

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 740 634**

51 Int. Cl.:

G01F 23/26 (2006.01)

B22D 2/00 (2006.01)

G01F 23/24 (2006.01)

G01N 27/06 (2006.01)

G01N 33/20 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.04.2011 PCT/SE2011/050512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2011 WO11136729**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2011 E 11775378 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2564173**

54 Título: **Mediciones en recipientes metalúrgicos**

30 Prioridad:

03.05.2010 US 282975 P

30.04.2010 SE 1000437

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

06.02.2020

73 Titular/es:

AGELLIS GROUP AB (100.0%)

Tellusgatan 15

224 57 Lund, SE

72 Inventor/es:

RÖDFALK, ALBERT;

NILSSON, JAN-PETER;

BLOEMER, PATRIK y

LYONS, ANTHONY

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 740 634 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

Mediciones en recipientes metalúrgicos

5 Campo de la tecnología

La invención se refiere a procedimientos en recipientes metalúrgicos tales como hornos, fundidores y otros recipientes de refinación o retención para el procesamiento de materiales eléctricamente conductores tales como metales y semiconductores.

10

Antecedentes

Durante muchos años, ha sido posible ubicar la superficie de escoria en un recipiente metalúrgico, si es estable, usando microondas, láser, corriente parásita, radioactividad, cámara o tecnología de flotación. También ha sido posible medir aproximadamente la extensión de diferentes zonas en el recipiente empleando el uso de tecnología de una simple varilla de medición/vara de sondeo en la que una barra de metal unida a una cadena u otro sistema de suministro se sumerge en primer lugar en el material fundido y después se retira para su inspección visual. Un operador con experiencia puede estimar visualmente, por tanto, la ubicación de una zona en particular en el recipiente en ese momento de tiempo.

15

20

También existen dispositivos electrónicos de mediciones diseñados para medir el grosor u otras propiedades de la capa de escoria. El documento US5781008 da a conocer un dispositivo de medición que usa una combinación de sensores unidos a una lanza movable. Un sensor está dispuesto en la punta de la lanza para detectar el contacto con la capa de escoria y otro sensor está configurado para detectar de manera remota (mediante corriente parásita) la distancia a la superficie de contacto entre la capa de escoria y el metal fundido. A la vez que la punta hace contacto con la capa de escoria, el sensor de corriente parásita se hace funcionar para determinar la distancia a la superficie de contacto de escoria/fundido. Puesto que la distancia entre los sensores es conocida, puede determinarse el grosor de la capa de escoria.

25

30

Los documentos US4647854 y JP06-258129 sugieren el uso de un sensor de medición de la distancia de tipo de corriente parásita suspendido sobre la capa de escoria en un recipiente metalúrgico para detectar el nivel de metal fundido en el recipiente. El sensor comprende una bobina de excitación para generar un campo electromagnético oscilante y una o más bobinas de detección de corriente parásita.

35

Los documentos US4841770, US2007176334A1, JP2003049215 y US4880212 todos dan a conocer diferentes lanzas movibles con dispositivos de medición (sondas) configurados para sumergirse en la capa de escoria para generar una señal indicativa del grosor de la escoria. Los sensores y la electrónica de los sensores están diseñados para detectar la superficie de contacto entre la capa de escoria y el metal fundido, por ejemplo, usando pares de electrodos, o bobinas inductivas conectadas a osciladores. Por tanto, los sensores y la electrónica de los sensores están diseñados para proporcionar un punto de cambio bien definido en la superficie de contacto entre la capa de escoria y el metal fundido.

40

El documento DE3201799 da a conocer el uso de electrodos para medir la conductividad de una capa de escoria.

45

El documento JP-H10-122544 da a conocer un método para hacer descender una sonda en el interior de un material objetivo eléctricamente conductor en un recipiente metalúrgico para encontrar la superficie de contacto entre escoria y metal y determinar el grosor de la capa de metal fundido.

50

El documento JP-H04-348230 da a conocer un indicador de nivel de tipo inducción, en el que un sensor que tiene bobinas se introduce en el interior de un líquido y se mide la fuerza electromotriz generada.

55

El documento JP1094201 describe una técnica para medir el grosor de escoria fundida, disponiendo una bobina de generación de campo magnético y un par de bobinas de detección sobre la escoria, y accionando las bobinas de modo que puede aislarse una componente de resistencia indicativa del grosor mediante un dispositivo de medición de impedancia.

60

El documento US2007/173117 da a conocer un diseño de un cabezal de medición para unirse a una lanza, incluyendo el cabezal de medición un sensor de temperatura y un sensor de oxígeno para medir un parámetro correspondiente de la capa de escoria o del metal fundido por debajo de la capa de escoria.

65

El documento US5198749 da a conocer una sonda de muestra que puede hacerse funcionar para aspirar metal fundido a través de un orificio para medir el número y el tamaño de partículas de inclusión no conductoras.

El documento US5827474 da a conocer una técnica para medir la profundidad de acero y escoria fundidos en un recipiente metalúrgico. Una sonda de material eléctricamente conductor tiene un extremo proximal conectado eléctricamente a un voltímetro, y un extremo distal movable entre el suelo del recipiente y la superficie de contacto

aire-escoria o la superficie de contacto escoria-acero en el recipiente. El extremo distal actúa, por tanto, como un electrodo, y la profundidad de acero fundido o la profundidad de la escoria se determina comparando las diferencias en potencial eléctrico detectado por el voltímetro mientras que se anota la posición vertical del extremo distal de la sonda.

5 El documento JP11104797 da a conocer una técnica para evitar el derrame de escoria fundida desde un cucharón durante el sangrado del metal fundido a una artesa. La técnica implica comparar las conductividades eléctricas medidas por un par de electrodos en una parte inferior del cucharón y por un par de electrodos en la artesa. Se toma una desviación en la conductividad medida entre el cucharón y la artesa como una indicación de que la escoria fundida ha alcanzado los electrodos en el cucharón.

10 El documento US4150974 da a conocer una técnica para colocar el tubo respirador de un aparato de desgasificación de vacío por debajo de la superficie de contacto del metal fundido y la escoria en un cucharón. La ubicación de la superficie de contacto se determina desplazando verticalmente un electrodo que está en contacto eléctrico con el material en el cucharón. La posición de la superficie de contacto metal-escoria se determina cuando se nota un cambio en la tensión producida por el electrodo.

15 El documento WO2009/109931 da a conocer una sonda para usar en control de un procedimiento de intercambio de disolvente. A lo largo de su extensión, la sonda porta una serie de pares de varillas de detección para medir resistencia. Sumergiendo la sonda en el interior del material sometido al procedimiento de intercambio, puede determinarse un perfil de resistividad a lo largo de la longitud de la sonda.

20 En algunos procedimientos de fundido/refinado, el recipiente contiene varias capas de material, así como áreas de cambio gradual o mezcla de material. Por ejemplo, en procedimientos para fundir cobre o platino, se conoce que existe una gran zona de mezclado entre la capa de escoria y la mata. En la actualidad, no existe una técnica versátil para estudiar mediante sonda cualquier parte del material objetivo en un recipiente metalúrgico, por ejemplo, con el objetivo de analizar la presencia y/o locación de diferentes zonas/capas, tales como capas de material y zonas de mezclado ubicadas por debajo de una capa de escoria en el recipiente. Una técnica de este tipo tendría un gran valor, por ejemplo, para la toma de decisiones y optimización de procedimientos.

25 En la medida en que pueden aplicarse las técnicas propuestas en los documentos anteriormente mencionados US5827474, JP11104797, US4150974 y WO2009/109931 para tal uso, todas estas técnicas dependen de sondas con electrodos/varillas de detección que deben estar en contacto galvánico directo con el material objetivo en el recipiente metalúrgico. Las sondas de este tipo tendrán una sensibilidad elevada a depósitos y contaminaciones, así como a una vida potencialmente reducida puesto que los electrodos/varillas de detección están expuestos directamente a los entornos severos en el recipiente.

Sumario

40 Es objeto de la invención superar al menos parcialmente una o más de las limitaciones anteriormente identificadas de la técnica anterior.

45 Este y otros objetos, que pueden aparecer a partir de la descripción a continuación, se consiguen, al menos parcialmente, por medio de un método para habilitar la identificación de zona, un producto de programa informático, un medio legible por ordenador, dispositivos para habilitar la identificación de zona, y una planta de procesamiento según las reivindicaciones independientes, estando definidas las realizaciones de las mismas por las reivindicaciones dependientes.

50 Un primer aspecto de la invención es un método para estudiar mediante sonda un material objetivo eléctricamente conductor en un recipiente metalúrgico. El método comprende las etapas de: adquirir una señal de medición a partir de un sensor, que se inserta en el interior del material objetivo, durante un desplazamiento relativo entre el material objetivo eléctricamente conductor y el sensor, siendo la señal de medición indicativa de la conductividad eléctrica en las proximidades del sensor; y generar, basándose en la señal de medición, un perfil de señal indicativo de la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo. El método comprende además las etapas de hacer funcionar al menos una bobina en el sensor para generar un campo electromagnético alrededor del sensor, y generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en el campo electromagnético.

60 El método es versátil hasta el punto de que permite estudiar con sonda la distribución interna del material objetivo en el recipiente a cualquier nivel de detalle, mediante el perfil de señal que contiene varios valores de medición para diferentes posiciones relativas entre el material objetivo y el sensor, en el que puede ajustarse el nivel de detalle ajustando el número de valores de medición. El método por tanto tiene la capacidad de proporcionar información acerca de zonas/capas que difieren en, por ejemplo, composición de materia, grado de fusión, grado de mezclado, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, puede generarse el perfil de señal para ser indicativo de la conductividad eléctrica en el material objetivo por debajo de una capa de material superior, que puede ser una capa de escoria. Por ejemplo, el perfil de señal generado puede habilitar el estudio mediante sonda por debajo de una capa de escoria, por ejemplo, para detectar la presencia de una o más zonas y/o para determinar la

ubicación/extensión de tal(es) zona(s).

Al generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en un campo electromagnético alrededor del sensor, que se crea haciendo funcionar al menos una bobina en el sensor, no hay necesidad de que haya contacto galvánico directo entre el sensor y el material objetivo. La(s) bobina(s) puede(n) por tanto envolverse en una envoltura que protege la(s) bobina(s) y cualquier componente electrónico asociado de los entornos severos dentro del recipiente. Cualquier depósito y contaminación en la superficie de la envoltura tendrá poco impacto, o al menos uno limitado en la precisión del perfil de señal resultante. También es posible, que para evitar que material o escoria fundidos se adhieran a la superficie de la envoltura, se disponga una o más camisas protectoras alrededor de la envoltura, estando diseñadas las camisas para consumirse durante la medición. Las camisas protectoras pueden estar hechas, por ejemplo, de cartón, que se quemará gradualmente durante la medición, por tanto, retirando automáticamente depósitos de la superficie de la envoltura.

En determinadas realizaciones, el perfil de señal es indicativo de la conductividad eléctrica en el material objetivo por debajo de una capa de material superior, por lo cual el perfil de señal habilita la identificación de una o más zonas en el material objetivo por debajo de la capa de material superior.

En determinadas realizaciones, el perfil de señal se genera para ser indicativo de un cambio relativo en la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo.

En determinadas realizaciones, el material objetivo es un material fundido a una temperatura en el intervalo de 600-2000 °C.

En determinadas realizaciones, el material objetivo comprende al menos dos zonas que difieren por, al menos, una de: una composición de materia, un grado de fundido, y un grado de mezclado.

Un segundo aspecto de la invención es un medio legible por ordenador que comprende instrucciones de programa que, cuando un procesador las ejecuta, realizan el método del primer aspecto.

Un tercer aspecto de la invención es un producto de programa informático que puede cargarse en una memoria de un dispositivo informático para realizar el método del primer aspecto.

Un cuarto aspecto de la invención es un dispositivo para estudiar mediante sonda un material objetivo eléctricamente conductor en un recipiente metalúrgico. El dispositivo comprende medios para adquirir una señal de medición a partir de un sensor, que se inserta en el interior del material objetivo, durante un desplazamiento relativo entre el material objetivo eléctricamente conductor y el sensor, siendo la señal de medición indicativa de conductividad eléctrica en las proximidades del sensor; medios para generar, basándose en la señal de medición, un perfil de señal indicativo de la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo. El dispositivo comprende además medios para hacer funcionar al menos una bobina en el sensor para generar un campo electromagnético alrededor del sensor, y medios para generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en el campo electromagnético.

Un quinto aspecto de la invención es un dispositivo para estudiar mediante sonda un material objetivo eléctricamente conductor en un recipiente metalúrgico. El dispositivo comprende: un controlador configurado para adquirir una señal de medición a partir de un sensor, que se inserta en el interior del material objetivo, durante un desplazamiento relativo entre el material objetivo eléctricamente conductor y el sensor, siendo la señal de medición indicativa de conductividad eléctrica en las proximidades del sensor; y un procesador de señal configurado para generar, basándose en la señal de medición, un perfil de señal indicativo de la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo. El controlador está configurado además para hacer funcionar al menos una bobina en el sensor para generar un campo electromagnético alrededor del sensor, y para generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en el campo electromagnético.

Un sexto aspecto es una planta para el procesamiento de un material objetivo eléctricamente conductor, que comprende: un recipiente metalúrgico configurado para contener el material objetivo; una lanza; un sensor unido a la lanza y configurado para detectar la conductividad eléctrica; un mecanismo de accionamiento conectado mecánicamente a la lanza y configurado para mover la lanza con respecto al material objetivo; y el dispositivo según el cuarto o quinto aspecto.

Puede combinarse una cualquiera de las realizaciones del primer aspecto con los aspectos segundo al sexto.

Aún otros objetivos, características, aspectos y ventajas de la presente invención aparecerán a partir de la descripción detallada a continuación, a partir de las reivindicaciones adjuntas así como a partir de los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán las realizaciones de la invención a continuación en el presente documento a modo de ejemplo

solamente, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos.

Las figuras 1A-1C son vistas en sección de un recipiente metalúrgico y diferentes escenarios de medición.

5 La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de medición asociado a un mecanismo de accionamiento de lanza.

La figura 3 es una vista lateral de un mecanismo de accionamiento de lanza.

10 La figura 4 es una gráfica de una señal de conductividad y una señal de posición adquiridas por un sistema de medición.

La figura 5 es una vista lateral de un recipiente metalúrgico y un perfil de conductividad que coincide con la extensión del recipiente.

15 La figura 6 es un diagrama de flujo de un método según una realización de la invención.

La figura 7 es una vista lateral de un conjunto de medición en una planta de procesamiento.

20 La figura 8 es un diagrama eléctrico de un sistema de medición de configuración de transceptor.

La figura 9 es un diagrama eléctrico de un sistema de medición de configuración de transmisor-receptor.

La figura 10 es un diagrama eléctrico de un sistema de medición de configuración de transceptor-receptor.

25 La figura 11 es una gráfica de señales de medición obtenidas en el sistema de medición de la figura 10.

La figura 12 es un diagrama eléctrico de un circuito RLC para la detección de señales en una realización.

30 Las figuras 13A-13C indican diferentes disposiciones de bobina en los sistemas de medición de las figuras 9 y 10.

Descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo

35 La figura 1A representa un recipiente 1 metalúrgico que se usa para el procesamiento de materiales eléctricamente conductores, tales como metales o materiales semiconductores. El recipiente 1 metalúrgico puede ser, por tanto, un horno, un fundidor, o cualquier otro recipiente de refinación o retención que se diseña y se usa para extraer un metal de su mena o de algún otro material en bruto tal como chatarra, para producir una aleación de diferentes metales, para purificar un metal o una aleación, para crear cualquier objeto útil a partir de un metal o una aleación, o que se diseña y se usa para el procesamiento correspondiente de materiales semiconductores. Normalmente, el interior del
40 recipiente 1 metalúrgico se calienta hasta temperaturas de aproximadamente 600-2000 °C, o incluso mayores, durante tal procesamiento.

45 A continuación, se describen realizaciones a modo de ejemplo en relación con un fundidor usado en la extracción de cobre. Sin embargo, ha de entenderse que la invención no está de ninguna manera limitada a esta aplicación. A lo largo de la descripción, se usan los mismos números de referencia para identificar elementos correspondientes.

50 Puede producirse cobre a partir de una mena que contiene cobre, por ejemplo CuFeS_2 , normalmente después del enriquecimiento en un procedimiento de flotación. En uno de muchos de los procedimientos disponibles para la extracción de cobre, la mena enriquecida se procesa en un fundidor en presencia de aire, caliza y arena. En este caso, el oxígeno en el aire reacciona selectivamente con el hierro para formar óxido de hierro, FeO , y deja el cobre en forma de sulfuro, CuS . El dióxido de silicio en la arena reacciona con la caliza y el óxido de hierro para formar escoria, FeSiO_3 y CaSiO_3 . Al mismo tiempo el azufre en exceso en la mena reduce el sulfuro de cobre (II), CuS , a sulfuro de cobre (I), Cu_2S , que se funde y se sangra en el fondo del fundidor. La escoria es menos densa y flota en la
55 parte superior.

60 El sulfuro de cobre (I) fundido, llamado mata de cobre, se lleva al interior de un horno convertidor, en el que el aire que contiene oxígeno se insufla a través de la mata de cobre para oxidar los iones de sulfuro a dióxido de azufre. Al mismo tiempo, algunos de los iones de sulfuro reducen los iones de cobre (I) a metal de cobre blíster impuro. Se usa un calentamiento final en un horno anódico para quemar el oxígeno restante del metal de cobre blíster.

65 Puede observarse que el recipiente 1 en la figura 1A representa el fundidor usado para el procesamiento de la mena enriquecida, y que tiene un canal 2 de colada para el sangrado de la mata de cobre del recipiente 1. Durante el procesamiento, una capa S de escoria se forma encima del material fundido. Se sabe que la mata de cobre se forma en una capa (zona) M1 de mata en el fondo del recipiente 1, y que existe una zona M2 de mezclado o transición entre la capa M1 de mata y la capa S de escoria. La zona M2 de mezclado tiene un contenido variable e inferior de cobre que la capa M1 de mata. Por razones de habilitar un control de procedimiento mejorado, por ejemplo, para

controlar el sangrado, o de otra manera controlar u optimizar el procedimiento de extracción de cobre, es deseable identificar la extensión de la zona M2 de mezclado, la ubicación del borde BL entre la zona M2 de mezclado y la capa M1 de mata, o para cuantificar la cantidad de mata de cobre en el recipiente.

5 En la figura 1B, una unidad 4 de sensor está montada en un vástago de sujeción o lanza 5 que se controla para el desplazamiento en al menos la dirección vertical (z). Tal como se indica, la lanza 5 puede desplazarse también en las direcciones horizontales (plano xy). La unidad 4 de sensor está configurada para detectar la conductividad eléctrica del material localmente circundante. Aunque no se muestra en la figura 1B, la unidad 4 de sensor está incluida en un sistema de medición que genera un perfil de señal que representa la distribución de conductividad dentro del material M que se está procesando en el recipiente 1 (también denominado "material objetivo" en el presente documento). Este perfil de señal se denomina también "perfil de conductividad" a continuación.

15 Tal como se indica por las líneas F de campo en la figura 1B, la unidad 4 de sensor puede funcionar generando un campo electromagnético oscilante o que varía en el tiempo que se extiende en el interior del material circundante. Se describirá en detalle más a continuación la estructura y el funcionamiento de un sistema de medición que incluye una unidad de sensor de este tipo.

El perfil de conductividad puede usarse para identificar las zonas M1, M2 dentro del material fundido por debajo de la capa S de escoria. Teniendo en cuenta la elevada temperatura del material fundido, la unidad 4 de sensor puede sumergirse normalmente en el material fundido sólo durante un tiempo breve, normalmente del orden de 30-90 segundos. Para proteger la unidad 4 de sensor, puede rodearse la porción extrema frontal de la lanza 5 con una o más camisas protectoras (no mostradas), por ejemplo, realizadas de cartón y/o material cerámico.

25 La generación del perfil de conductividad comienza haciendo descender la unidad 4 de sensor desde una posición suspendida para penetrar en la capa S de escoria y entrar en el material fundido. Después, la lanza 5 se mueve dentro del material fundido, mientras que se obtienen una pluralidad de valores de medición por medio de la unidad 4 de sensor. La combinación 4, 5 de unidad de sensor y lanza se retira después del material fundido. Los valores de medición se procesan para formar el perfil de conductividad, que indica, por tanto, la distribución de conductividad eléctrica en el recipiente ("perfil de conductividad espacial"). Una distribución de este tipo puede usarse a su vez para identificar la ubicación de la zona M2 de mezclado y la capa M1 de mata, respectivamente.

35 Ha de observarse que el perfil de conductividad puede generarse para indicar sólo cambios relativos en la conductividad dentro del material fundido. También ha de entenderse que el perfil de conductividad puede contener más o menos datos cualitativos, es decir, datos afectados por fuentes de error tales como variaciones de temperatura desconocidas, errores de medición, etc. Sin embargo, la calidad de los datos es suficiente para identificar diferentes zonas M1, M2 y límites BL dentro del material fundido. Si el sistema de medición está configurado para obtener un valor de referencia de la conductividad (véase a continuación), el perfil de conductividad puede generarse para representar la conductividad absoluta en el material fundido.

40 La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema 10 de medición usado para obtener el perfil de conductividad en la realización de la figura 1B. Una unidad 11 de desplazamiento está conectada mecánicamente a y configurada para controlar el desplazamiento de la lanza/unidad de sensor 5, 4. El sistema 10 de medición incluye una unidad 12 de detección de posición, que está dispuesta para generar una señal de posición que indica la posición (absoluta o relativa) momentánea de la lanza 5 (o la unidad 4 de sensor). Un controlador 13 de medición está conectado para procesar una señal eléctrica generada por la unidad 4 de sensor y para emitir una señal de medición directamente o indirectamente representativa de la conductividad eléctrica. Una unidad 14 de procesamiento está conectada para recibir y procesar la señal de posición y la señal de medición para la generación del perfil de conductividad.

50 La figura 1C ilustra otro escenario para generar un perfil de conductividad en un recipiente 1 metalúrgico. Como en la figura 1B, la unidad 4 de sensor se desplaza para penetrar en la capa S de escoria. Sin embargo, la unidad 4 de sensor se mueve directamente a una posición dentro del recipiente 1 en la que permanece fija después. Se obtiene una pluralidad de valores de medición por medio de la unidad 4 de sensor en esta posición, mientras que el material fundido se sangra del recipiente 1 en una ubicación por debajo de la unidad 4 de sensor, en este caso desde el canal 2 en el fondo del recipiente 1. El sangrado de material fundido genera un movimiento relativo entre la unidad 4 de sensor y el material fundido. Por tanto, los valores de medición obtenidos durante el procedimiento de sangrado pueden procesarse para la generación de un perfil de conductividad que puede usarse para identificar la ubicación de las zonas M1, M2 dentro del material fundido. En este caso, el perfil de conductividad se da normalmente en función del tiempo ("perfil de conductividad temporal"), puesto que el tiempo es representativo del movimiento de la unidad 4 de sensor en relación con el material fundido. Ha de tenerse en cuenta que el sistema 10 de medición en la figura 2 puede usarse para obtener el perfil de conductividad en el escenario de medición de la figura 1C.

65 También se conciben combinaciones de los escenarios en las figuras 1B y 1C. Por ejemplo, puede generarse un perfil de conductividad espacial para identificar una o más zonas M1, M2 en el recipiente 1, y después la unidad 4 de sensor puede colocarse en relación con estas zonas M1, M2 para la generación de un perfil de conductividad temporal durante un procedimiento de sangrado.

Asimismo, puede usarse cualquier tipo de unidad 11 de desplazamiento para impartir el movimiento deseado a la lanza/unidad de sensor 5, 4. La figura 3 ilustra un ejemplo de una unidad 11 de desplazamiento que está configurada para mover la lanza 5 en dirección vertical (z dirección). La unidad 11 de desplazamiento comprende un cabrestante 20 accionado por motor que se une a una viga 21 fija y que puede hacerse funcionar para enrollar y desenrollar un cable 22 metálico (o cadena) conectado a la lanza. El cable 22 metálico se sujeta por una polea 23, que fija la posición de la lanza en dirección horizontal (plano xy). Aunque la unidad 11 de desplazamiento ilustrada está configurada para limitar el movimiento de la lanza en dirección vertical, ha de tener en cuenta que el movimiento en direcciones horizontales puede habilitarse mediante control de la ubicación de la polea 23 o la viga 21. En el ejemplo ilustrado, se une a la lanza una unidad 12 de detección de posición en forma de un sensor de cable para emitir una señal de posición que indica la posición vertical de la lanza. El sensor 12 de cable detecta y mide una posición (quasi)lineal usando un cable 24 flexible que se une a la lanza y que se desenrolla desde un carrete de resorte (no mostrado) mientras que la lanza se hace descender en dirección vertical. La posición de la lanza puede darse en cualquier sistema de coordenadas. Se concibe que la unidad 12 de detección de posición está precalibrada para indicar la posición de la unidad de sensor en un sistema de coordenadas del recipiente, por ejemplo, en unidades de posición medidas desde el fondo del recipiente (cf. xyz en la figura 1). Generalmente, sin embargo, la señal de posición indica la posición de la lanza en un sistema de coordenadas local en la unidad 12 de detección de posición, y el procesador 14 de señal (figura 2) necesita acceder a los datos de calibración para convertir la señal de posición en un sistema de coordenadas de recipiente.

Ha de entenderse que puede usarse cualquier tipo adecuado de unidad 12 de detección de posición, tal como un codificador conectado al cabrestante 20 o su motor de accionamiento o cualquier forma de unidad de detección de posición remota, tal como un telémetro láser. Alternativamente, la señal de posición puede darse por una señal de control para el motor de accionamiento.

Se concibe que el procesador 14 de señal genera el perfil de conductividad espacial sin acceder a una señal de posición externa. Por ejemplo, si la lanza 5 se desplaza a una velocidad constante y conocida (preestablecida) en dirección vertical, los valores de medición pueden asociarse con una posición vertical en el recipiente 1 basándose en una única posición de referencia. Por ejemplo, si el inicio o parada del movimiento de la lanza puede detectarse en la secuencia de valores de medición, el punto de tiempo de cada valor de medición puede convertirse en una posición en el recipiente 1, basándose en la velocidad de desplazamiento conocida de la lanza y una ubicación de inicio/parada conocida. Se explican a continuación posiciones de referencia alternativas en relación con las figuras 4 y 5.

La figura 4 es una gráfica que ilustra una señal 40 de conductividad (señal de medición) y una señal 42 de posición obtenida en la realización de la figura 1B. La señal 40 de conductividad representa el cambio relativo de conductividad eléctrica en función del tiempo, y la señal de posición representa la posición momentánea de la lanza/unidad de sensor 5, 4 tal como se mide por la unidad 12 de detección de posición. En este ejemplo, se obtiene la señal 40 de conductividad mientras que se hace descender la lanza 5 en la figura 1B en el interior del recipiente 1 hasta que la lanza 5 está en contacto con la superficie inferior del recipiente 1. Después, la unidad 11 de desplazamiento se da marcha atrás y la lanza 5 se retira en dirección vertical a través del material fundido y fuera del recipiente 1. Siempre que la unidad 4 de sensor esté intacta, es posible obtener una señal de conductividad correspondiente (no mostrada) durante la retirada de la lanza 5. En una implementación, se hacen coincidir y combinan señales 40 de conductividad obtenidas durante el descenso/la inmersión y elevación/retirada, respectivamente, para reducir la influencia del ruido de medición y otros errores de medición (por ejemplo, sumando, promediando, etc.) y/o para aumentar la resolución espacial del perfil de conductividad (por ejemplo, combinando valores de conductividad adquiridos en diferentes posiciones a lo largo de la trayectoria del sensor). También se concibe que la lanza 5 se mueve a lo largo de la misma trayectoria un gran número de veces con el fin de producir un conjunto de señales 40 de conductividad, una para cada paso, que pueden combinarse para proporcionar un perfil de conductividad adicionalmente mejorado.

Las flechas A-D indican diferentes bordes/superficies de contacto que pueden identificarse basándose en la señal de conductividad. La flecha A indica un cambio pequeño en la conductividad que corresponde a la unidad 4 de sensor que pasa a través de la parte superior de la capa S de escoria. La interrupción aparentemente extraña en la señal 42 de posición en la entrada a la capa S de escoria está provocada por el hecho de que se tuvo que golpear la lanza 5 manualmente para romper la capa S de escoria solidificada.

La flecha B indica que la unidad 4 de sensor está entrando en la zona M2 de mezclado, que se evidencia por la conductividad en aumento. La flecha C indica que la unidad 4 de sensor está entrando en la capa M1 de mata, puesto que cesa esencialmente el aumento de la conductividad. Mientras que la unidad 4 de sensor atraviesa la capa M1 de mata, la conductividad permanece esencialmente constante hasta que la unidad 4 de sensor alcanza la superficie inferior del recipiente 1 (flecha D). Se observa que la señal de conductividad es realmente útil para identificar diferentes zonas M1, M2 y límites BL en el material fundido.

Se entiende que puede obtenerse el perfil de conductividad espacial haciendo coincidir puntos de tiempo en el perfil 40 de conductividad con puntos de tiempo en la señal 42 de posición.

Puesto que la ubicación de la parte superior de la capa S de escoria puede detectarse en la señal 40 de conductividad (flecha A), puede usarse esta ubicación para calibrar la señal 40 de conductividad en un sistema de coordenadas de recipiente, sin necesitar una señal 42 de posición. Esto asume que se conoce la ubicación de la superficie superior de la capa S de escoria, por ejemplo, determinada por un sistema de medición suplementario, y que la lanza 5 se desplaza a una velocidad conocida y fija.

La figura 5 ilustra una realización en la que la unidad 4 de sensor pasa por una región 1' de conductividad conocida durante la sesión de medición. Esto permite la calibración de la señal/perfil de conductividad en conductividad absoluta. Siempre que el sistema de medición se controle para adquirir un valor de medición cuando la unidad 4 de sensor pasa por la conductividad conocida, es posible convertir todos valores de medición en conductividad absoluta.

La región 1' de conductividad conocida puede estar dada por el material que define el borde de una abertura existente en el techo del recipiente 1 metalúrgico. Alternativamente, puede disponerse un elemento dedicado de conductividad conocida a lo largo de la trayectoria de la unidad 4 de sensor para permitir la calibración en conductividad absoluta.

También ha de tenerse en cuenta que si se conoce la posición del material de conductividad conocida, puede usarse esta posición para calibrar la señal 40 de conductividad en un sistema de coordenadas de recipiente, sin necesitar una señal 42 de posición, siempre que la lanza 5 se desplace a una velocidad conocida y posiblemente fija.

La figura 5 contiene también un gráfica que ilustra un perfil de conductividad espacial delimitado a un sistema de coordenadas de recipiente. En el perfil de conductividad, los puntos oscuros indican un perfil de conductividad alternativo que se obtiene muestreando sólo tres valores de conductividad en el material fundido (y un valor de medición con conductividad conocida, a efectos de calibración). Ha de tenerse en cuenta que incluso un perfil de densidad tan bajo puede ser útil para indicar la ubicación y extensión aproximadas de la capa M1 de mata, especialmente si se da el perfil de conductividad en conductividad absoluta. Generalmente, ha de entenderse que un "perfil de señal" o "perfil de conductividad", tal como se usa en el presente documento, comprende al menos dos valores de medición tomados en diferentes posiciones relativas entre la unidad 4 de sensor y el material M objetivo, y normalmente al menos 5 valores de medición. En la mayoría de situaciones prácticas, los valores de medición se muestrean a una tasa de 1-100 Hz, lo que produce 30-3000 valores de medición para una sesión de medición con una duración de 30 segundos.

Se sabe que la conductividad eléctrica es dependiente de la temperatura. En metales, la conductividad eléctrica disminuye cuando aumenta la temperatura, mientras que en semiconductores, la conductividad eléctrica aumenta cuando aumenta la temperatura. Dentro de un intervalo de temperatura limitado, la conductividad eléctrica puede aproximarse como si fuera directamente proporcional a la temperatura. Para comparar mediciones de conductividad eléctrica a diferentes temperaturas, deben estandarizarse a una temperatura común. Esta dependencia a menudo se expresa como una pendiente en la gráfica de conductividad-temperatura, que puede escribirse como:

$$\sigma_{T'} = \frac{\sigma_T}{1 + \alpha(T - T')}$$

donde T es la temperatura absoluta medida, T' es la temperatura común, $\sigma_{T'}$ es la conductividad eléctrica a la temperatura común, σ_T es la conductividad eléctrica a la temperatura medida T , y α es la pendiente de compensación de temperatura del material.

Por tanto, si se espera que la pendiente de compensación de temperatura α del material fundido sea significativa dentro del intervalo de temperaturas observado en el recipiente 1, o más bien a lo largo del trayecto de movimiento de la unidad 4 de sensor durante la sesión de medición, puede ser deseable instalar uno o más sensores de temperatura, tales como termopares, en la lanza 5, por ejemplo, en las proximidades de la unidad 4 de sensor. Después, el sistema 10 de medición puede obtener datos de temperatura a partir de los sensores de temperatura durante la medición de conductividad, y corregir los valores de medición de manera consecuente. Puede aplicarse una corrección de tal tipo a valores de conductividad relativa, o formar parte del cálculo de valores de conductividad absoluta.

La figura 6 muestra un ejemplo de un método llevado a cabo durante una sesión de medición para estudiar mediante sonda o investigar el material M objetivo en el recipiente. En la etapa 60, se activa la unidad 11 de desplazamiento para accionar la lanza 5 y la unidad 4 de sensor a través de la capa S de escoria y al interior del material fundido, y después se crea el movimiento relativo desplazando la unidad 4 de sensor y/o el material M objetivo (mediante sangrado). En la etapa 62, se hace funcionar el controlador 13 de medición para adquirir la señal de medición desde la unidad 4 de sensor durante el movimiento relativo. En la etapa 64, el procesador 14 de señal genera el perfil de conductividad. En la etapa 66, el procesador 14 de señal emite el perfil de conductividad, o procesa y/o visualiza el perfil de conductividad, por ejemplo, para la identificación de la presencia y/o ubicación de diferentes zonas/capas S, M1, M2 en el material M objetivo.

El movimiento de la unidad 4 de sensor y/o el material fundido en la etapa 60 puede estar, pero no tiene por qué, directamente o indirectamente controlado por el procesador 14 de señal. Sin embargo, adquiriendo la señal de posición anteriormente mencionada, o por la calibración de posición anteriormente mencionada mediante una o más posiciones de referencia, el funcionamiento del procesador 14 de señal y el controlador 13 de medición puede ejecutarse independientemente del desplazamiento de la unidad 4 de sensor o el material fundido. Por tanto, el sistema 10 de medición puede ajustarse a una planta de procesamiento, sin requerir ningún cambio de cualquier mecanismo de accionamiento de lanza o mecanismo de sangrado existentes.

Ha de entenderse que puede usarse el método en la figura 6 para investigar el material M objetivo con independencia de los tipos de capas/zonas. Por tanto, el método de estudio mediante sonda puede dar información acerca de la capa S de escoria y/o cualquier número de zonas M1, M2 por debajo de la capa S de escoria. En las realizaciones determinadas, por ejemplo, tal como se describen anteriormente, el método de estudio mediante sonda está diseñado en primer lugar para obtener un perfil de conductividad por debajo de la capa S de escoria en el material M objetivo. Sin embargo, la capa S de escoria no tiene que ubicarse en la parte superior del material M objetivo. Por ejemplo, en la fabricación de sílice, la capa de escoria se forma en el fondo del horno/fundidor usado en el procedimiento de reducción. En una aplicación de este tipo, el método de estudio mediante sonda puede usarse, por tanto, para obtener un perfil de conductividad sobre la capa S de escoria en el material M objetivo. El método de estudio mediante sonda puede usarse también para obtener un perfil de conductividad en un material objetivo sin una capa de escoria.

Ha de entenderse que la funcionalidad del controlador 13 y el procesador 14 de señal puede implementarse mediante un único dispositivo. En todas las configuraciones, puede proporcionarse la totalidad o parte de la funcionalidad mediante hardware dedicado y/o mediante software (o firmware) de propósito especial ejecutado en uno o más dispositivos informáticos de propósito general o propósito especial. En este contexto, ha de entenderse que cada "elemento" o "medios" de un dispositivo informático de este tipo se refiere a una equivalencia conceptual de una etapa de método; no siempre existe una relación biunívoca entre los elementos/medios y piezas particulares de rutinas de hardware o software. Una pieza de hardware a veces comprende diferentes medios/elementos. Por ejemplo, una unidad de procesamiento sirve como un elemento/medio cuando se ejecuta una instrucción, pero sirve como otro elemento/medio cuando se ejecuta otra instrucción. Además, puede implementarse un elemento/medio mediante una instrucción en algunos casos, pero mediante una pluralidad de instrucciones en algunos otros casos. Un dispositivo informático de este tipo controlado por software puede incluir una o más unidades de procesamiento, por ejemplo, una CPU ("unidad de procesamiento central"), un DSP ("procesador digital de señales"), un ASIC ("circuito integrado de aplicación específica"), componentes digitales y/o analógicos discretos, o algún otro dispositivo lógico programable, tal como un FPGA ("arreglo de compuertas programables en el campo"). El dispositivo informático puede incluir además una memoria de sistema y un bus de sistema que acopla diversos componentes de sistema que incluyen la memoria de sistema a la unidad de procesamiento. El bus de sistema puede ser cualquiera de los varios tipos de estructuras de bus que incluyen un bus de memoria o controlador de memoria, un bus periférico, y un bus local que usan cualquiera de una variedad de arquitecturas de bus. La memoria de sistema puede incluir medios de almacenamiento informático en forma de una memoria volátil y/o no-volátil tal como una memoria de sólo lectura (ROM), una memoria de acceso aleatorio (RAM) y una memoria flash. El software de propósito especial puede almacenarse en la memoria de sistema, o en otros medios de almacenamiento informático extraíbles/no extraíbles y volátiles/no volátiles que se incluyen en o son accesibles para el dispositivo informático, tales como medios magnéticos, medios ópticos, tarjetas de memoria flash, cinta digital, RAM de estado sólido, ROM de estado sólido, etc. El dispositivo informático puede incluir una o más interfaces de comunicación, tales como una interfaz de serie, una interfaz en paralelo, una interfaz de USB, una interfaz inalámbrica, un adaptador de red, etc., así como uno o más dispositivos de adquisición de datos, tales como un convertidor A/D. El software de propósito especial puede proporcionarse al dispositivo informático en cualquier medio legible por ordenador adecuado, incluyendo un medio de registro, una memoria de sólo lectura, o una señal portadora eléctrica.

El perfil de conductividad puede usarse de muchas maneras diferentes. En una realización, el perfil de conductividad se emite para visualizarlo en una pantalla, por ejemplo, en forma de gráfica, posiblemente sobrepuesta en una ilustración gráfica del recipiente. Esto permitirá que un operador use el perfil de conductividad visualizado como base para el control manual y/u optimización del procedimiento metalúrgico y/o sangrado de material del recipiente. También se concibe que al operador se le permite verificar/introducir la ubicación de una o más zonas basándose en el perfil de conductividad visualizado, por lo cual, el procesador de señal calcula una cantidad de material en el recipiente basándose en la(s) zona(s) identificada(s). Volviendo al ejemplo de procesamiento de cobre, puede calcularse la cantidad de mata de cobre en el recipiente basándose en la extensión de la capa de mata dada por el perfil de conductividad. Cálculos de este tipo pueden tener en cuenta también cualquier acumulación de material en el fondo del recipiente (tal como se muestra en la figura 5). La extensión de la acumulación puede estimarse basándose en la señal de posición, por ejemplo, comparando la posición cuando la lanza golpea el fondo aparente del recipiente a una posición de referencia obtenida sin ninguna acumulación.

En otra realización, el perfil de conductividad se analiza mediante técnicas de extracción de características de señal, con el objetivo de identificar cambios de etapa, mesetas, etc., que son indicativos de características del material objetivo, tal como la presencia, ubicación o extensión de zonas/capas, tales como zonas de materiales diferentes,

capas y zonas de mezclado dentro del material objetivo. La salida del análisis automático de este tipo puede visualizarse para su uso en el control manual del procesamiento metalúrgico/sangrado o puede introducirse a un sistema para control de procesamiento automático/sangrado o estimación de cantidad automática.

5 La figura 7 es una vista lateral de una instalación para la generación del perfil de conductividad en una planta para la producción de sílice, y específicamente en un horno 1 de retención de escoria usado para limpiar la escoria obtenida a partir de un horno de fundición de escoria. Se dispone un equipo 10' electrónico (por ejemplo el controlador 13 y el procesador 14 de señal) en una plataforma 70 sobre el horno 1. Asimismo, el cabrestante 20 se dispone en un armazón 71 sujetado a la plataforma 70. La polea 23 está fijada a un brazo 72 horizontal del armazón 71 en una posición directamente sobre el saliente 73 en el techo del horno. Por tanto, la lanza 5 puede hacerse funcionar para moverse en dirección vertical hacia el interior y dentro del horno 1. Ha de entenderse que la detección del perfil de conductividad se lleva a cabo en condiciones difíciles y extremas, por ejemplo, temperaturas altas, equipos pesados y a alturas significativas. Por ejemplo, la distancia entre la polea 23 y la parte superior del horno 1 es casi de 7 metros en la instalación ilustrada.

15 Tal como se ha indicado anteriormente, la unidad 4 de sensor funciona generando un campo electromagnético que se extiende por el entorno de la unidad 4 de sensor. Generalmente, la unidad 4 de sensor comprende una o más bobinas para generar el campo electromagnético. Las figuras 8-10 ilustran tres realizaciones diferentes del sistema 10 de medición. Ha de entenderse que la unidad 4 de sensor, que está instalada físicamente en la lanza 5, sólo tiene que contener la(s) bobina(s), mientras que todos los demás componentes para generar el campo electromagnético y la señal de medición pueden incluirse en el controlador 13 (figura 2) que se coloca fuera del recipiente 1. Por ejemplo, la(s) bobina(s) puede introducirse en una envoltura cerámica u otra no magnética y después montarse en o cerca del extremo frontal de la lanza con el cableado a la(s) bobina(s) que pasa de nuevo hacia arriba a través de la lanza (obsérvese la línea discontinua en la figura 2) de modo que puede establecerse una conexión al controlador 13. Sin embargo, también se concibe que determinados o todos los componentes del controlador 13 se incluyan en la unidad 4 de sensor.

La figura 8 ilustra un sistema 10 de medición en el que una única bobina 82 está configurada para actuar como un transceptor, es decir, se usa tanto para generar el campo electromagnético como para medir cambios en el campo electromagnético así generado.

En el ejemplo de la figura 8, el sistema 10 de medición comprende un circuito ("circuito de bobina de transceptor") 80 cerrado con una fuente 81 de tensión para generar una tensión de CA fija a una frecuencia dada, y la bobina 82 conectada en serie con un resistor 83 de precisión. Un amplificador 84 diferencial tiene sus entradas conectadas a terminales en cualquier lado del resistor 83. La salida del amplificador 84 diferencial se conecta a una entrada de un convertidor 85 analógico digital (ADC). La salida del ADC 85 se conecta a la entrada de un filtro 86 digital, que está configurado para aislar una señal de medición a la frecuencia dada de la fuente 81 de tensión. La salida del filtro 86 digital se conecta al procesador 14 de señal que muestrea y procesa la señal de medición para la generación del perfil de conductividad. El procesador 14 de señal se conecta también a la unidad 12 de detección de posición para muestrear y procesar una señal de posición. Tal como se describe a continuación, la señal de medición se genera esencialmente como una medida de la impedancia en el circuito 80 de bobina de transceptor. A continuación, la señal de medición obtenida en el circuito de bobina de transceptor se denomina "señal T".

45 Durante el funcionamiento del sistema 10 de medición, la fuente 81 de tensión se ajusta para generar la tensión de CA fijada, que fuerza, por tanto, una corriente eléctrica a través de la bobina 82 y el resistor 83 de precisión. La corriente que fluye a través de la bobina 82 genera un campo electromagnético alrededor de la bobina 82. La conductividad del material circundante influye en el campo electromagnético y, por tanto, en la inductancia de la bobina 82. Cuando la impedancia (inductancia) de la bobina 82 cambia, también lo hace la magnitud de la corriente eléctrica que fluye a través de la bobina 82. Ha de tenerse en cuenta que la diferencia de potencial sobre el resistor 83 de precisión es representativa de la magnitud de la corriente eléctrica, y por tanto, la conductividad del material circundante. La diferencia de potencial se amplifica mediante el amplificador 84 diferencial, se digitaliza mediante el ADC 85, se filtra mediante el filtro 86 digital y se proporciona como la señal de medición (señal T) al procesador 14 de señal. La magnitud de la señal T (tensión de pico, tensión de pico a pico, tensión de RMS, etc.) es, por tanto, representativa de la conductividad del material circundante. Un ejemplo de la señal T se muestra como la señal 40 de conductividad en la figura 4.

Ha de tenerse en cuenta que la bobina 82 actúa como transmisor y receptor. La bobina 82 se denomina, por tanto, "bobina de transceptor" a continuación, aunque puede denominarse también bobina de transmisor.

60 La figura 9 ilustra un sistema 10 de medición que incluye una bobina 92 de transmisor que puede hacerse funcionar para generar el campo electromagnético, y una bobina 93 de receptor independiente que puede hacerse funcionar para detectar el campo electromagnético y cualquier cambio del mismo. Como la bobina 82 en la figura 8, la bobina 92 de transmisor se incluye en un circuito 90 cerrado ("circuito de bobina de transmisor") y se conecta a una fuente 91 de tensión que genera una tensión de CA fija a una frecuencia dada, provocando por tanto que la bobina 92 genere el campo electromagnético. La bobina 93 de receptor se ubica dentro del rango del campo electromagnético, lo que induce, por tanto, una corriente eléctrica en un circuito 90' de bobina de receptor. La corriente eléctrica

provoca una diferencia de potencial entre las terminales de la bobina 93 de receptor. Esta diferencia de potencial es representativa de la conductividad del medio que rodea las bobinas 92, 93 de transmisor y receptor. La diferencia de potencial se amplifica mediante un amplificador 94 diferencial, se digitaliza mediante un ADC 95, se filtra mediante un filtro 96 digital y se proporciona como una señal de medición al procesador 14 de señal. Como en la figura 8, la magnitud de la señal de medición es representativa de la conductividad del material circundante. En la realización de la figura 9, sin embargo, la señal de medición se genera esencialmente como una medición de la inductancia mutua entre la bobina 92 de transmisor y la bobina 93 de receptor. A continuación, la señal de medición obtenida en el circuito de bobina de receptor se denomina "señal R".

Se ha encontrado que la señal R, comparada con la señal T, es más sensible a los cambios en la conductividad circundante. Actualmente se cree que la señal T representa principalmente los cambios en la fuerza o magnitud del campo electromagnético generado, mientras que la señal R representa también cambios en la extensión o forma del campo electromagnético generado. Como la unidad 4 de sensor se mueve en relación con el material objetivo, y pasa por regiones de diferente conductividad, es probable que la forma de el campo electromagnético generado cambie, provocando cambios correspondientes en la señal R.

La figura 10 ilustra un sistema 10 de medición que es una combinación de los sistemas en las figuras 8 y 9. Por tanto, el procesador 14 de señal recibe una primera señal de medición (señal T) indicativa de la corriente eléctrica que fluye a través de un circuito 80 de bobina de transceptor y una segunda señal de medición (señal R) indicativa de la corriente eléctrica que fluye a través de un circuito 90' de bobina de receptor. Tal como se ha explicado en relación con la figura 8, la corriente eléctrica que fluye a través del circuito 80 de bobina de transceptor está afectada por el entorno de la bobina 82 de transceptor. Este cambio se detectará por el circuito 90' de bobina de receptor. Sin embargo, el circuito 90' de bobina de receptor detectará también cambios en la inductancia mutua entre la bobina 82 de transceptor y la bobina 93 de receptor. Al proporcionar tanto la primera como la segunda señal de medición al procesador 14 de señal, el procesador 14 de señal es capaz de diferenciar entre estos efectos para proporcionar una representación más precisa y/o más robusta de la conductividad del material circundante.

La figura 11 es una representación de una señal 110 T, una señal 112 R, y una señal 114 de posición obtenidas en función del tiempo mientras que hace descenderse la lanza 5 (y unidad 4 de sensor) al interior de un recipiente metalúrgico. La señal 114 de posición representa la distancia a partir de una posición de inicio sobre el recipiente. Ha de tenerse en cuenta que la señal 110 T, que se ha autoescalado en relación con la señal 112 R, es al menos un orden de magnitud más débil que la señal R. Las señales 110, 112 son señales en bruto que no se han procesado para representar la conductividad, tal como se observa por el hecho de que la señal 110 T aumenta mientras que la señal 112 R disminuye. Sin embargo, el comportamiento temporal de cada señal 110, 112 refleja cambios en la conductividad circundante. La flecha A indica el momento en que la unidad 4 de sensor pasa a través del techo del recipiente, que puede detectarse en ambas señales 110, 112. La flecha B indica el momento en que la unidad de sensor alcanza la capa de escoria (S en la figura 1), que puede detectarse el comienzo de una disminución gradual en la señal 112 R. También puede detectarse como un cambio pequeño en la señal 110 T. En el ejemplo ilustrado, la flecha B se establece en el momento en que la señal R alcanza el 99% de una referencia, que se obtiene promediando la señal R a lo largo de un periodo ΔT de tiempo cuando la unidad de sensor está en el recipiente sobre el material objetivo. En una variante, la flecha B puede establecerse en el momento en que la señal T alcanza el 100,05% de una referencia correspondiente obtenida promediando la señal T a lo largo de un periodo ΔT de tiempo. La flecha C indica el momento en que la unidad de sensor alcanza en primer lugar la capa de mata (M1 en la figura 1), representada por un cambio pronunciado en las señales 110, 112. En el ejemplo ilustrado, la flecha C se establece en el momento en que la señal R alcanza el 50% de la referencia anteriormente mencionada. En una variante, la flecha C puede establecerse en el momento en que la señal 110 T alcanza el 102% de la referencia relevante. La flecha D indica cuando las bobinas de la unidad de sensor están completamente sumergidas en la capa de mata, que puede detectarse como una redistribución en las señales 110, 112, y en particular al final de un subimpulso en la señal 112 R. Aunque no se indica en la figura 11, puede detectarse una zona de mezclado (M2 en la figura 1) en la señal R y/o la señal T entre las flechas B y C.

Ha de tenerse en cuenta que la disponibilidad de tanto la señal 110 T como la señal 112 R hace posible que el procesador 14 de señal, por ejemplo basándose en la extracción de características de señal automática, o el operador mediante inspección visual de las señales, correlacione características de señal que se producen en ambas señales 110,112 con el fin de mejorar el análisis del material objetivo, por ejemplo, para identificar las ubicaciones de superficies de contacto o para derivar un perfil de conductividad absoluta o relativa. También puede ser posible extraer información suplementaria de las curvas 110, 112, es decir, información relacionada con diferentes características del recipiente y/o el material objetivo.

Además, dependiendo de la colocación relativa de las bobinas 82, 93, de transceptor y receptor, el procesador 14 de señal o el operador pueden ser capaces de determinar la ubicación aproximada de un cambio local en la conductividad, que puede usarse, por ejemplo, para detectar y/o proporcionar una medición del quemado de la camisa protectora anteriormente mencionada durante la sesión de medición, y/o usarse en la generación del perfil de conductividad.

Por tanto, se ha encontrado que el uso de un circuito 90' de bobina de receptor, tal como se ejemplifica en las

figuras 9 y 10, puede servir para mejorar las mediciones de conductividad. Por otro lado, se ha encontrado que la realización en la figura 8 sólo con un circuito de bobina de transceptor, puede exhibir una insensibilidad mejorada a las perturbaciones eléctricas/electromagnéticas comparado con las realizaciones en las figuras 9 y 10. Pueden generarse las perturbaciones de este tipo, por ejemplo, mediante elementos de calentamiento eléctricos en un fundidor/horno eléctrico.

El experto en la técnica se da cuenta de que la fuente 81, 91 de tensión fija en los sistemas 10 de medición de las figuras 8-10 puede sustituirse por una fuente de corriente fija, y que los filtros 86, 96 digitales pueden sustituirse por filtros analógicos.

En una variante (no mostrada), el procesador 14 de señal recibe señales de medición que indican la corriente eléctrica en el circuito 80, 90 de bobina de transceptor/transmisor y la tensión a través de la bobina 82, 92 de transceptor/transmisor. Basándose en estas señales de medición, el procesador 14 de señal puede calcular la diferencia de fase entre la tensión y la corriente en el circuito 80, 90 de bobina de transceptor/transmisor. Esta diferencia de fase cambiará cuando la conductividad cambie en el entorno de la bobina 82, 92, y el procesador 14 de señal puede usar la diferencia de fase para determinar la conductividad en el material circundante. También se concibe combinar una medición de diferencia de fase de este tipo con la medición de la impedancia en el circuito 80, 90 de bobina de transmisor/transceptor (figuras 8 y 10) y/o la medición de la inductancia mutua (figuras 9 y 10) para mejorar adicionalmente la medición de la conductividad.

En otra variante (no mostrada), la bobina 82, 92 de transmisor/transceptor y/o la bobina 93 de receptor se conectan en un circuito resonante, tal como un circuito RLC tal como se muestra en la figura 12. Un circuito RLC comprende una fuente 97 de suministro, una resistencia R (representada por un resistor 98), una capacitancia C (representada por un capacitor 98), y una inductancia L (incluida la bobina 82, 92, 93), que se conectan en serie (tal como se muestra) o en paralelo. La frecuencia de resonancia f_0 del circuito RLC está dada por

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La inductancia L de la bobina 82, 92, 93 cambiará con la conductividad del material circundante, y por tanto, puede determinarse la conductividad midiendo la frecuencia de resonancia f_0 . Se dispone comercialmente del conjunto de circuitos para medir la frecuencia de resonancia en circuitos RLC.

En todas las realizaciones, variantes y alternativas anteriores puede optimizarse la resolución de la conductividad medida ajustando la frecuencia de la bobina 82, 92 de transmisor/transceptor (es decir, la frecuencia de la corriente/tensión de CA que acciona la generación del campo electromagnético) a un recipiente 1 en particular y el material M objetivo en el mismo. Realizaciones de la invención pueden funcionar a frecuencias en el intervalo de aproximadamente 1-1000 kHz, y normalmente en el intervalo de aproximadamente 1-100 kHz. También se concibe diseñar el sistema 10 de medición para que funcione a más de una frecuencia, por ejemplo, instalando varios circuitos 80, 90 de bobina de transmisor/transceptor en la lanza 5 para que funcionen a una frecuencia respectiva, por lo cual el procesador 14 de señal se conecta para recibir señales de medición obtenidas a las diferentes frecuencias. Esto puede servir para mejorar la calidad del perfil de conductividad.

Además, incluso si la descripción anterior se refiere a bobinas individuales, ha de entenderse que la bobina 82, 92, 93 de transmisor/transceptor/receptor puede formarse como una combinación de subbobinas individuales.

Más aún, la fuerza del campo magnético generado puede tener que adaptarse a la situación de medición. Esto puede conseguirse adaptando uno o más del número de vueltas de hilo en la bobina 82, 92, 93, la cantidad de corriente que fluye en la bobina 82, 92, 93, la proporción de la longitud de la bobina con la anchura de la bobina, y el tipo de material en el núcleo de la bobina 82, 92, 93. Esto es meramente una cuestión de experimentación rutinaria para el experto en la técnica.

Asimismo, pueden optimizarse la configuración y la colocación mutua de la bobina 82, 92 de transmisor/transceptor y la bobina 93 de receptor para una situación de medición dada. Las figuras 13A-13C ilustran tres disposiciones alternativas de la bobina 82, 92 de transmisor/transceptor y la bobina 93 de receptor en la unidad 4 de sensor. Son posibles otras disposiciones, por ejemplo, intercambiando las posiciones de la bobina 82, 92 y la bobina 93, o disponiendo una bobina verticalmente y la otra horizontalmente. Más aún, el espaciado entre la bobina 82, 92 y la bobina 93 puede adaptarse para conseguir una sensibilidad deseada, u otra propiedad, de la señal R.

La invención principalmente se ha descrito anteriormente con referencia a unas pocas realizaciones. Sin embargo, como se aprecia fácilmente por un experto en la técnica, son igualmente posibles otras realizaciones aparte de las dadas a conocer anteriormente dentro del alcance de la invención, que se define y se limita sólo por las reivindicaciones de patente adjuntas.

Por ejemplo, la señal de medición o el perfil de señal puede representar cualquier otra entidad equivalente a la

conductividad, tal como resistividad.

5 Además, es posible usar más de una unidad de sensor, que puede disponerse en una o varias lanzas, o en sublanzas en una lanza común. Con referencia a las realizaciones en las figuras 9 y 10, asimismo es posible disponer la bobina 93 de receptor en una lanza/sublanza diferente de la bobina 82, 92 de transeptor/transmisor.

10 También ha de tenerse en cuenta que el perfil de conductividad espacial no tiene por qué delimitarse a las posiciones, sino que puede darse en función del tiempo (cf. señal 40 de conductividad). Puede inspeccionarse/procesarse un perfil de conductividad de este tipo para la identificación de zonas *per se* o con referencia a una señal de posición independiente (cf. señal 42 de posición en la figura 4).

Más aún, la señal de medición no tiene por qué muestrearse en puntos de tiempo discretos, sino que en su lugar, puede obtenerse como una señal analógica, es decir, de manera continua.

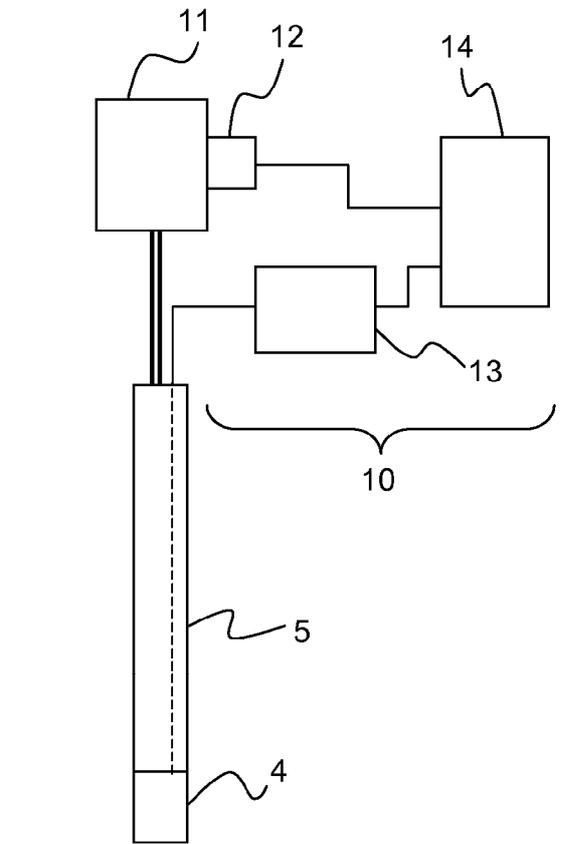
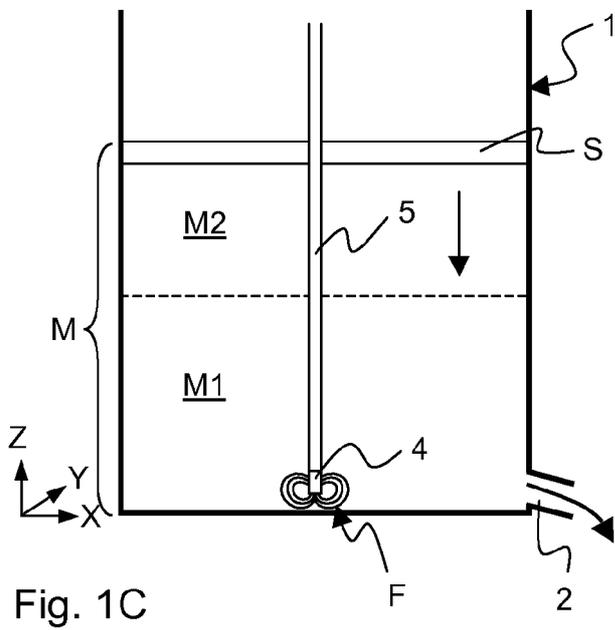
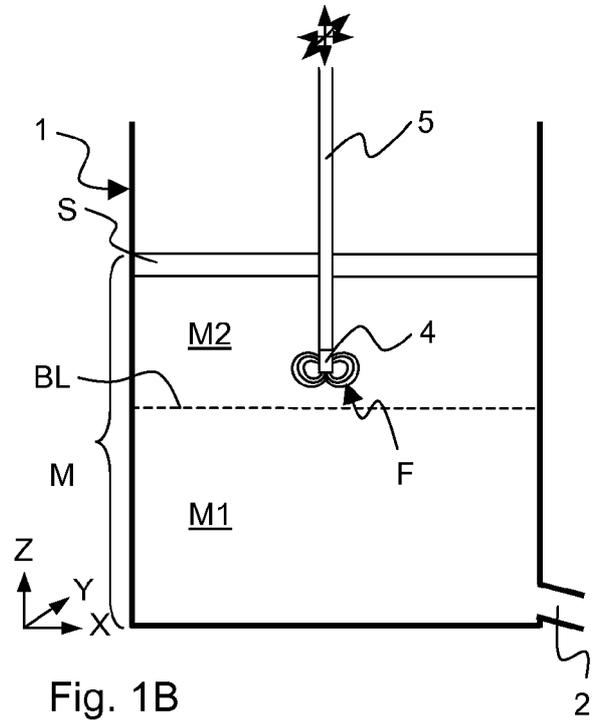
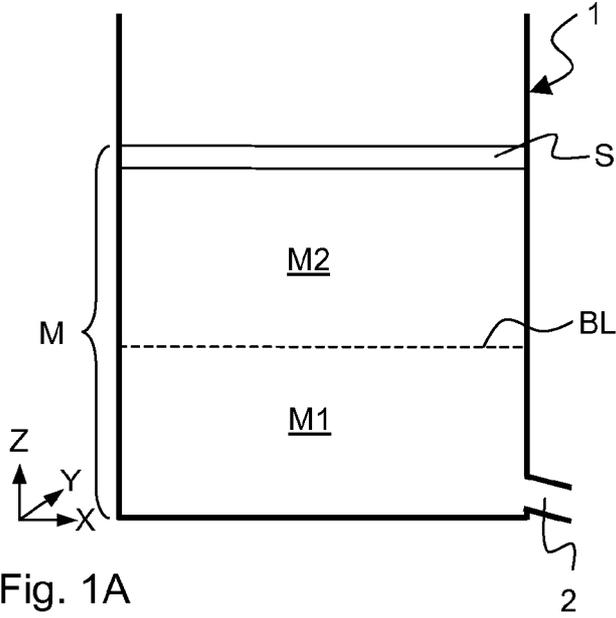
15 En lugar de escoria (o además de escoria), la capa S superior puede contener algo de material en bruto o prerrefinado. También se tiene en cuenta que el material fundido por debajo de la capa S de material superior puede contener fracciones no fundidas, y sustancias gaseosas. De hecho, es posible aplicar la solución inventiva para habilitar la identificación de zonas en el material objetivo no fundido, tal como polvos o granulados.
20 Independientemente del material objetivo, las zonas pueden definirse por al menos una de: una única composición de materia, un único grado de fundido, y un único grado de mezclado. También es posible que determinadas zonas tengan esencialmente la misma conductividad (o cambio en conductividad a lo largo de la trayectoria de medición). Pueden identificarse/diferenciarse las zonas de este tipo en el perfil de conductividad basándose en su locación en relación con otras zonas/capas con diferente conductividad (o cambio en conductividad), por ejemplo basándose en una clasificación esperada de las zonas en el material objetivo.

25

REIVINDICACIONES

1. Método de estudiar mediante sonda un material (M) objetivo eléctricamente conductor en un recipiente (1) metalúrgico, comprendiendo dicho método la etapa de:
 5 adquirir una señal de medición a partir de un sensor (4), que se inserta en el interior del material (M) objetivo, durante un desplazamiento relativo entre el material (M) objetivo eléctricamente conductor y el sensor (4), caracterizado por las siguientes etapas de:
 10 hacer funcionar al menos una bobina (82; 92) en el sensor (4) para generar un campo electromagnético alrededor del sensor (4),
 generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en el campo electromagnético, siendo la señal de medición indicativa de la conductividad eléctrica en las proximidades del sensor (4), y
 15 generar, basándose en la señal de medición, un perfil de señal indicativo de la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de generar el campo electromagnético comprende hacer funcionar un circuito (80; 90) de excitación que comprende una bobina (82; 92) transmisora y una fuente (81; 91) de alimentación de una señal de fuente alterna para la bobina (82; 92) transmisora.
- 20 3. Método según la reivindicación 2, en el que la etapa de generar la señal de medición comprende detectar la impedancia en el circuito (80; 90) de excitación.
4. Método según la reivindicación 3, en el que la etapa de detectar la impedancia en el circuito (80; 90) de excitación comprende una de: detectar la diferencia de potencial sobre unos medios (83) de resistor conectados en serie con la bobina (82; 92) transmisora; y detectar la frecuencia de resonancia de un circuito de resonancia que incluye la bobina (82; 92) transmisora.
- 25 5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que la etapa de generar la señal de medición comprende detectar la inductancia mutua entre la bobina (82; 92) transmisora y una bobina (93) receptora separada de la bobina (82; 92) transmisora.
6. Método según la reivindicación 5, en el que la etapa de detectar la inductancia mutua comprende una de: detectar una diferencia de potencial sobre la bobina (93) receptora; y detectar la frecuencia de resonancia de un circuito de resonancia que incluye la bobina (93) receptora.
- 35 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 3-4 en combinación con una cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en el que la etapa de generar el perfil de señal comprende generar un primer perfil de señal basándose en una primera señal de medición que representa la impedancia en el circuito (80; 90) de excitación y un segundo perfil de señal basándose en una segunda señal de medición que representa la inductancia mutua.
8. Método según la reivindicación 7, que comprende además identificar una o más características del material (M) objetivo basándose en una combinación de los perfiles de señal primero y segundo.
- 45 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 2-8, en el que la etapa de generar la señal de medición comprende detectar una diferencia de fase entre la tensión sobre la bobina (82; 92) transmisora y la corriente inducida a través de la bobina (82; 92) transmisora.
- 50 10. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que el movimiento relativo se imparte moviendo el sensor (4) en un trayecto de movimiento en al menos una dirección en el material (M) objetivo.
11. Método según la reivindicación 10, en el que el sensor (4) se mueve a lo largo del trayecto de movimiento en al menos dos pasos, y en el que se adquiere la señal de medición combinando valores de medición obtenidos durante diferentes conductos del trayecto de movimiento.
- 55 12. Método según la reivindicación 10 u 11, que comprende además la etapa de adquirir una señal de posición indicativa de la ubicación del sensor (4) mientras que el sensor (4) se traslada en el trayecto de movimiento, en el que el perfil de señal se genera basándose en la señal de medición y la señal de posición para ser indicativo de la conductividad eléctrica en función de la ubicación del sensor (4).
- 60 13. Medio legible por ordenador que comprende instrucciones de programa que, cuando un procesador las ejecuta, realizan el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-12.
- 65 14. Dispositivo para estudiar mediante sonda un material (M) objetivo eléctricamente conductor en un recipiente (1) metalúrgico, comprendiendo dicho dispositivo:

- 5 un controlador (13) configurado para adquirir una señal de medición a partir de un sensor (4), que se inserta en el interior del material objetivo, durante un desplazamiento relativo entre el material (M) objetivo eléctricamente conductor y el sensor (4), caracterizado porque
- 10 el controlador (13) está configurado además para hacer funcionar al menos una bobina (82; 92) en el sensor (4) para generar un campo electromagnético alrededor del sensor (4), y para generar la señal de medición para representar cambios momentáneos en el campo electromagnético, siendo la señal de medición indicativa de la conductividad eléctrica en las proximidades del sensor (4), y el dispositivo comprende un procesador (14) de señal configurado para generar, basándose en la señal de medición, un perfil de señal indicativo de la conductividad eléctrica en función del movimiento relativo.
15. Dispositivo según la reivindicación 14, que comprende además un sensor (12) de posición configurado para generar una señal de posición indicativa de la ubicación del sensor (4) mientras que el sensor (4) se traslada en un trayecto de movimiento en el material (M) objetivo, en el que el procesador (14) de señal está configurado para generar, basándose en la señal de medición y la señal de posición, el perfil de señal para ser indicativo de la conductividad eléctrica en función de la ubicación del sensor (4).
- 20 16. Planta para el procesamiento de un material (M) objetivo eléctricamente conductor, que comprende:
- 25 un recipiente (1) metalúrgico configurado para contener el material (M) objetivo;
una lanza (5);
un sensor (4) unido a la lanza (5) y configurado para detectar la conductividad eléctrica;
un mecanismo (11; 20, 22, 23) de accionamiento conectado mecánicamente a la lanza (5) y configurado para mover la lanza (5) con respecto al material (M) objetivo; y
el dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 14-15.



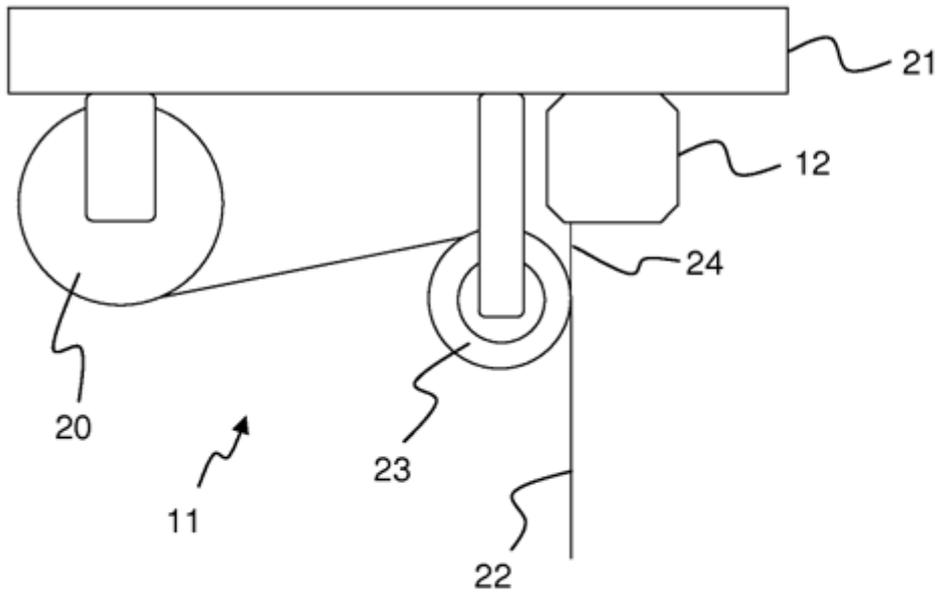


Fig. 3

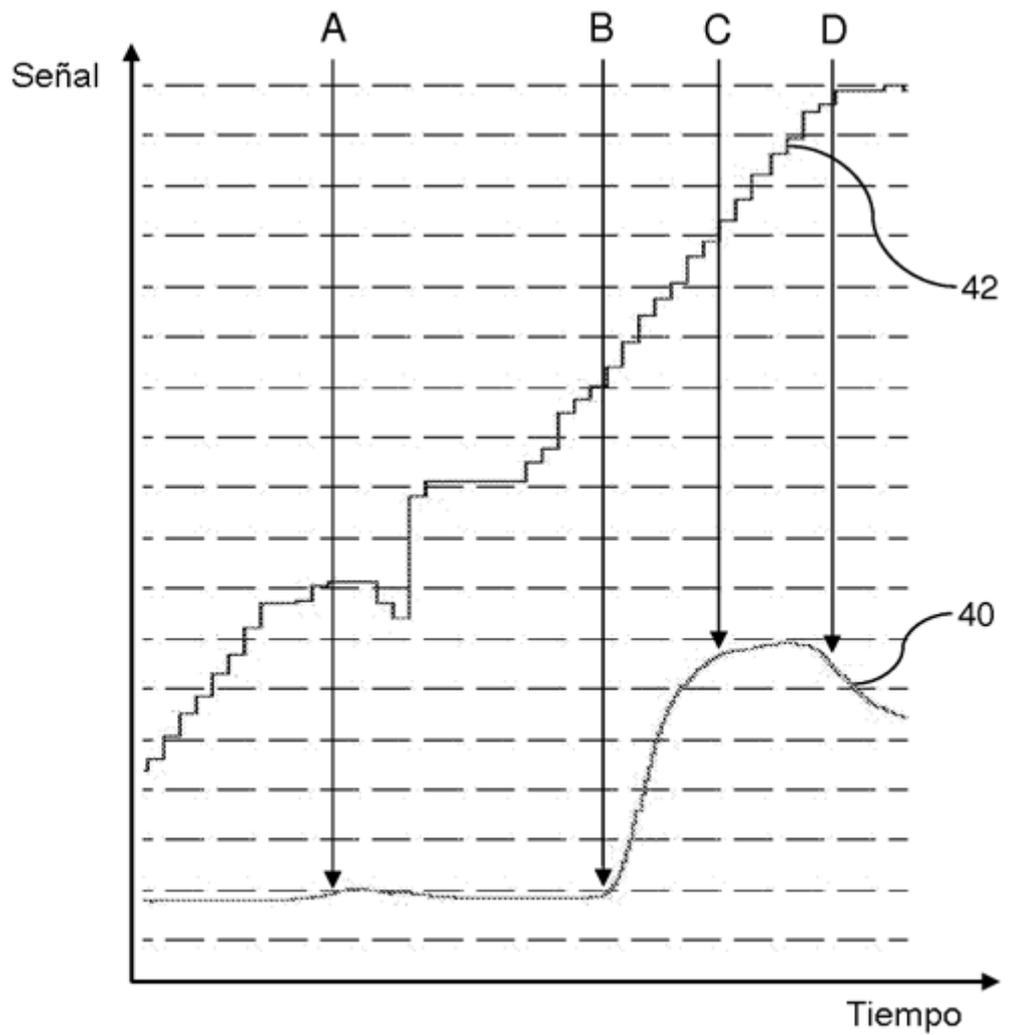


Fig. 4

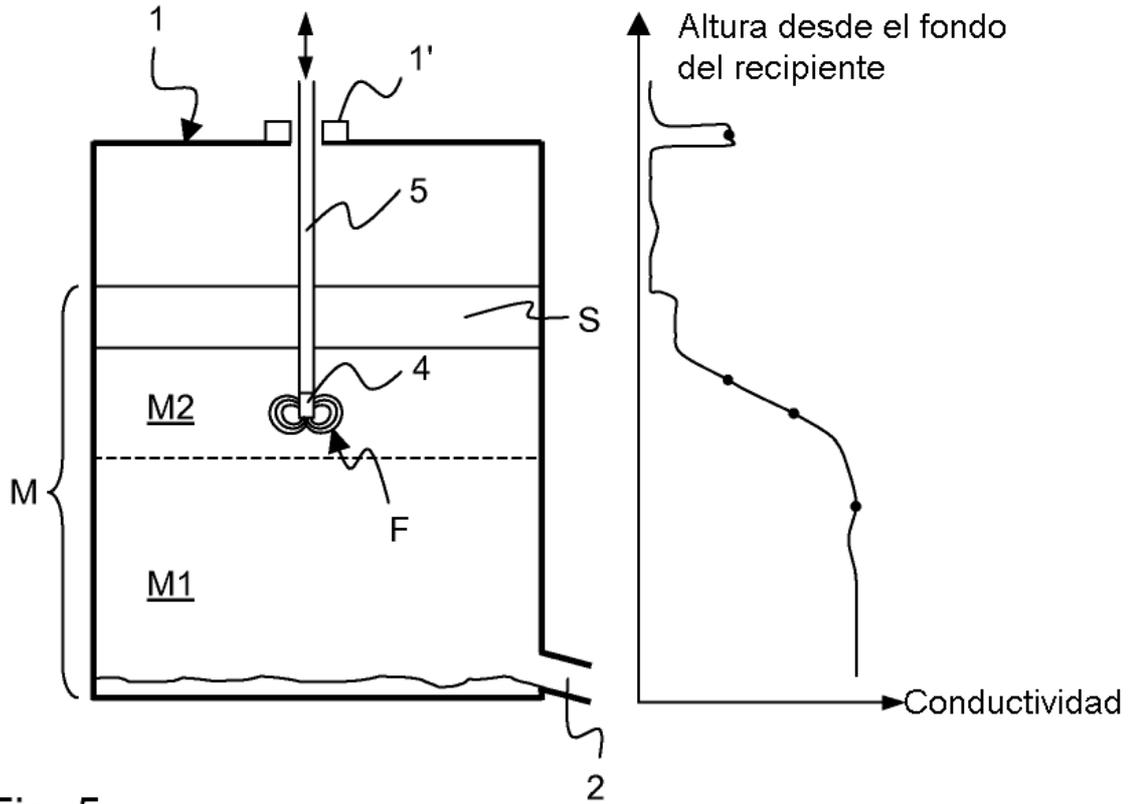


Fig. 5

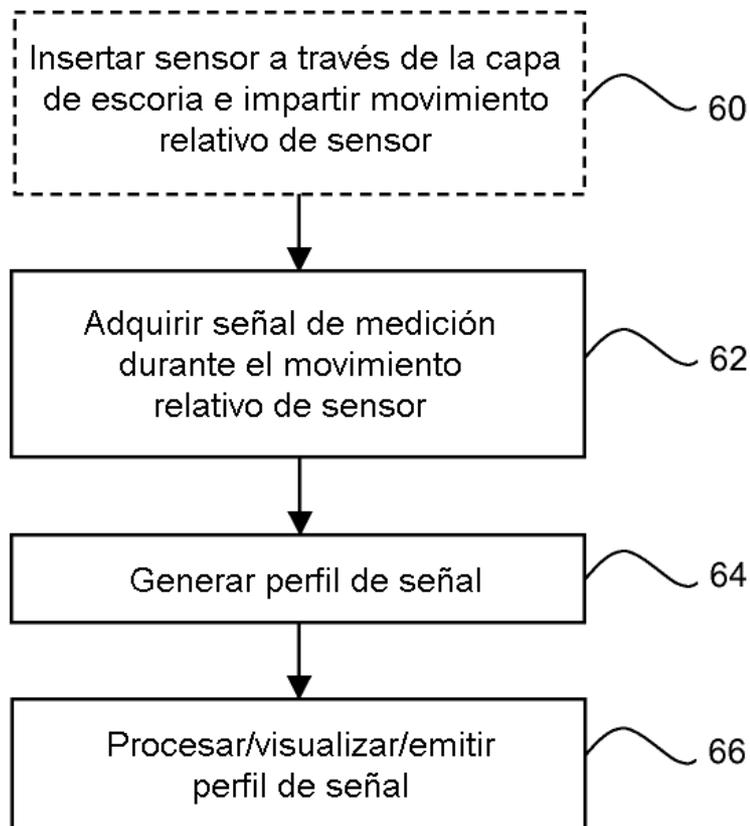


Fig. 6

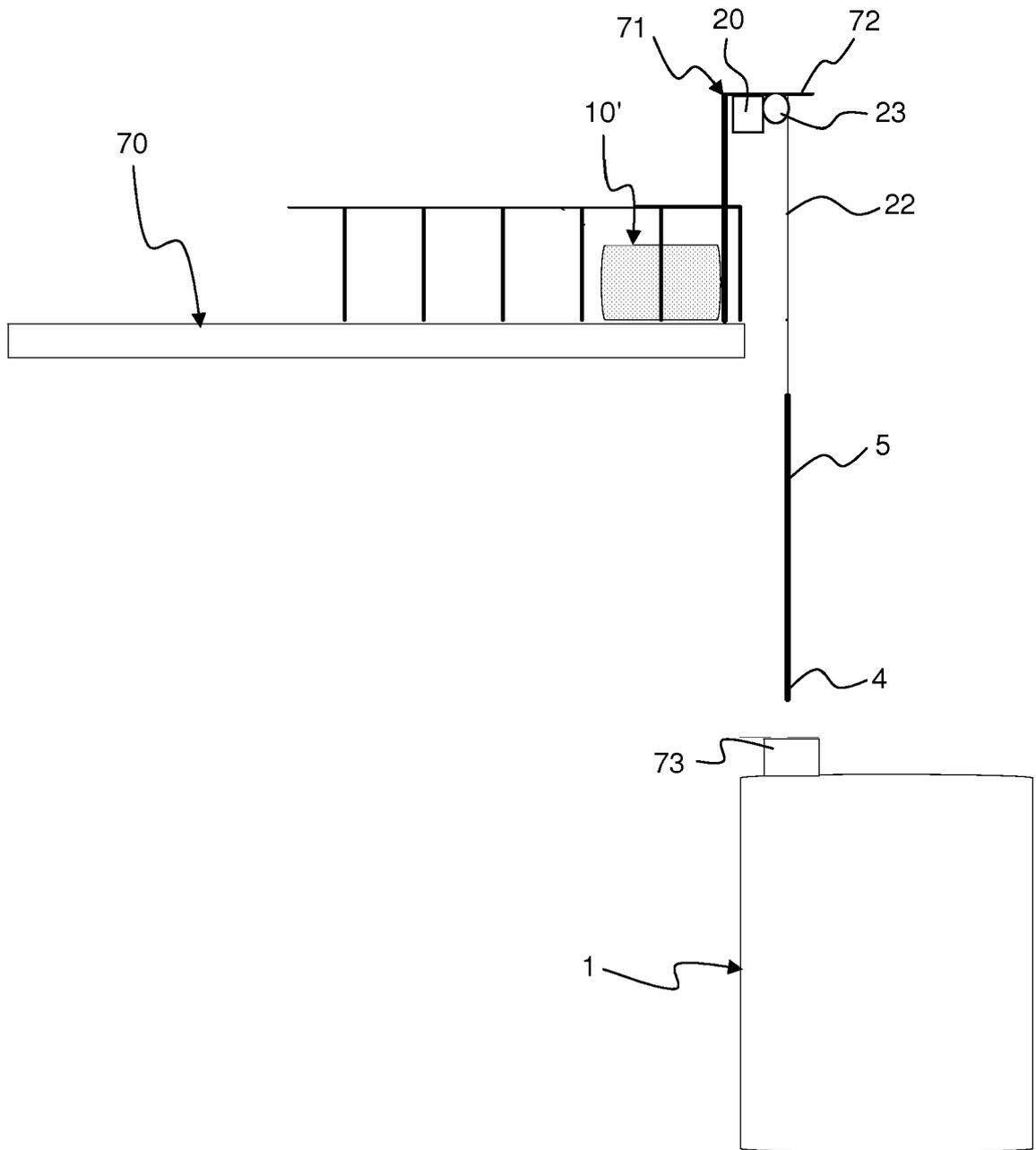


Fig. 7

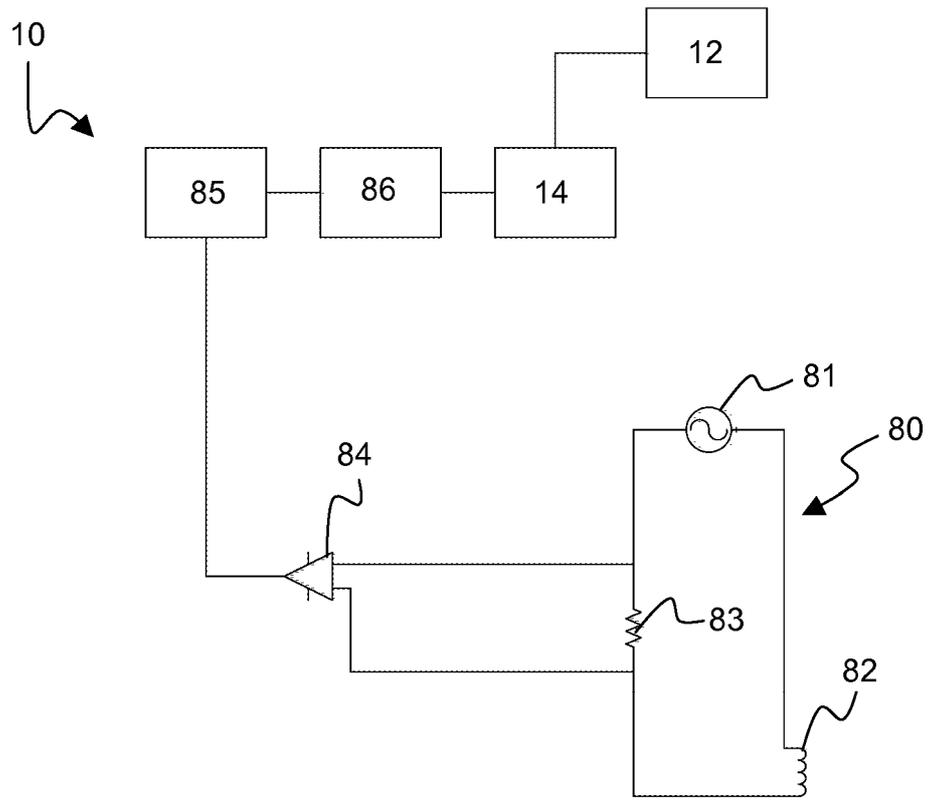


Fig. 8

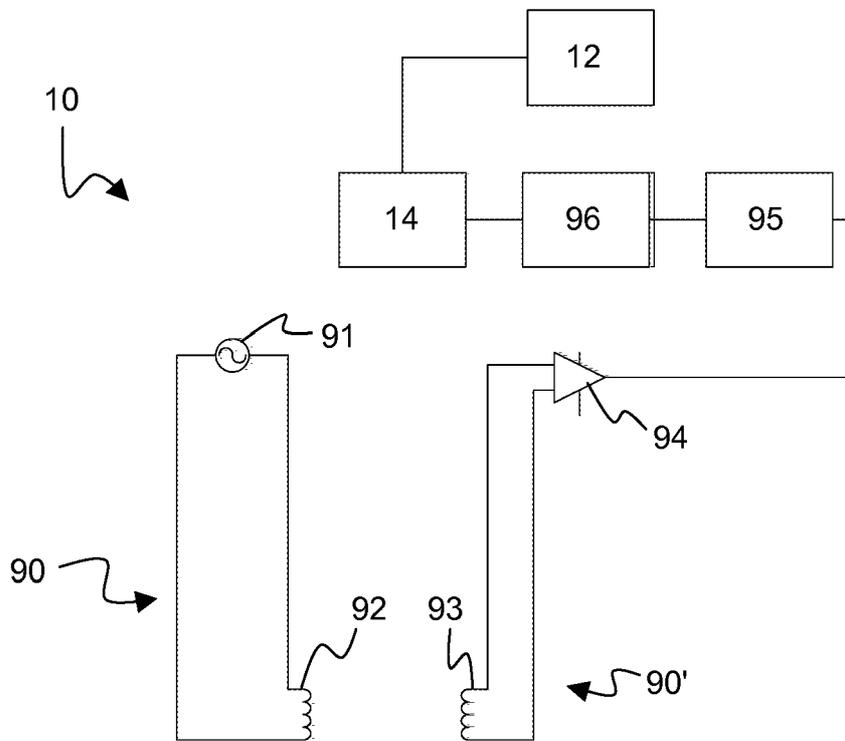


Fig. 9

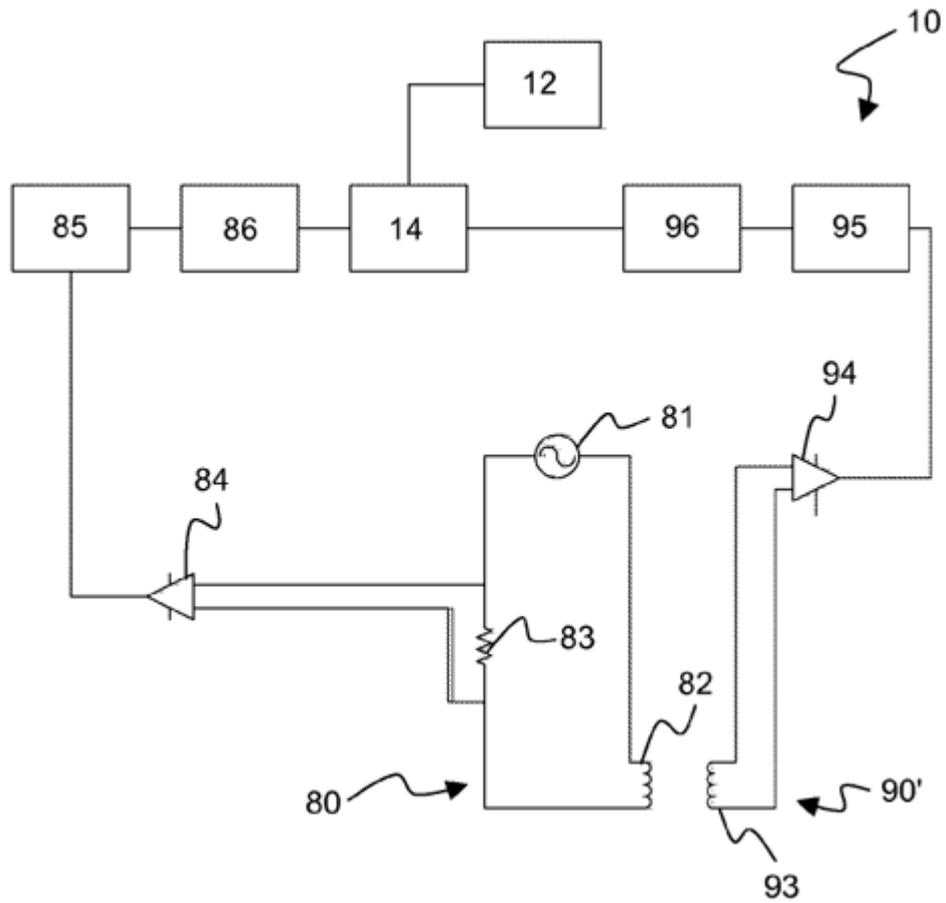


Fig. 10

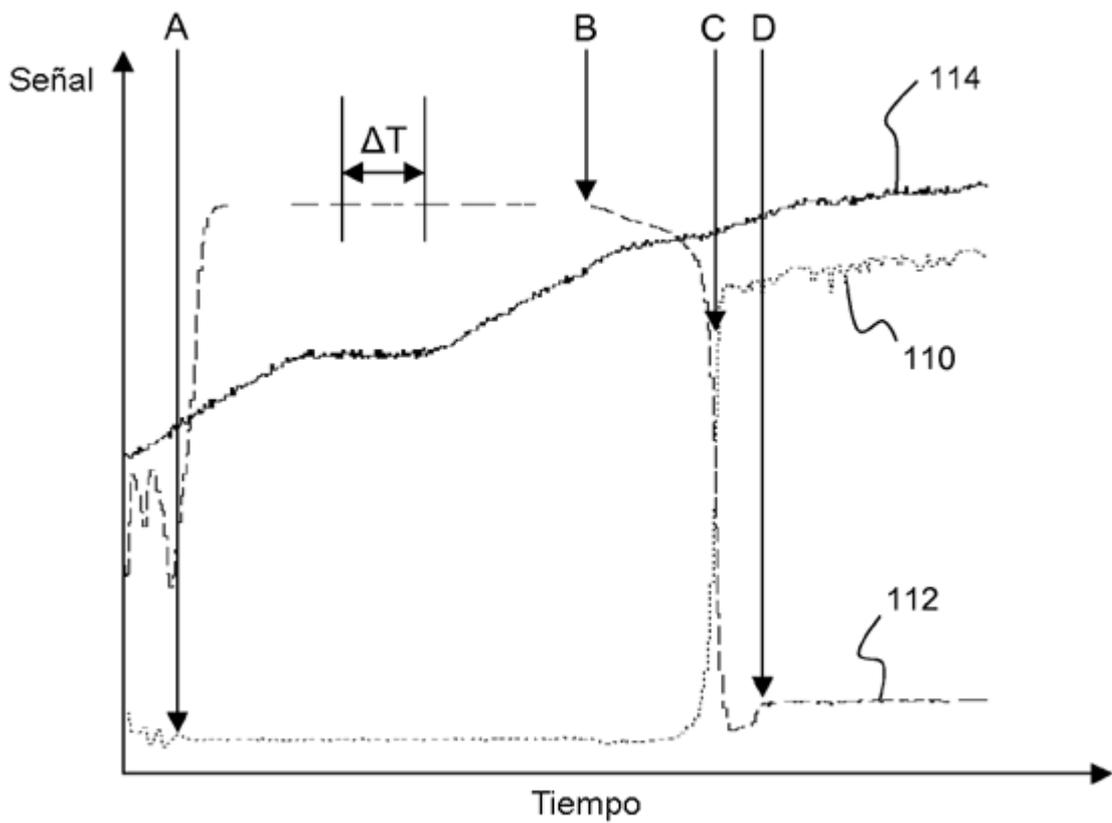


Fig. 11

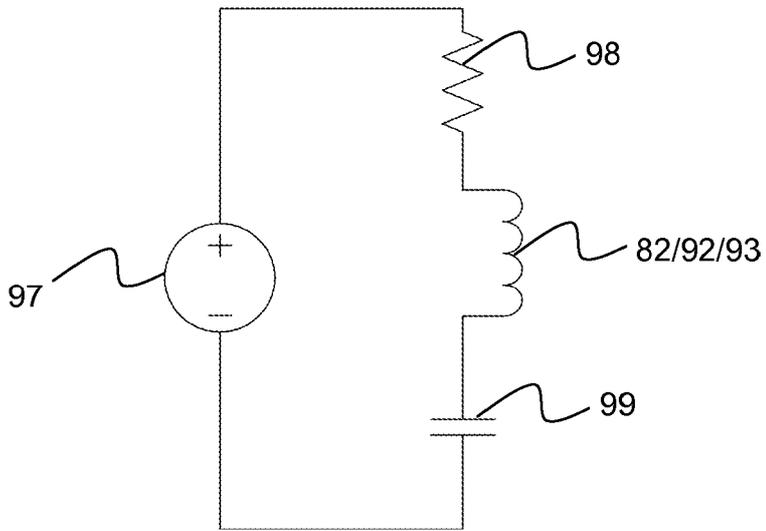


Fig. 12

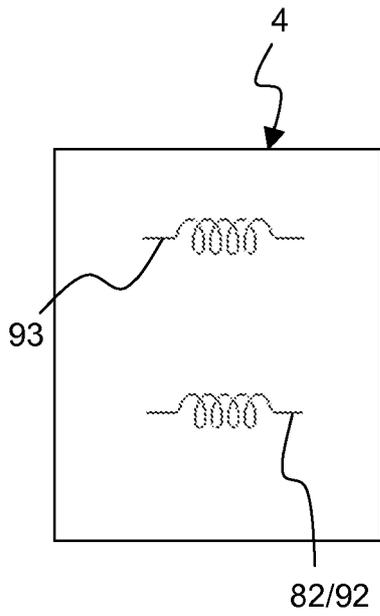


Fig. 13A

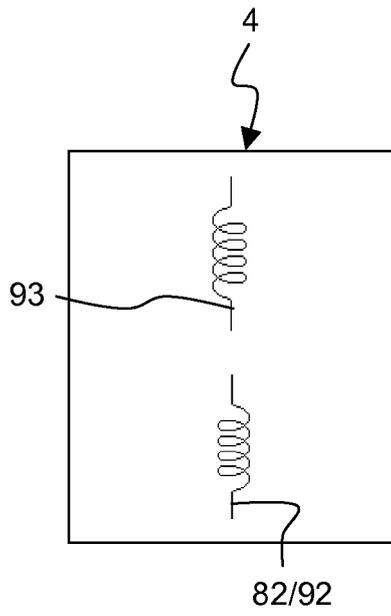


Fig. 13B

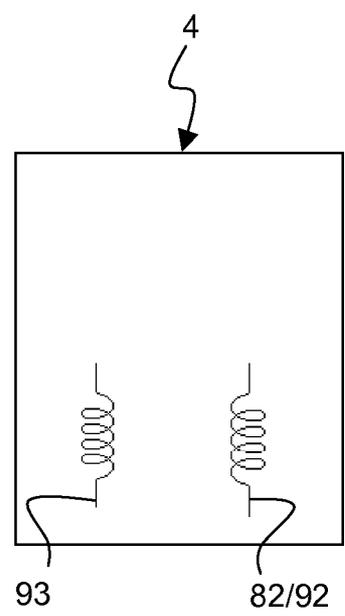


Fig. 13C