo más corto.

A modo de ejemplo y no como limitación, el sistema de control de fusión por inducción eléctrica puede ponerse en práctica mediante la implementación del algoritmo de control simplificado que se ilustra en el diagrama de flujo presentado en la Figura 10(a) y en la Figura 10(b), con dispositivos físicos o hardware informático adecuado y programación por software de las rutinas que se muestran en el diagrama de flujo. En la Figura 10(a), durante un procedimiento de fusión por lotes, las rutinas 202a y 204a reciben periódicamente entradas desde sensores de corriente adecuados que detectan la corriente de carga total instantánea, i_a (circuitos de carga tanto activo como pasivo), y la corriente de carga pasiva, i_p , respectivamente. De forma similar, las rutinas 202b y 204b reciben periódicamente entradas procedentes de sensores de tensión apropiados que detectan la tensión de carga instantánea a través de la bobina de inducción activa, v_a , así como la tensión de carga instantánea a través de la bobina de inducción pasiva, v_p , respectivamente.

La rutina 206 calcula la potencia de carga total, P_{total} , a partir de la Ecuación 1:

$$P_{total} = \frac{1}{T} \int_0^T i_a \cdot v_a dt$$

donde T es la inversa de la frecuencia de salida del inversor.

La rutina 208 calcula la potencia de carga pasiva, P_p , a partir de la Ecuación 2:

$$P_p = \frac{1}{T} \int_0^T i_p \cdot v_p dt .$$

La rutina 210 calcula la potencia del circuito de carga activo, P_a , restando la potencia de carga pasiva, P_p , de la potencia de carga total, P_{total} .

La rutina 212 calcula la corriente de circuito de carga activo de RMS, I_{aRMS} , a partir de la Ecuación 3:

$$5 \quad I_{aRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_a^2 dt} .$$

Similarmente, la rutina 214 calcula la corriente de circuito de carga pasivo de RMS, I_{pRMS} , a partir de la Ecuación 4:

$$I_{pRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_p^2 dt} .$$

La resistencia del circuito de carga activo, R_a , se calcula dividiendo la potencia del circuito de carga activo, P_a , por el cuadrado de la corriente del circuito de carga activo de RMS, $(I_{aRMS})^2$, en la rutina 216.

10 De forma similar, en la rutina 218, la resistencia del circuito de carga pasivo, R_p , se calcula dividiendo la potencia del circuito de carga pasivo, P_p , por el cuadrado de la corriente del circuito de carga pasivo de RMS, $(I_{pRMS})^2$.

La rutina 220 determina si la resistencia del circuito de carga activo, R_a , es aproximadamente igual a la resistencia del circuito de carga pasivo, R_p . Puede incluirse una banda de tolerancias preestablecida de valores de resistencia en la rutina 220 con el fin de establecer la banda de aproximación. Si R_a es aproximadamente igual a R_p , la rutina 222 realiza comprobaciones para averiguar si estos dos valores son aproximadamente iguales a la resistencia del circuito de carga total en el estado frío, R_{cold} , cuando sustancialmente la totalidad del material contenido en el crisol se encuentra en el estado sólido. Para una configuración dada de circuito de carga y crisol, R_{cold} puede ser determinado por parte de un experto de la técnica mediante la realización de ensayos preliminares y utilizando el valor de ensayo en la rutina 222. Pueden determinarse múltiples valores adicionales de R_{cold} basándose en el volumen y en el tipo del material contenido en el crisol, con medios a disposición de un operario para seleccionar el valor apropiado para un procedimiento de fusión por lotes particular. Si los valores aproximadamente iguales de R_a y R_p no son aproximadamente iguales al valor de R_{cold} , la rutina 224 realiza comprobaciones para averiguar si estos dos valores son aproximadamente iguales a la resistencia del circuito de carga total en el estado caliente, R_{hot} , cuando sustancialmente la totalidad del material contenido en el crisol se encuentra en el estado fundido. Para una configuración dada del circuito de carga y el crisol, R_{hot} puede ser determinada por un experto de la técnica llevando a cabo ensayos preliminares y utilizando el valor de ensayo en la rutina 224.

20 Pueden determinarse múltiples valores adicionales de R_{hot} basándose en el volumen y el tipo del material contenido en el crisol, con medios a disposición de un operario para seleccionar el valor apropiado para un procedimiento de fusión por lotes particular. Si los valores aproximadamente iguales de R_a y R_p no son aproximadamente iguales al valor de R_{hot} , se ejecuta una rutina de error 226 para evaluar por qué R_a y R_p son aproximadamente iguales entre sí pero no aproximadamente iguales a R_{cold} o R_{hot} .

35 Si la rutina 222 o la rutina 224 determina que los valores aproximadamente iguales de R_a y R_p son aproximadamente iguales a R_{cold} o R_{hot} , según se ilustra en la Figura 10(b), la rutina 228 se sirve de tablas de consulta 230 de potencia frente a frecuencia (POWER VS. FRQ.) frías o calientes, respectivamente, para seleccionar una frecuencia de salida, $FREQ_{out}$, para el inversor que hará que la potencia del circuito de carga activo, P_a , sea sustancialmente igual a la potencia del circuito de carga pasivo, P_p . La rutina 232 suministra como salida señales apropiadas a los circuitos de control de puerta para los dispositivos de conmutación contenidos en el inversor, de tal manera que la frecuencia de salida del inversor sea sustancialmente igual a $FREQ_{out}$.

40 Si la rutina 220 de la Figura 10(a) determina que R_a no es aproximadamente igual a R_p , la rutina 234 de la Figura 10(b) determina si R_a es mayor que R_p ; si no es así, se lleva a cabo una rutina de error 236 con el fin de evaluar el estado anormal en el que R_a es menor que R_p .

45 Si la rutina 234 de la Figura 10(b) determina que R_a es más grande que R_p , entonces la rutina 238 se sirve de la tabla de consulta 240 de potencia frente a frecuencia para seleccionar una frecuencia de salida, $FREQ_{out}$, para el inversor que hará que la potencia del circuito de carga activo, P_a , sea mayor que la potencia del circuito de carga pasivo, P_p , al tiempo que la suma de las potencias de los circuitos de carga activo y pasivo se mantiene igual a P_{total} . La rutina 242 suministra como salida señales apropiadas a los circuitos de control de puerta para los dispositivos de conmutación contenidos en el inversor, de tal modo que la frecuencia de salida del inversor es sustancialmente igual

a $FREQ_{out}$.

Generalmente, pero no a modo de limitación, P_{total} permanecerá constante a todo lo largo del procedimiento de fusión por lotes. Los valores de las tablas de consulta 230 y 240 de potencia frente a frecuencia pueden ser predeterminados por un experto de la técnica mediante la realización de ensayos preliminares y el uso de los valores de ensayo en las tablas de consulta 230 y 240. Pueden utilizarse unos medios de control adaptativos, de tal manera que los valores contenidos en las tablas de consulta 230 y 240 de potencia frente a frecuencia son redefinidos durante los procedimientos de fusión por lotes secuenciales, basándose en rutinas de maximización del rendimiento de la fusión, para uso en un procedimiento de fusión por lotes subsiguiente.

Opcionalmente, puede conseguirse una agitación del material fundido, en el estado caliente, seleccionando una frecuencia de salida del inversor para la que el corrimiento de fase entre las corrientes de las bobinas activa y pasiva sea de aproximadamente 90 grados eléctricos. Este modo de funcionamiento fuerza la circulación del material fundido desde la parte inferior o fondo del crisol hasta la parte superior, tal y como se ilustra en la Figura 11(a), y es, generalmente, preferido a la circulación típica en la que el material fundido de la mitad superior del crisol presenta una configuración o patrón de circulación diferente de la de la mitad inferior del crisol, tal y como se ilustra en la Figura 11(b). Como puede observarse en la Figura 6(c), en la Figura 7(c) y en la Figura 8(c), las frecuencias de funcionamiento para un corrimiento de fase de 90 grados tienen como resultado una potencia de calentamiento relativamente baja (Figura 6(a), Figura 7(a) y Figura 8(a)). Sin embargo, el modo de agitación se utiliza, generalmente, una vez que se ha fundido un lote completo de material, y puede ser utilizado intermitentemente en el caso de que se requiera una potencia de calentamiento adicional para mantener el material fundido del lote a una temperatura deseada.

La Figura 12 ilustra un ejemplo del sistema de control de inducción eléctrica de la presente invención. En este ejemplo, una fuente 12 de suministro de potencia de ca proporciona potencia a la bobina de inducción activa 22a (sección de bobina activa) para formar el circuito activo. Unas bobinas de inducción pasivas 24a y 24b (secciones de bobina pasiva) se conectan en paralelo con unos elementos capacitivos C_{TUNE1} y C_{TUNE2} , respectivamente, para formar dos circuitos pasivos independientes. Las bobinas de inducción pasivas 24a y 24b se acoplan magnéticamente (lo que se ilustra esquemáticamente por las flechas con las referencias asociadas M_1 y M_2 en la Figura) con el campo magnético primario creado por el flujo de corriente en el circuito activo, lo que, a su vez, genera corrientes en los circuitos pasivos que generan campos magnéticos secundarios en torno a cada una de las bobinas de inducción pasivas. Puede colocarse una pieza de partida conductora de la electricidad 12a dentro de las bobinas activa y pasivas. El campo magnético primario se acoplará electrónicamente con sustancialmente la zona media de la pieza de partida, en esta disposición particular no limitativa de las bobinas activa y pasivas, a fin de calentar por inducción la pieza de partida en esa región. El campo magnético secundario para la bobina de inducción pasiva inferior 24a se acoplará sustancialmente con la zona inferior de la pieza de partida a fin de calentar esa región; y el campo magnético secundario para la bobina de inducción pasiva superior 24b se acoplará sustancialmente con la zona superior de la pieza de partida, a fin de calentar esa región. Seleccionando adecuadamente las impedancias para los circuitos activo y pasivo, por ejemplo, mediante valores de capacidad seleccionados para los elementos capacitivos y/o valores de inductancia seleccionados para las bobinas de inducción, dos o más de los circuitos de bobina pueden ser sintonizados a una frecuencia de resonancia diferente, de tal manera que, cuando la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia se cambia, esos circuitos de bobina funcionarán a frecuencias de resonancia diferentes para la potencia inducida máxima aplicada a la región del material rodeado por la bobina que funciona a la frecuencia de resonancia.

La Figura 13 ilustra gráficamente el cambio de magnitud de la potencia inducida aplicada a cada una de las tres zonas del material conductor de la electricidad, cuando la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia se modifica para un ejemplo de la invención. Haciendo referencia a la Figura 12 y a la Figura 13, en este ejemplo no limitativo de la invención, la potencia (P_{c1}) en el circuito activo (etiquetada como POTENCIA DE SECCIÓN DE BOBINA PRIMARIA en la Figura 13) disminuye a medida que se incrementa la frecuencia; la potencia (P_{c2}) en el circuito pasivo inferior (etiquetada como POTENCIA DE PRIMERA SECCIÓN DE BOBINA SECUNDARIA en la Figura 13) presenta un pico en una frecuencia de resonancia de aproximadamente 950 Hertz; y la potencia (P_{c3}) en el circuito pasivo superior (etiquetada como POTENCIA DE SEGUNDA SECCIÓN DE BOBINA SECUNDARIA en la Figura 13) presenta un pico en una frecuencia de resonancia de aproximadamente 1,160 Hertz. Para este ejemplo particular, el circuito de bobina activa no tiene ninguna frecuencia de resonancia a lo largo del intervalo operativo; en otros ejemplos de la invención, el circuito de bobina activa puede tener también una frecuencia de resonancia. No es necesario funcionar a una frecuencia de resonancia; el establecimiento de frecuencias de resonancia discretas permite el funcionamiento a lo largo de un cierto intervalo de frecuencias, al tiempo que se controla la cantidad de potencia que se distribuye a cada zona. La invención también comprende ejemplos en los que pueden proporcionarse dos o más circuitos activos y cada uno de esos circuitos activos puede ser acoplado con uno o más circuitos pasivos.

La Figura 14 ilustra gráficamente otro ejemplo de la presente invención según se aplica al circuito mostrado en la Figura 12. Puede aplicarse una potencia inducida a cada una de las tres zonas del material conductor de la electricidad, a diferentes frecuencias seleccionadas y durante periodos de tiempo diferentes que componen un ciclo de control, que es de 60 segundos en este ejemplo, para conseguir una configuración o patrón de calentamiento

particular del material. Se suministra potencia secuencialmente desde la fuente de suministro de potencia, a lo largo del ciclo de control, de la manera que sigue: potencia a la frecuencia f_1 durante aproximadamente 10 segundos (s_1); potencia a la frecuencia f_2 durante aproximadamente 27 segundos (s_2); y potencia a la frecuencia f_3 durante aproximadamente 23 segundos (s_3). Con este esquema de control, si bien la potencia instantánea puede ser bastante diferente de una a otra zona, tal como se muestra en la Figura 14, los valores de potencia promedio temporales a lo largo de un ciclo de control, para cada zona, pueden hacerse sustancialmente iguales mediante la selección apropiada de las frecuencias de resonancia para los circuitos pasivos.

La expresión "pieza de partida conductora de la electricidad" incluye un susceptor, que puede ser un susceptor conductor hecho, por ejemplo, de una composición de grafito, que se calienta por inducción. El calentamiento inducido es entonces transferido por conducción o radiación a una pieza de partida que se desplaza en las proximidades del susceptor, o a un procedimiento que se está llevando a cabo en las proximidades del susceptor. Por ejemplo, una pieza de partida puede ser desplazada a través del interior de un susceptor, de tal manera que absorba el calor irradiado o conducido desde el susceptor calentado por inducción. En este caso, la pieza de partida puede ser de un material no conductor de la electricidad, tal como plástico. Alternativamente, puede llevarse a efecto un proceso dentro del susceptor, por ejemplo, el flujo de un gas a través del susceptor puede absorber el calor irradiado o conducido desde el susceptor calentado por inducción. La absorción de calor por la pieza de partida o por el proceso conducido a lo largo de la longitud del susceptor, puede no ser uniforme, y el sistema de control de inducción de la presente invención puede ser utilizado para dirigir potencia inducida a regiones seleccionadas del susceptor según se requiera para tener en cuenta la no uniformidad. Generalmente, ya sea el proceso del calentamiento de una pieza de partida que se mueve cerca de un susceptor, ya sea otro proceso de absorción de calor que se lleve a cabo cerca del susceptor, se hace referencia a todos estos procesos como "procesos de absorción de calor".

Los datos de temperatura de zona para la pieza de trabajo pueden ser suministrados como entrada al sistema de control 26 a medida que se lleva a cabo el proceso de calentamiento. Por ejemplo, para un susceptor, unos sensores de temperatura, tales como termopares, pueden haberse colocado en cada zona del susceptor con el fin de proporcionar señales de temperatura de zona al sistema de control. El sistema de control puede tratar los datos de temperatura recibidos y regular la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia según se requiera para un proceso particular. En algunos ejemplos de la invención, el nivel o magnitud de la potencia de salida de la fuente de suministro de potencia puede mantenerse constante; en otros ejemplos de la invención, el nivel (o tensión) de la potencia de salida de la fuente de suministro de potencia puede cambiarse por medios adecuados, tales como una modulación de anchura de impulso, conjuntamente con la frecuencia. Por ejemplo, si la temperatura global del material conductor de la electricidad es demasiado baja, el nivel de la potencia de salida procedente de la fuente de suministro de potencia puede ser aumentado mediante el incremento de la anchura de los impulsos de tensión.

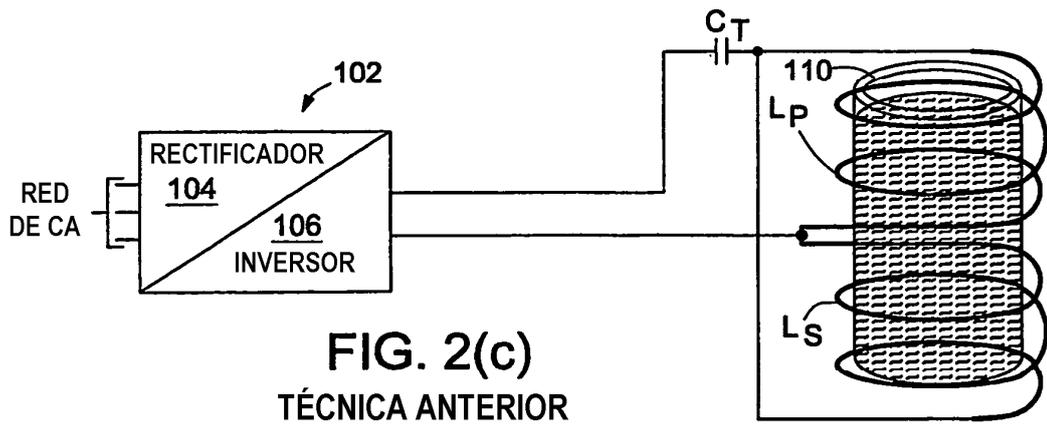
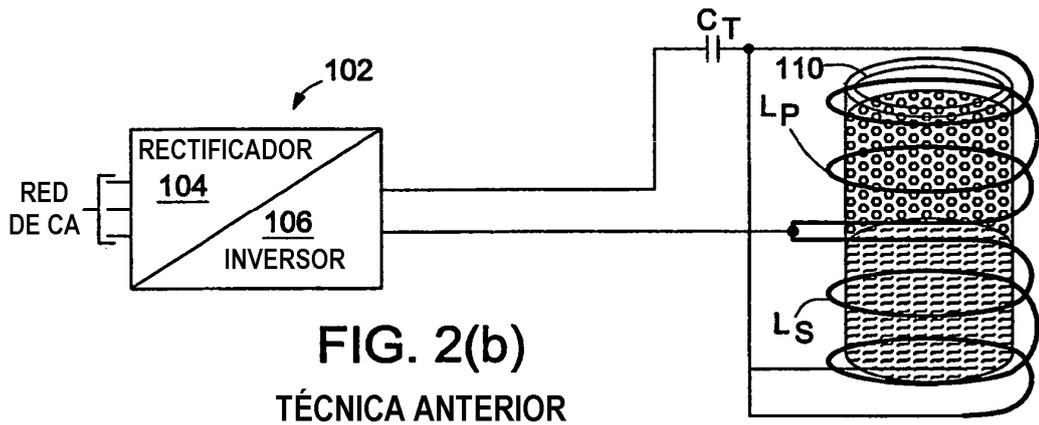
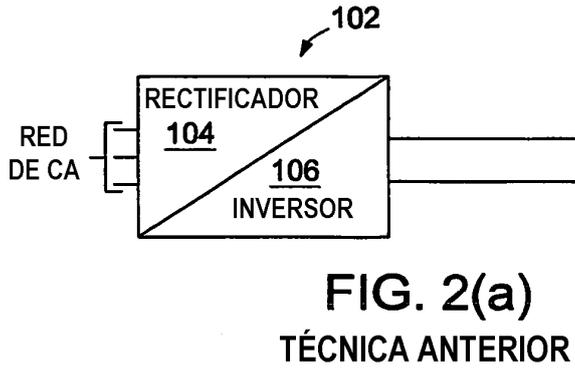
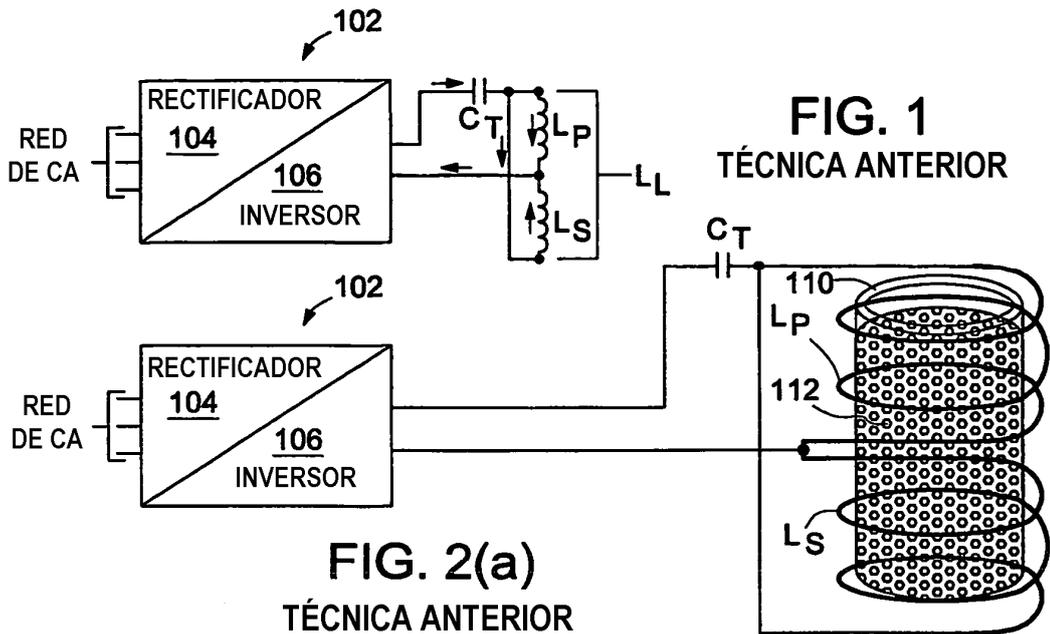
Se aprecia que los ejemplos anteriores se han proporcionado meramente para el propósito de explicación y no deben, de ningún modo, interpretarse como limitativos de la presente invención. Si bien la invención se ha descrito con referencia a diversas realizaciones, se comprende que las palabras o términos que se han utilizado en la presente memoria son términos de descripción e ilustración, y no términos constitutivos de limitaciones. Por otra parte, aunque la invención se ha descrito en esta memoria con referencia a medios, materiales y realizaciones particulares, no es la intención que la invención esté limitada a las particularidades en ella divulgadas; en lugar de ello, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos funcionalmente equivalentes, tal y como quedan recogidos en el ámbito de las reivindicaciones que se acompañan. Los ejemplos de la invención incluyen referencias a componentes eléctricos específicos. Un experto de la técnica puede poner en práctica la invención con la sustitución de componentes por otros que no son necesariamente del mismo tipo pero que crean las condiciones deseadas o alcanzan los resultados deseados de la invención. Por ejemplo, componentes únicos o individuales pueden ser sustituidos por componentes múltiples, o viceversa. Elementos de circuitos sin valores indicados en los dibujos pueden ser seleccionados de acuerdo con procedimientos de diseño de circuitos conocidos. Los expertos de la técnica, valiéndose de los beneficios de las enseñanzas de esta memoria, pueden efectuar numerosas modificaciones en las mismas, y es posible llevar a cabo cambios sin apartarse del ámbito de la invención en sus aspectos.

50

REIVINDICACIONES

- 1.- Un aparato para el calentamiento o la fusión por inducción eléctrica de un material conductor de la electricidad, de tal manera que el aparato comprende un material conductor de la electricidad (12a); al menos una bobina de inducción activa (22a), que rodea un primer tramo o sección del material conductor de la electricidad, de tal modo que la al menos una bobina de inducción activa está conectada a una fuente de suministro de potencia de ca (12) para formar un circuito activo y para generar un primer campo magnético, de tal manera que el primer campo magnético se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad (12a) sustancialmente en la primera sección del material conductor de la electricidad; al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b), que rodea un segundo tramo o sección del material conductor de la electricidad, de forma que cada una de la al menos una bobina de inducción pasiva está conectada en paralelo con al menos un elemento de capacidad (C_{TUNE1} , C_{TUNE2}) para formar un circuito pasivo, de manera que el primer campo magnético se acopla magnéticamente con cada una de la al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b) para generar una corriente en el circuito pasivo, generando la corriente un segundo campo magnético, y acoplándose magnéticamente el segundo campo magnético con el material conductor de la electricidad (12a) sustancialmente en la segunda sección del material conductor de la electricidad, de tal manera que la impedancia de cada uno de los circuitos pasivos se selecciona de modo que cada uno de los circuitos pasivos tiene una frecuencia de resonancia diferente, distinta de cualquier frecuencia de resonancia del circuito activo; un sistema de control (26), destinado a cambiar selectivamente la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia de ca para modificar la cantidad de potencia inducida en el circuito activo y en cada uno de los circuitos pasivos, **caracterizado por que**
- la al menos una bobina de inducción activa (22a) comprende una única bobina de inducción activa (22a), y la al menos una bobina de inducción pasiva comprende un par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b), de manera que cada una del par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b) está situada, en exclusiva, adyacente a cada uno de los extremos opuestos de la sección de bobina de inducción activa única (22a), de tal modo que cada una del par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b) forma, respectivamente, unos primer y segundo circuitos pasivos, siendo seleccionada la impedancia de cada uno de los primer y segundo circuitos pasivos de manera tal, que cada uno de los primer y segundo circuitos pasivos tiene una frecuencia de resonancia diferente de la frecuencia de resonancia del circuito activo.
- 2.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el material conductor de la electricidad (12a) está contenido en un crisol, y la frecuencia de resonancia de cada uno de los primer y segundo circuitos pasivos, así como la frecuencia de resonancia del circuito activo, se seleccionan de tal modo que el cambio de la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia de ca (12) dirige potencia inducida a secciones o tramos del material conductor de la electricidad (12a) que no están sustancialmente en el estado fundido.
- 3.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el material conductor de la electricidad (12a) es un susceptor asociado con un proceso de absorción de calor que absorbe calor por conducción o radiación, procedente del susceptor.
- 4.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual el sistema de control modifica la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia de ca (12) con el fin de dirigir potencia inducida a secciones seleccionadas del susceptor.
- 5.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el cual el sistema de control modifica la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia de ca (12) durante múltiples periodos de tiempo a lo largo de un ciclo de control.
- 6.- Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye un sistema de control del nivel o magnitud de potencia, destinado a modificar selectivamente el nivel o magnitud de la potencia de salida de la fuente de suministro de potencia de ca (12).
- 7.- Un método para controlar el calentamiento o la fusión por inducción eléctrica de un material conductor de la electricidad (12a) rodeado, en al menos una primera región, por al menos una bobina de inducción activa (22a) que forma un circuito activo, y en al menos una segunda región, por al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b) que forma un circuito pasivo con un elemento capacitivo (C_{TUNE1} , C_{TUNE2}), de tal modo que el circuito pasivo tiene una frecuencia de resonancia diferente de cualquier frecuencia de resonancia del circuito activo, de forma que el método comprende las etapas de: suministrar una primera corriente ca al circuito activo desde una fuente de suministro de potencia (12) con el fin de generar un primer campo magnético alrededor de la al menos una bobina de inducción activa (22a), de forma que el primer campo magnético se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad (12a) sustancialmente en la al menos una primera región, el primer campo magnético se acopla magnéticamente con la al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b) para inducir una segunda corriente ca en el circuito pasivo con el fin de generar un segundo campo magnético alrededor de la al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b), y el segundo campo magnético se acopla magnéticamente con el material conductor de la electricidad (12a) sustancialmente en la al menos una segunda región; **caracterizado por**
- formar la al menos una bobina de inducción activa (22a) a partir de una única bobina de inducción activa (22a);

- formar la al menos una bobina de inducción pasiva (24a, 24b) a partir de un par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b);
- 5 colocar una del par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b) adyacente a cada uno de los extremos opuestos de la sección de bobina de inducción activa única (22a), a fin de formar, respectivamente un primer y un segundo circuitos pasivos;
- seleccionar la impedancia de cada uno de los primer y segundo circuitos pasivos, de tal modo que cada uno de los primer y segundo circuitos pasivos tiene una frecuencia de resonancia diferente de la frecuencia de resonancia del circuito activo; y
- 10 ajustar la frecuencia de la primera corriente ca para modificar la distribución de la potencia inducida aplicada a la bobina de inducción activa única y al par de bobinas de inducción pasivas.
- 8.- Un método de acuerdo con la reivindicación 7, que incluye la etapa de solapar, disponer separadamente o arrollar en sentidos contrarios los extremos del par de bobinas de inducción pasivas (24a, 24b) adyacentes a los extremos opuestos de la bobina de inducción activa única (22a).
- 15 9.- Un método de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, que incluye las etapas de colocar el material conductor de la electricidad (12b) en un crisol y ajustar la frecuencia de la primera corriente ca para fundir secciones o tramos del material conductor de la electricidad (12b) que no están sustancialmente en el estado fundido.
- 20 10.- Un método de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en el cual el material conductor de la electricidad (12b) es un susceptor, y que comprende adicionalmente la etapa de llevar a cabo un proceso de absorción de calor en las proximidades del susceptor, de tal manera que el proceso absorbe calor inducido en el susceptor por radiación o conducción.
- 11.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que incluye la etapa de ajustar la frecuencia de la primera corriente ca de tal manera que el desplazamiento o corrimiento de fase entre las corrientes en el circuito activo y en los primer y segundo circuitos pasivos es aproximadamente igual a 90 grados eléctricos.
- 25 12.- Un método de acuerdo con la reivindicación 11, que incluye la etapa de modificar la frecuencia de salida de la fuente de suministro de potencia durante múltiples periodos de tiempo a lo largo de un ciclo de control.
- 13.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, que incluye la etapa de ajustar la magnitud o nivel de la potencia de salida de la fuente de suministro de potencia (12).



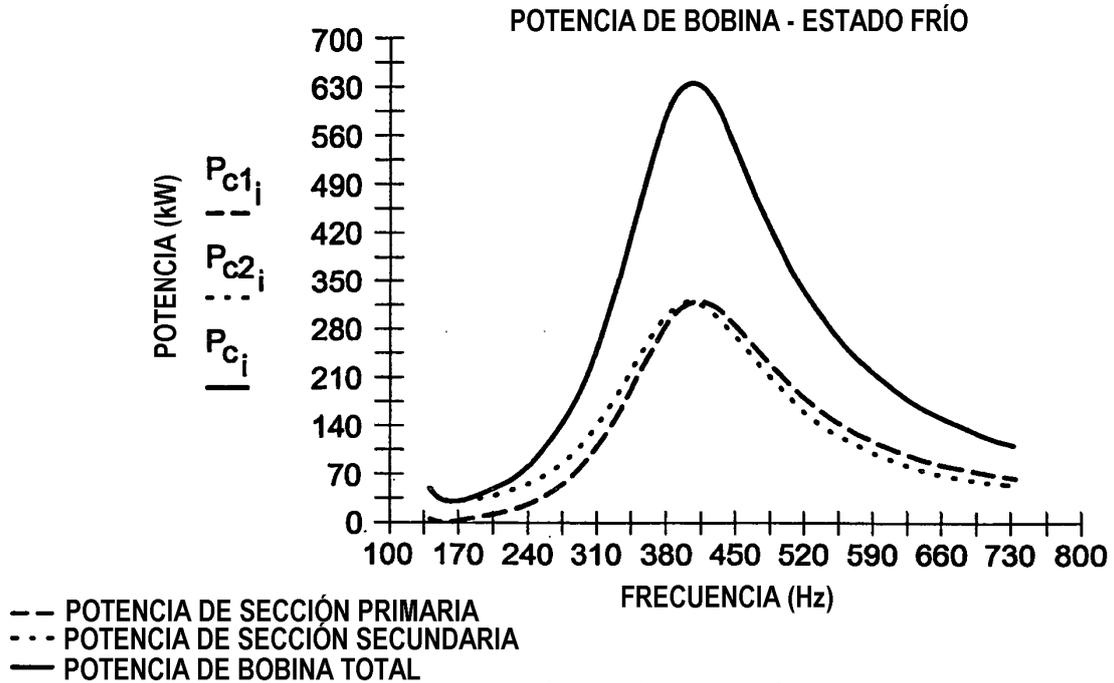


FIG. 3(a) TÉCNICA ANTERIOR

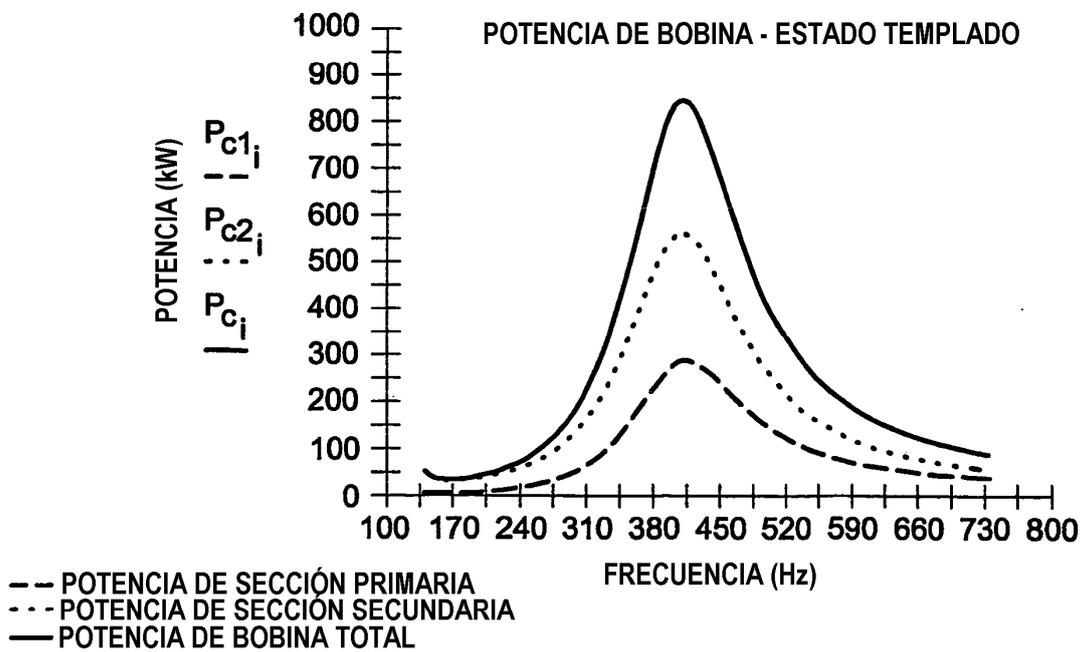


FIG. 3(b) TÉCNICA ANTERIOR

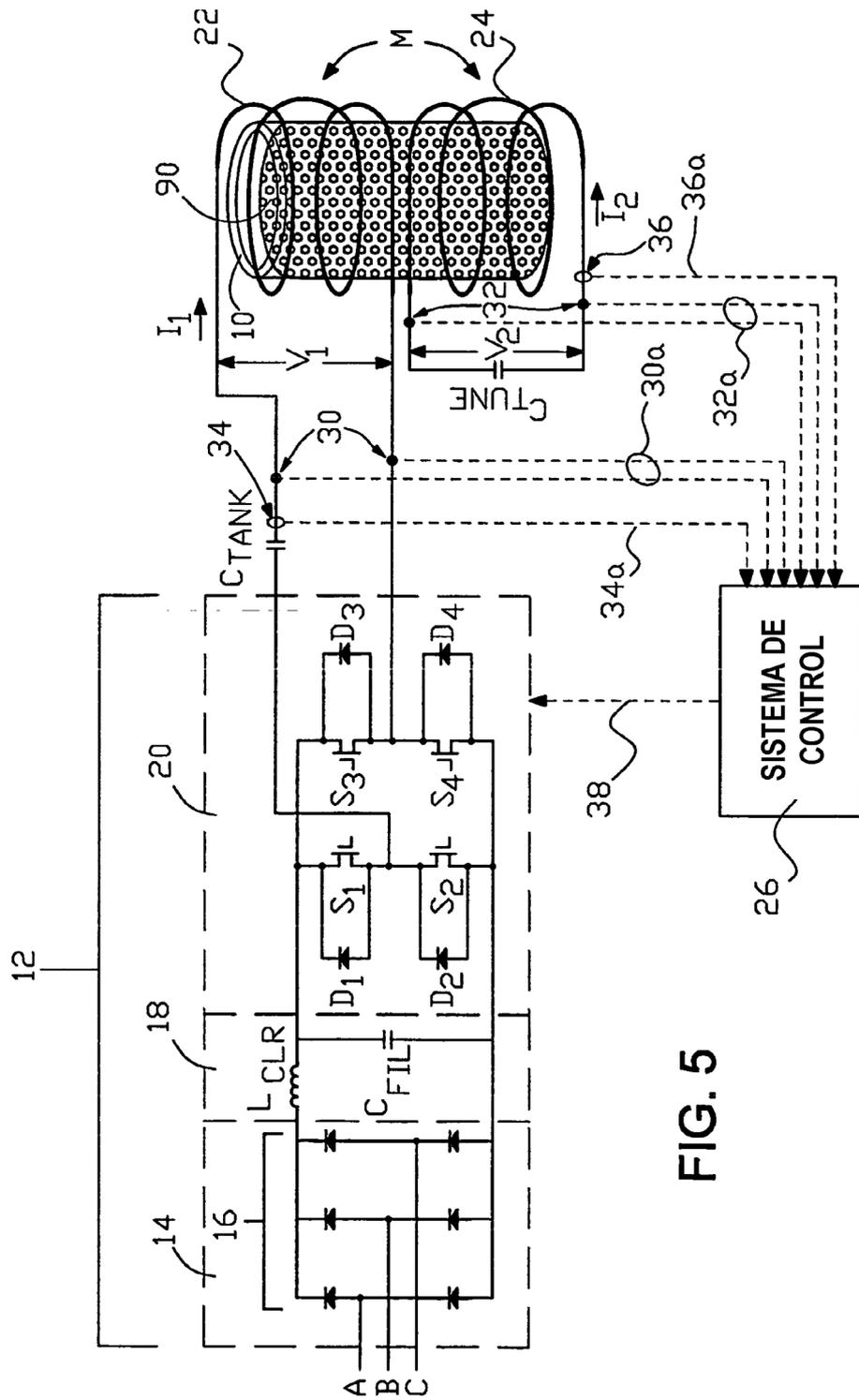


FIG. 5

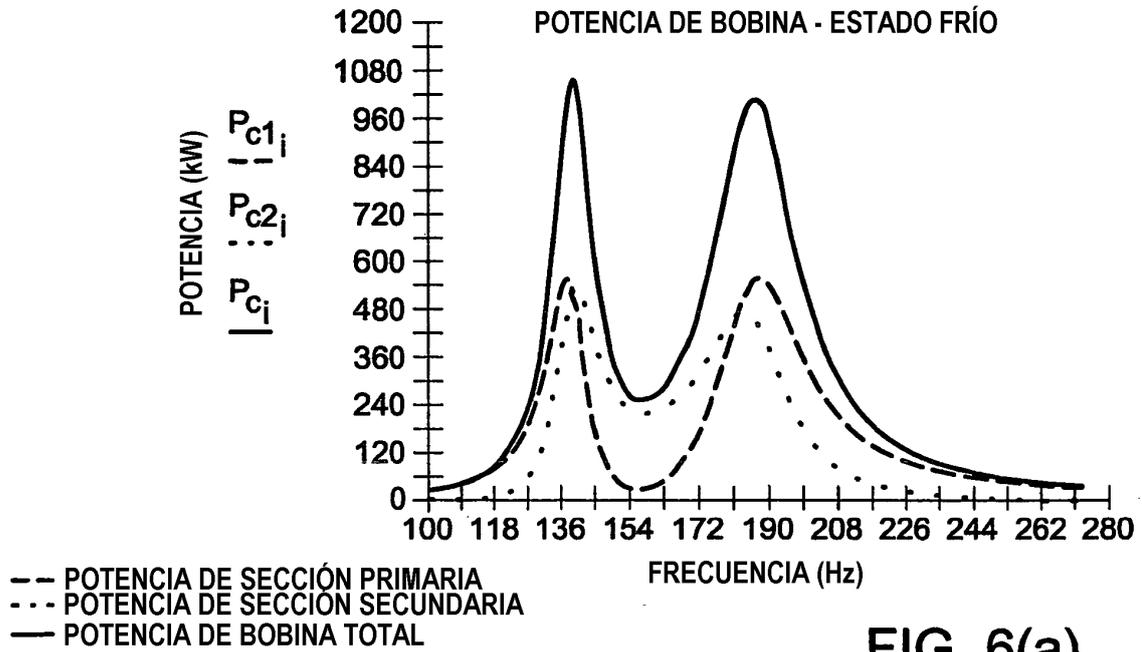


FIG. 6(a)

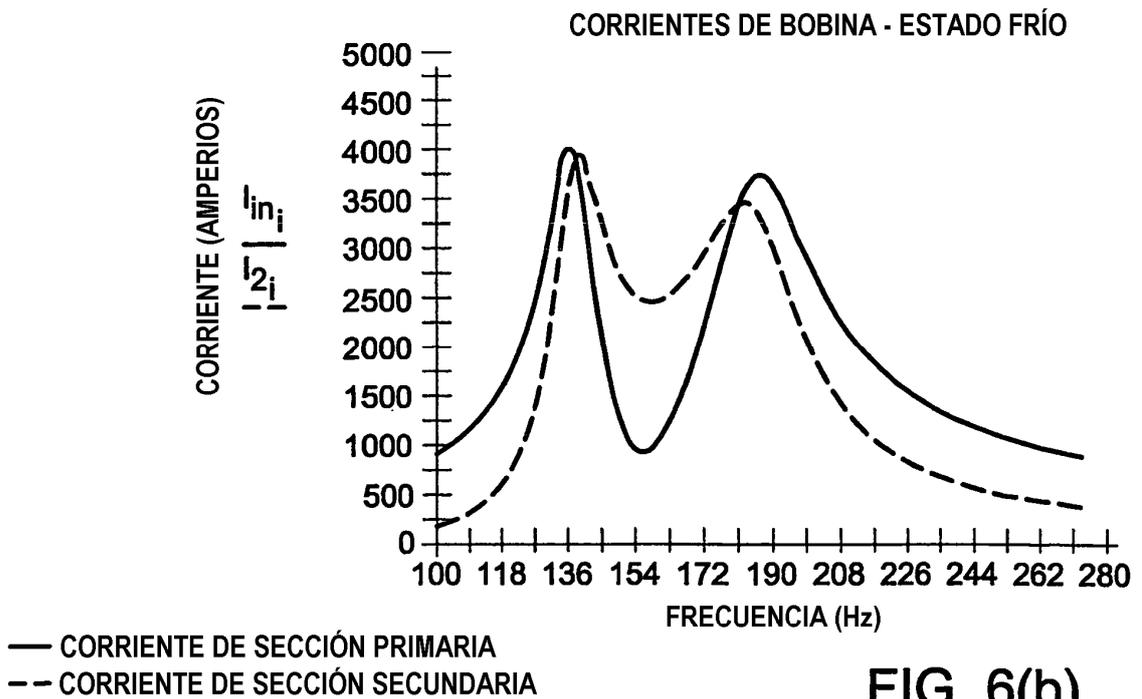


FIG. 6(b)

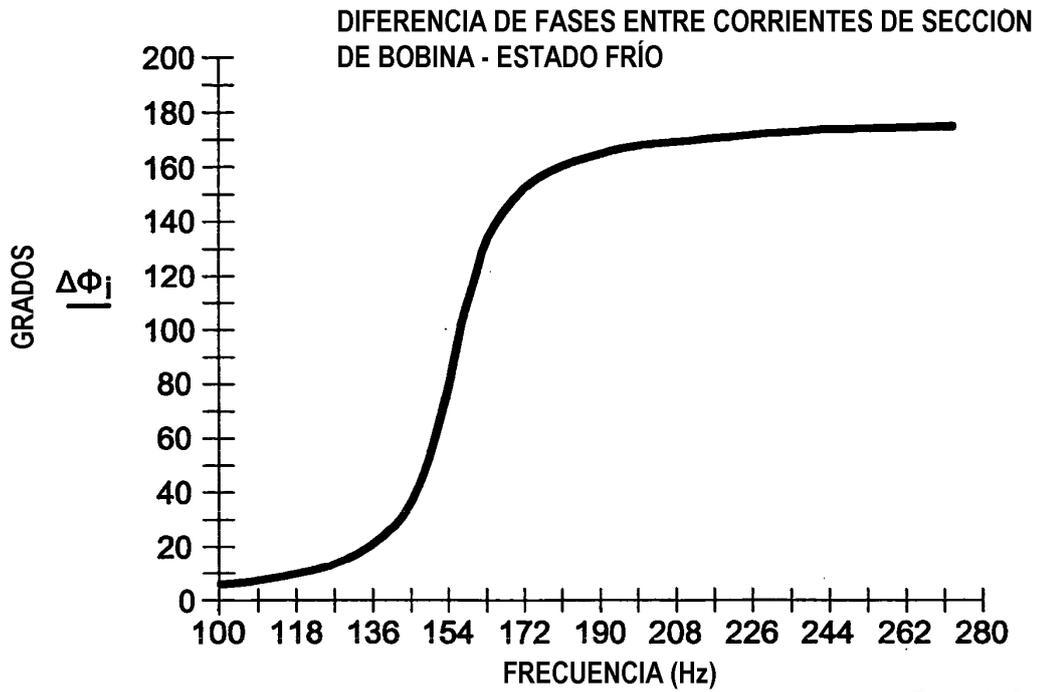
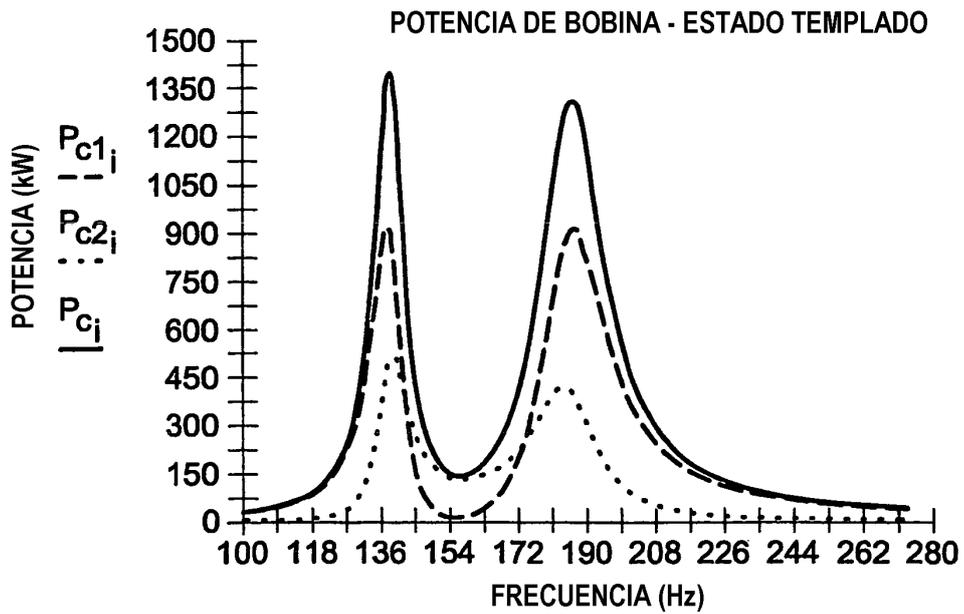


FIG. 6(c)



--- POTENCIA DE SECCIÓN PRIMARIA
 ... POTENCIA DE SECCIÓN SECUNDARIA
 — POTENCIA DE BOBINA TOTAL

FIG. 7(a)

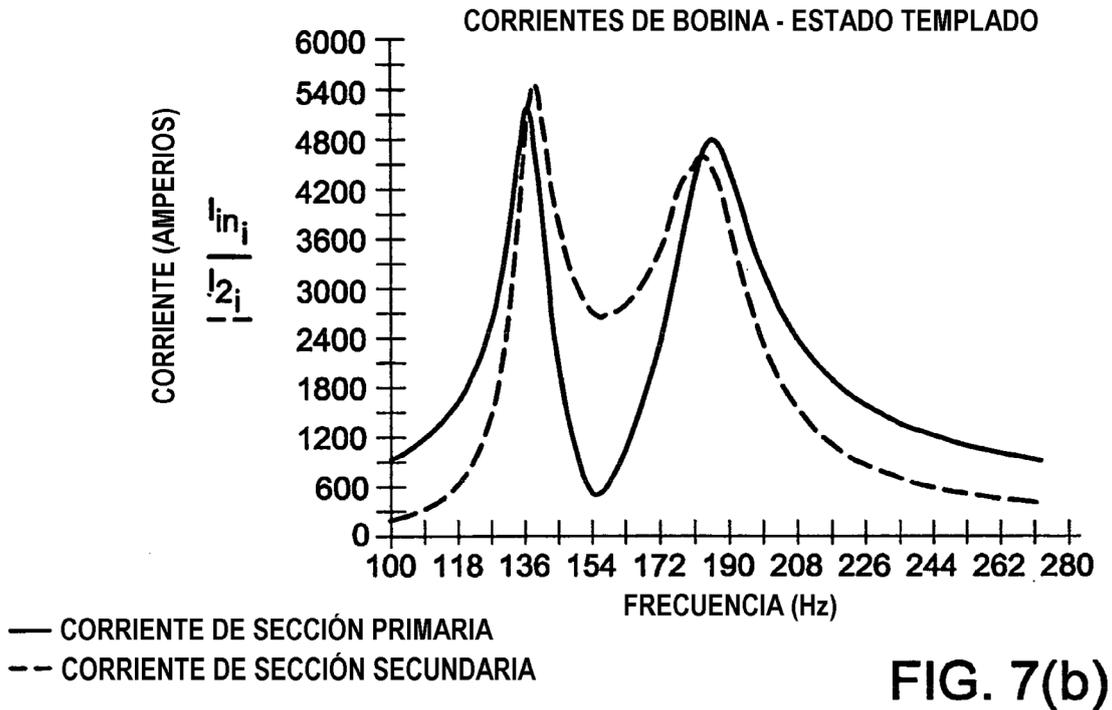


FIG. 7(b)

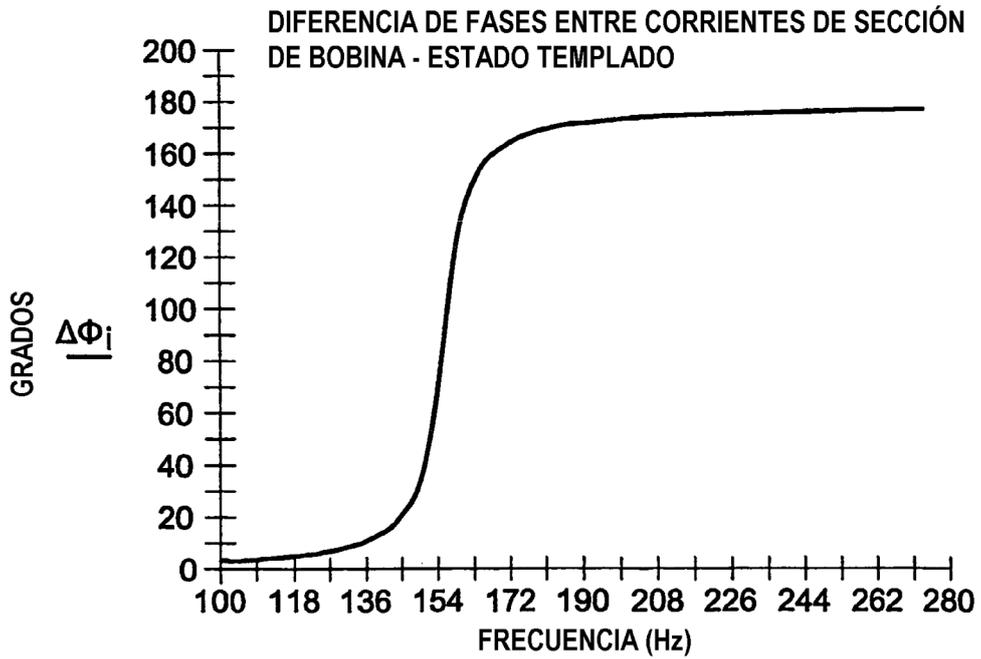


FIG. 7(c)

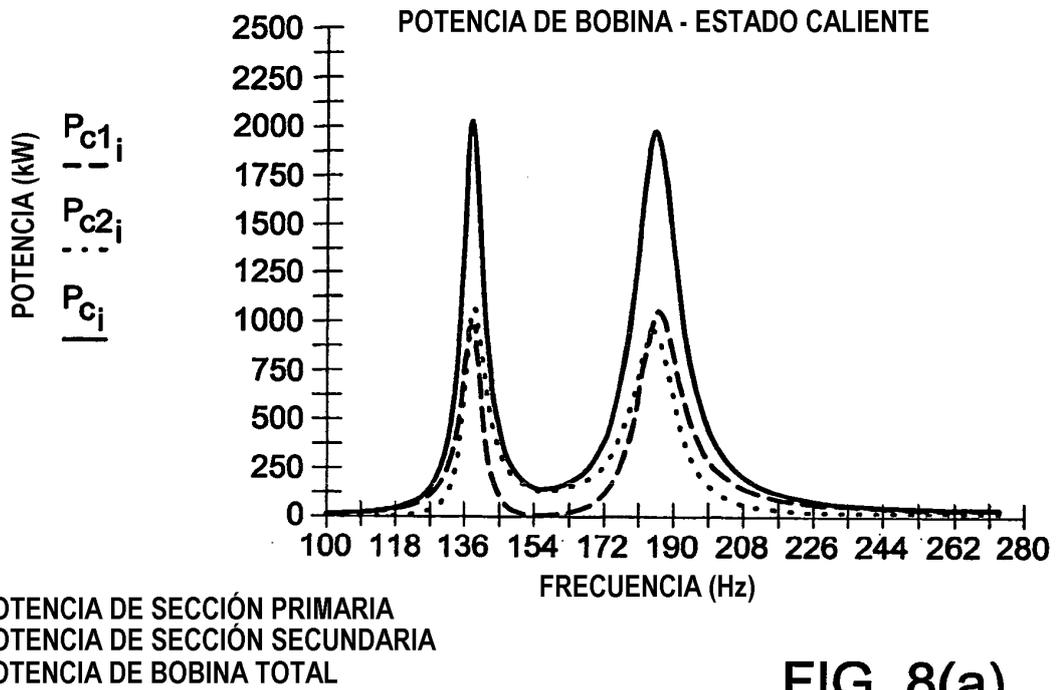


FIG. 8(a)

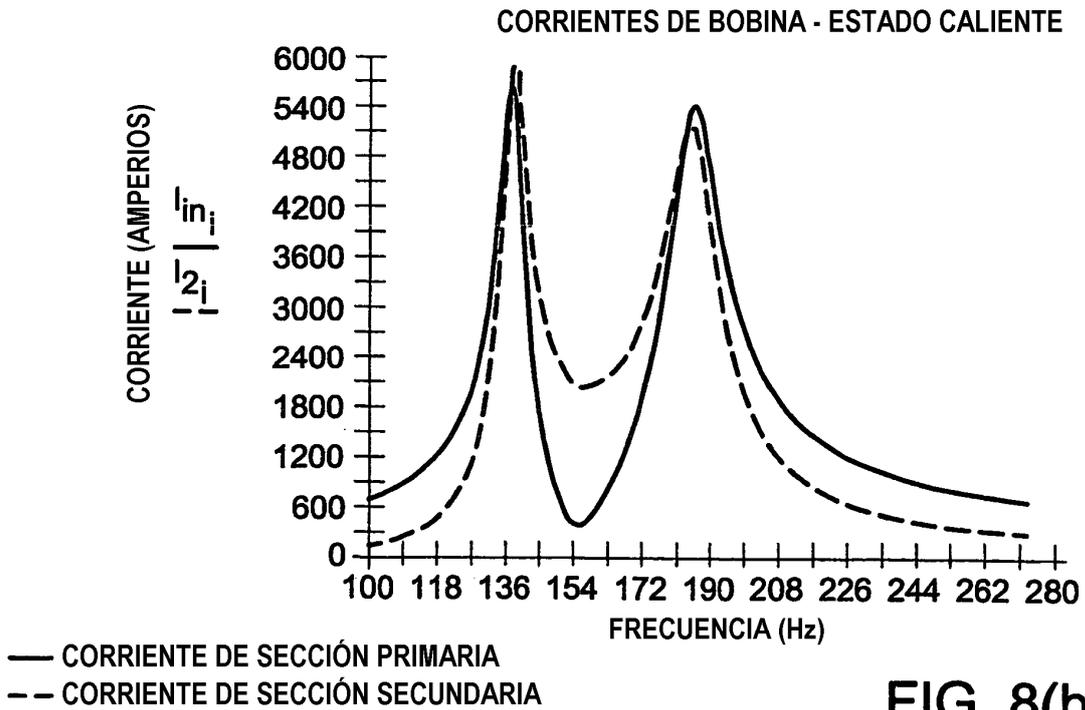


FIG. 8(b)

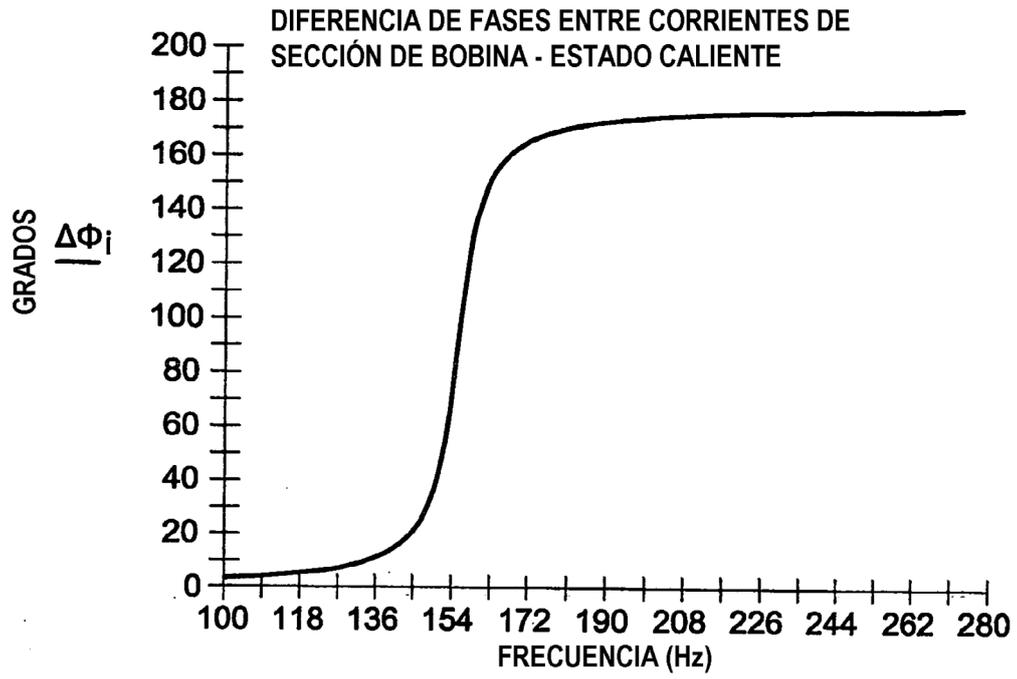


FIG. 8(c)

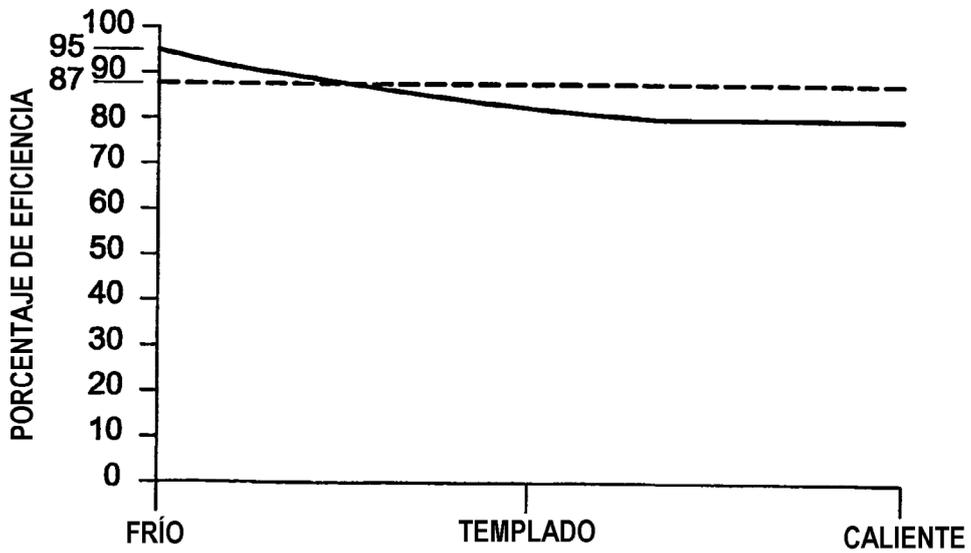


FIG. 9

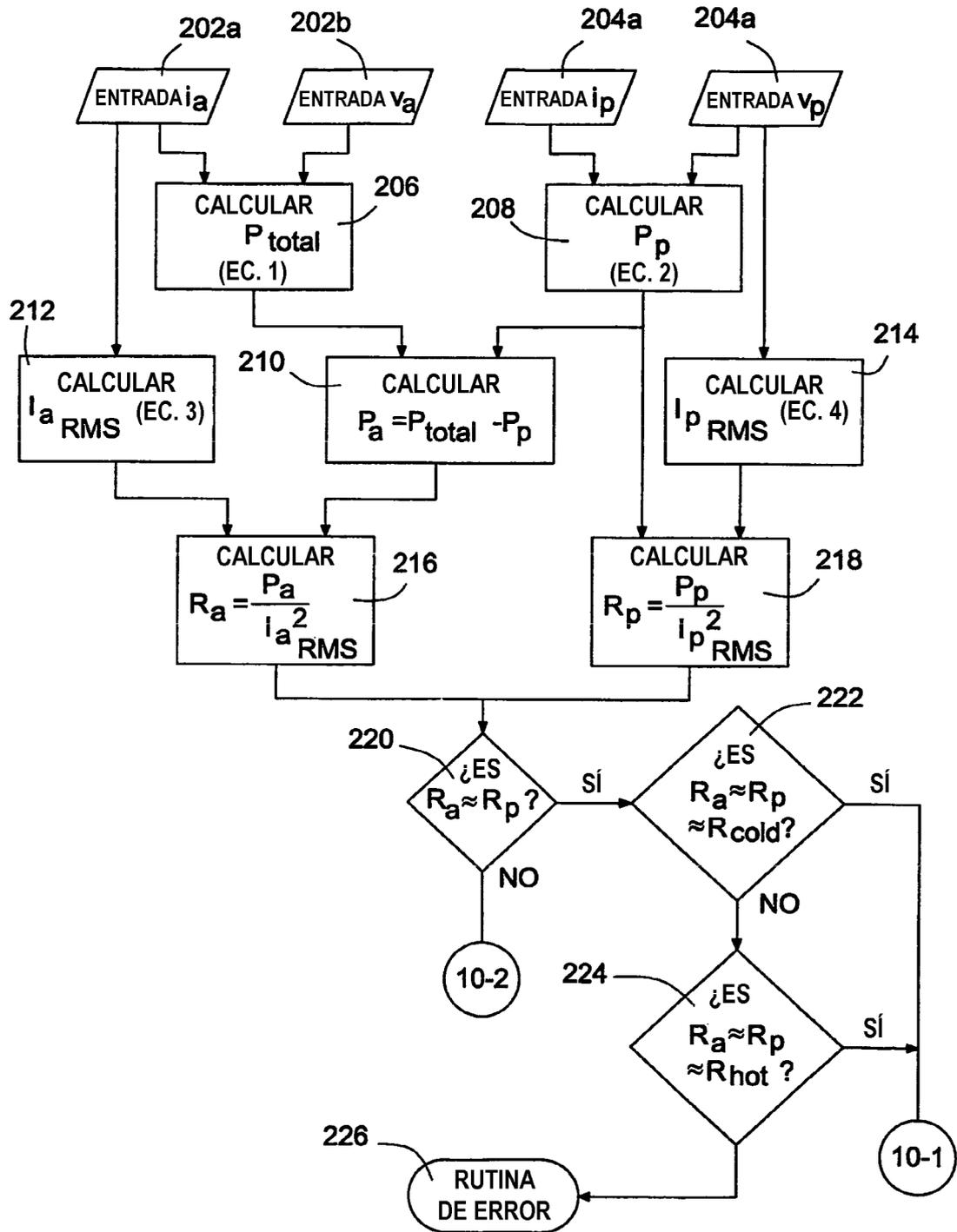


FIG. 10(a)

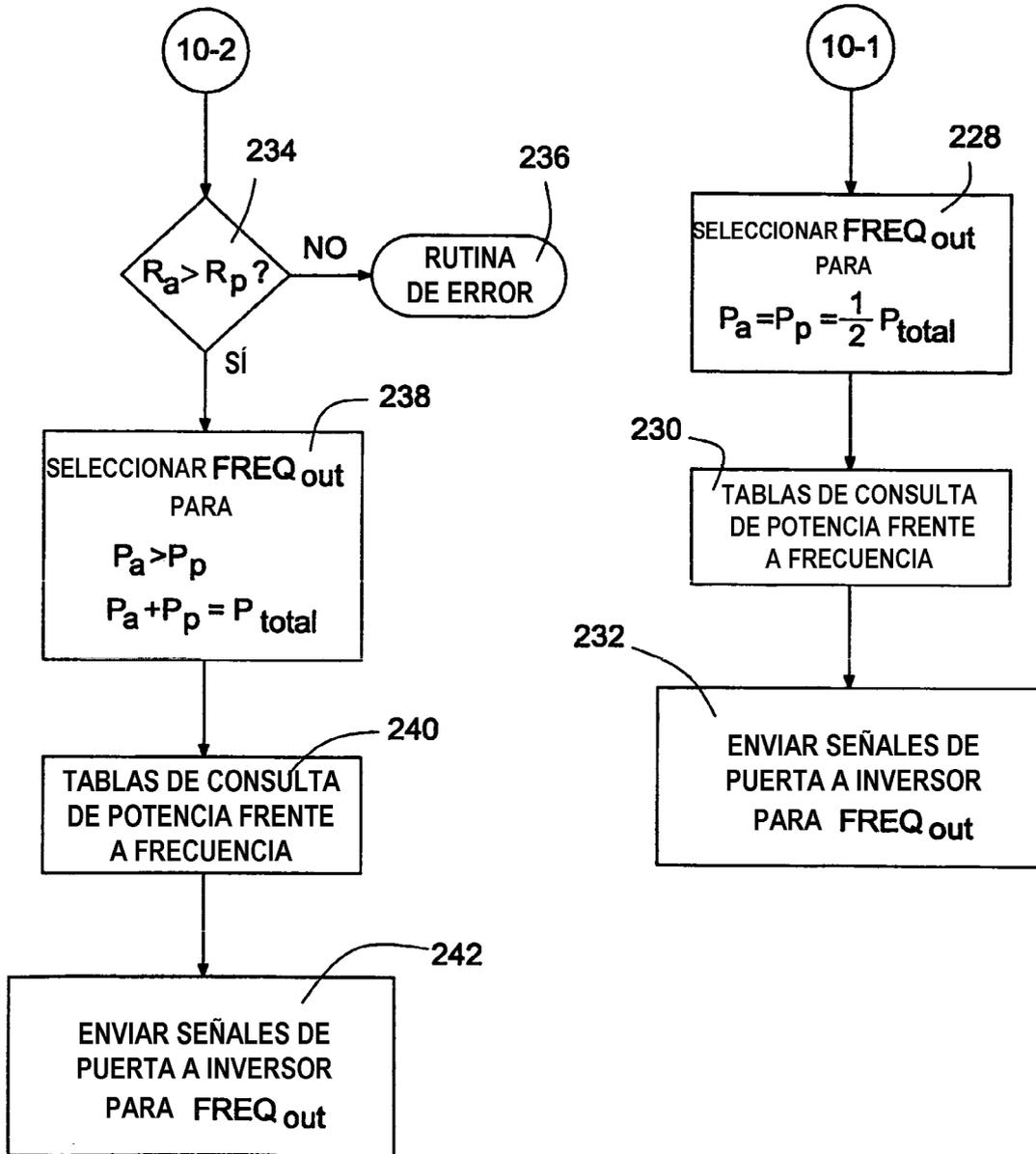


FIG. 10(b)

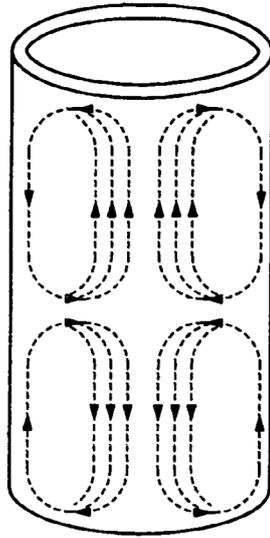


FIG. 11(b)

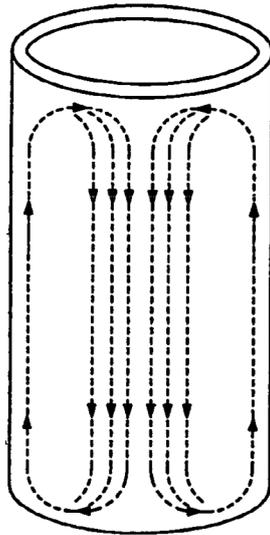


FIG. 11(a)

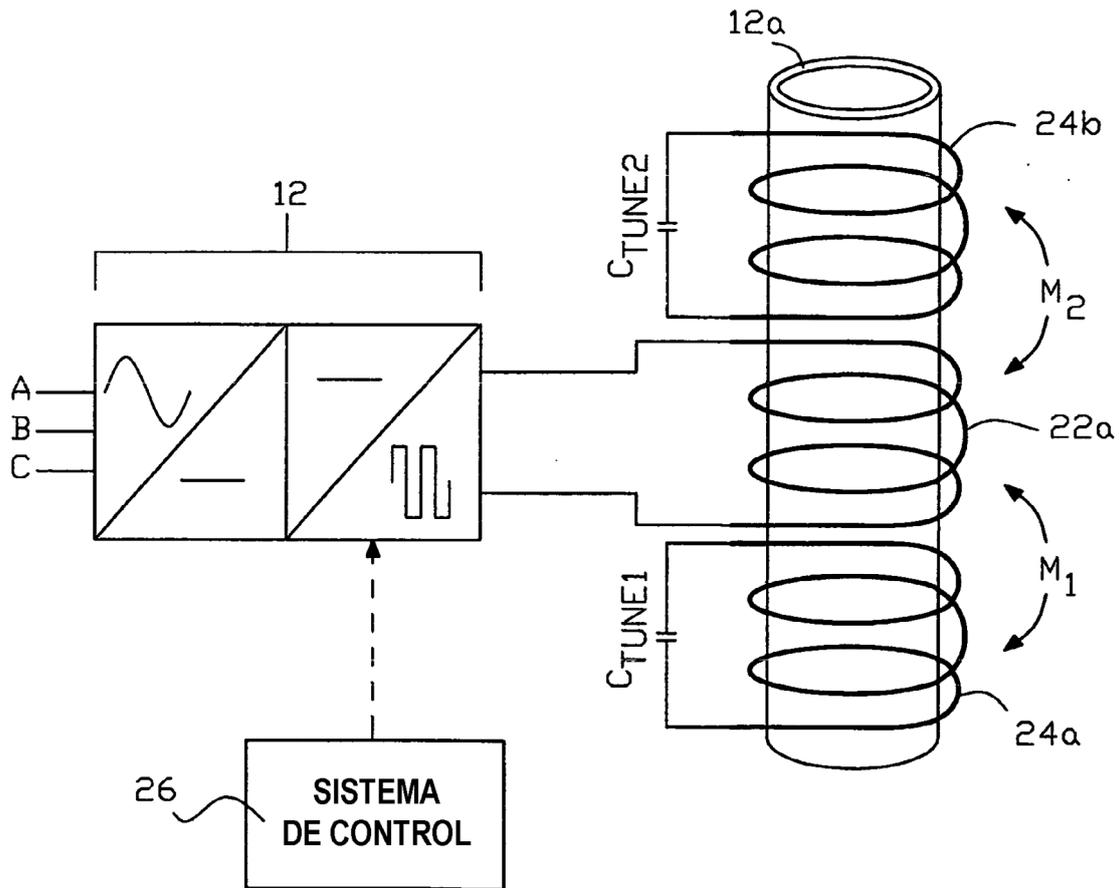


FIG. 12

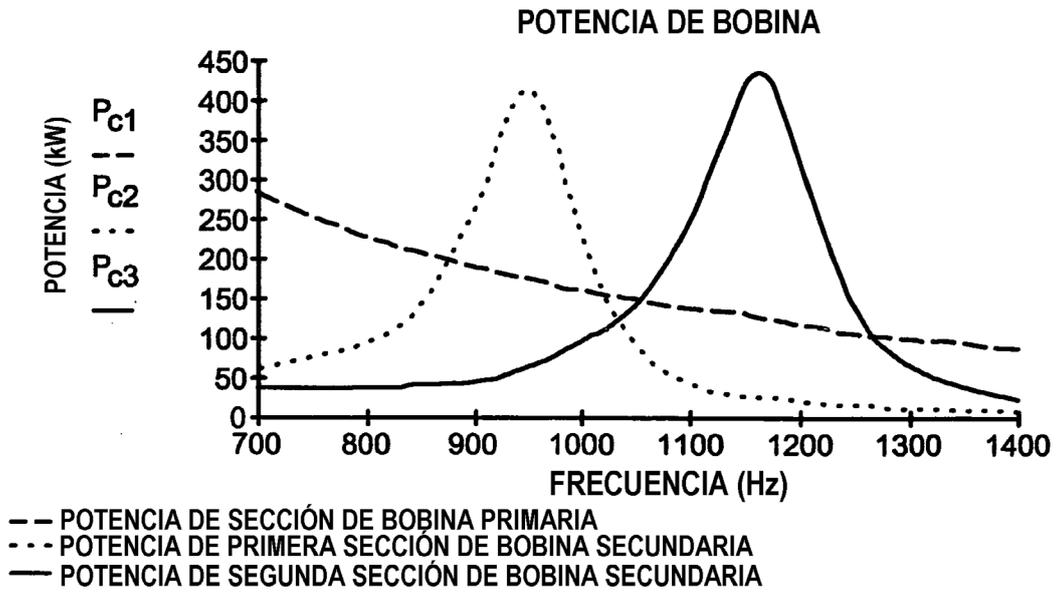


FIG. 13

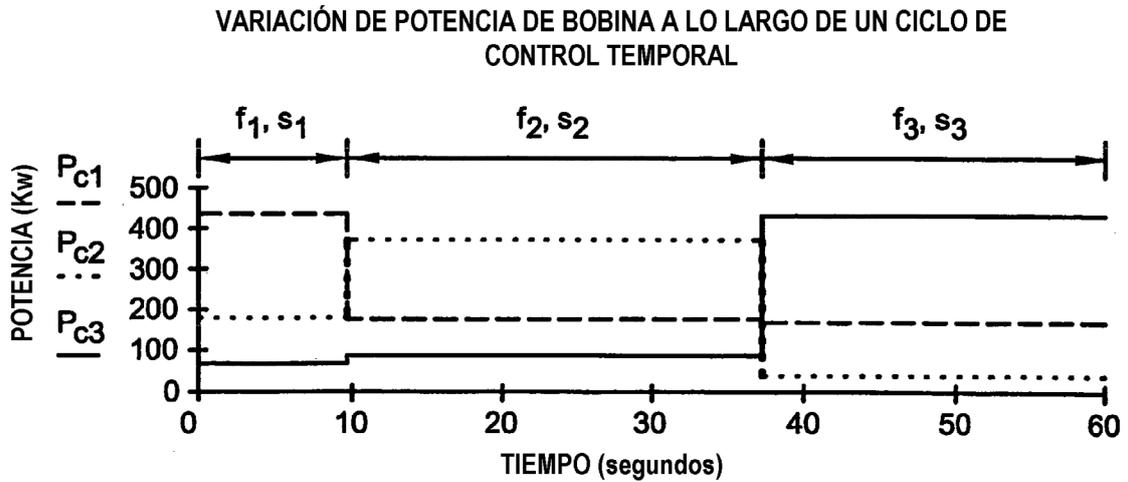


FIG. 14