

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 655**

51 Int. Cl.:

**B22D 2/00** (2006.01)

**F27D 21/00** (2006.01)

**G01F 23/284** (2006.01)

**G01F 23/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.09.2012 PCT/SE2012/050956**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.03.2013 WO13039446**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.09.2012 E 12832597 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2016 EP 2756271**

54 Título: **Mediciones de nivel en recipientes metalúrgicos**

30 Prioridad:

**15.09.2011 SE 1150836**

**26.09.2011 US 201161626309 P**

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

**12.12.2016**

73 Titular/es:

**AGELLIS GROUP AB (100.0%)**

**Tellusgatan 15**

**224 57 Lund, SE**

72 Inventor/es:

**WILHELMSSON, TOMAS**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 593 655 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 de nivel en recipientes metalúrgicos

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a técnicas para medir electromagnéticamente un nivel de llenado vertical de un baño de material eléctricamente conductor contenido dentro de un recipiente metalúrgico.

10 El objetivo anterior puede conseguirse mediante las características definidas en las reivindicaciones.

**Técnica anterior**

15 En industrias, principalmente industrias metalúrgicas, en las que se manipula metal fundido existe una gran necesidad de sistemas para medir o estimar la posición o nivel promedio de la superficie de contacto entre el metal fundido y medios no conductores en un recipiente metalúrgico tal como una cuchara, artesa, molde, un horno, etc. Debido a las condiciones específicamente duras que se encuentran en conexión con tal industria, tal como altas temperaturas, materiales corrosivos, diferentes materiales eléctricamente conductores en los recipientes y alrededores, hasta ahora se ha demostrado que es difícil proporcionar una técnica general para tal medición de nivel.

20 Algunas técnicas dominantes para la estimación de nivel en la industria metalúrgica incluyen mediciones de peso, sistemas radioactivos y sistemas electromagnéticos. Las mediciones de peso son indirectas, y los sistemas radioactivos tienen un alcance limitado y no diferencian entre medios conductores o no conductores. Los sistemas electromagnéticos se han desarrollado de manera satisfactoria en una variedad de recipientes, tales como cucharas, artesas y hornos. Estos recipientes tienen un alojamiento de metal, a menudo dotado de un revestimiento cerámico interno para gestionar el calor y materiales abrasivos. Pueden colocarse sensores electromagnéticos detrás del revestimiento para quedar protegidos del calor excesivo procedente del metal fundido. Los sensores electromagnéticos incluyen una combinación de una o más bobinas de transmisión y una o más bobinas de recepción. La bobina de transmisión puede estar accionada a una frecuencia baja de 100 Hz hasta unos pocos kHz para generar un campo magnético variable en el tiempo. Muchos materiales de revestimiento son transparentes a estas frecuencias lo que permite al campo magnético alcanzar el metal fundido e inducir corrientes parásitas en el interior del mismo. Las corrientes parásitas generan campos que inducen una fuerza electromotriz (emf) en la bobina de recepción, que puede detectarse para representar la cantidad de metal fundido dentro de la extensión de las bobinas. Las bobinas de transmisión y de recepción están diseñadas de manera tradicional como bobinas cuadradas planas dispuestas en los lados del recipiente o una encima de otra en un lado del recipiente. Esto da como resultado limitaciones de la instalación.

40 El campo magnético generado por una bobina es inherentemente no lineal, disminuyendo la intensidad del campo magnético con la distancia (R) al conductor de bobina según  $1/R$  cerca del conductor de bobina y según  $1/R^3$  cuando la distancia R es grande en relación con la extensión de la bobina. A menos que se tenga un cuidado especial, esto da como resultado una función de transferencia no lineal, es decir una dependencia no lineal entre fuerza electromotriz en la bobina de recepción y nivel de llenado vertical en el recipiente. Tal no linealidad se ilustra por ejemplo en el documento US4144756, en el que las bobinas de transmisión y de recepción están dispuestas de manera coaxial y separadas en la dirección axial en el revestimiento de un recipiente metalúrgico. La dependencia de señal de medición sobre nivel de llenado es altamente no lineal formándose puntos de inflexión en los ejes horizontales de las bobinas.

50 Se han aplicado varias técnicas para hacer la función de transferencia más lineal en relación con el nivel de llenado vertical.

55 En el documento US4475083, una bobina de transmisión plana de una sola vuelta y una bobina de recepción plana de una sola vuelta están dispuestas verticalmente en el revestimiento de una pared de horno, para solaparse entre sí y extenderse paralelas a la periferia del metal fundido. Un circuito de detección está conectado a la bobina de transmisión para detectar un desplazamiento de fase entre la corriente alterna suministrada a la bobina de transmisión y el campo electromagnético alterno resultante en la bobina de recepción. Se afirma que esta disposición de bobinas da como resultado una señal de medición que puede ser suficientemente lineal para proporcionar una representación inequívoca entre valor de señal y valor medido.

60 En el documento US4708191, una bobina de transmisión rectangular está instalada en el revestimiento de un recipiente metalúrgico para extenderse en las direcciones horizontal y vertical del recipiente. Al menos dos bobinas de recepción rectangulares están alineadas con y escalonadas verticalmente dentro de la bobina de transmisión para cubrir diversas áreas de superficie de la bobina de transmisión. La disposición de bobinas puede estar diseñada para generar una señal de medición proporcional al nivel, con puntos de cruce generados en la señal de medición por la colocación de las bobinas de recepción dentro de la bobina de transmisión.

65

La técnica anterior también comprende el documento US4138888, que da a conocer una disposición para medir electromagnéticamente el nivel de y/o la distancia hasta el metal fundido contenido en un envase. Bobinas de transmisión y de recepción independientes están ubicadas desplazadas entre sí junto a, o en las paredes del envase de modo que el metal fundido forma una pantalla magnética de CA entre las bobinas cuando alcanza un nivel predeterminado. Antes de que el metal fundido corte el campo magnético alternante de la bobina de transmisión a la bobina de recepción, el campo magnético alternante detectado por las bobinas de recepción se aumenta, no de manera lineal, debido al campo magnético alternante generado por las corrientes eléctricas inducidas en la superficie del metal fundido que aumenta.

Las disposiciones de bobinas de la técnica anterior han demostrado ser menos adecuadas en muchas situaciones prácticas, por ejemplo cuando se mide sobre una superficie de contacto tridimensional continuamente cambiante entre un medio conductor y uno principalmente no conductor, por ejemplo una superficie superior tumultuosa o turbulenta de metal fundido. Esto se debe en parte al hecho de que el alcance vertical con dependencia de señal lineal es sustancialmente menor que la altura física de la disposición de bobinas. Cuando partes turbulentas de la superficie superior se salen de este alcance vertical, las corrientes parásitas inducidas en estas partes turbulentas pueden accionar la señal de medición en sentido opuesto en relación con el movimiento físico real. Esto puede conducir a errores significativos en el nivel de llenado medido. Otro problema es que la extensión del alcance vertical puede fluctuar a lo largo del tiempo, haciendo difícil mantener las técnicas para la linealización de la señal de medición.

La técnica anterior también incluye los documentos US4887798, EP0187993 y EP0111228, que dan a conocer técnicas para detectar un flujo de metal fundido a través de una salida en un recipiente metalúrgico. Bobinas de transmisión y de recepción están dispuestas de manera concéntrica alrededor de la abertura, y la bobina de recepción se hace funcionar para detectar fuerzas electromotrices que se originan a partir de corrientes parásitas generadas en el metal fundido por una corriente alterna a través de la bobina de transmisión. Esto permite la detección de la presencia o ausencia de metal fundido al nivel de las bobinas concéntricas.

La técnica anterior también comprende el documento EP0186584, que da a conocer una detección de nivel en una tubería de metal dispuesta horizontalmente. Un par de conductores están enrollados sobre la superficie externa de la tubería de metal para formar un par de bobinas de transmisión y de recepción dispuestas de manera concéntrica. La cantidad de material conductor en el interior de la tubería se mide basándose en las fuerzas electromotrices generadas en la bobina de recepción mediante una corriente alterna a través de la bobina de transmisión.

## Sumario

Es un objetivo de la invención superar o al menos atenuar en parte una o más de las limitaciones identificadas anteriormente de la técnica anterior.

Otro objetivo es permitir la instalación de un sensor electromagnético para la medición de nivel independientemente de la forma del recipiente metalúrgico.

Aún otro objetivo es permitir personalizar la función de transferencia del sensor electromagnético a las necesidades de una situación de medición específica.

Un objetivo específico es proporcionar un sensor electromagnético para medición de nivel con una función de transferencia que es lineal dentro de la extensión vertical del sensor y que carece de puntos de inflexión en los límites de la extensión vertical.

Uno o más de estos objetivos, así como objetivos adicionales que pueden aparecer a partir de la descripción a continuación, se consiguen al menos en parte por medio de un sistema, un recipiente metalúrgico, métodos según las reivindicaciones independientes, definiéndose realizaciones de los mismos mediante las reivindicaciones dependientes.

Un primer aspecto de la invención es un sistema para medir un nivel de llenado vertical de material eléctricamente conductor en un volumen de contención de un recipiente metalúrgico, estando definido el recipiente metalúrgico por una carcasa de metal externa que rodea el volumen de contención y se extiende en una dirección vertical. El sistema comprende: un conductor de transmisión para generar un campo electromagnético cuando se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna, un conductor de recepción que está dispuesto para detectar el campo electromagnético para la generación de una señal de salida en función del nivel de llenado vertical, en el que los conductores de transmisión y de recepción están dispuestos en el interior de la carcasa de metal para extenderse conjuntamente con un distanciamiento mutuo para definir un área de distanciamiento que está orientada hacia el volumen de contención y se extiende a lo largo de la periferia del volumen de contención en un bucle esencialmente cerrado, en el que el distanciamiento mutuo se selecciona de manera que los cambios en la señal de salida se ven dominados por los cambios en el campo electromagnético provocados por cambios locales en la cantidad de material conductor adyacente a dicha área de distanciamiento, y en el que al menos parte del área de distanciamiento define una región de medición vertical en la que el área de distanciamiento está inclinada a lo largo

de la periferia para divergir con respecto a las direcciones horizontal y vertical del recipiente.

Según el primer aspecto, los conductores de transmisión y de recepción se extienden por tanto como un par en un bucle en el interior de la carcasa de metal a lo largo de la periferia del volumen de contención, que está destinada a contener el material conductor. Al formar el bucle emparejado en el interior de la carcasa se garantiza que la contribución de corrientes parásitas en el material fundido es una parte detectable de la fuerza electromotriz total en el conductor de recepción. Al disponer el área de distanciamiento, definida entre los conductores de transmisión y de recepción, orientada hacia el volumen de contención es posible optimizar la respuesta de la bobina de recepción de manera que los cambios en la señal de salida se ven dominados por cambios locales en la cantidad de material fundido adyacente al área de distanciamiento, es decir la conductividad local, en la región local en la periferia del volumen de contención directamente opuesto al área de distanciamiento. Se entiende que el distanciamiento mutuo puede seleccionarse en relación con otros parámetros de diseño/control del recipiente y el sistema, tal como la distancia horizontal desde el área de distanciamiento hasta la periferia del volumen de contención, la provisión de material de revestimiento entre el área de distanciamiento y la periferia, la frecuencia y magnitud de la fuente de energía eléctrica alterna, etc.

Cuando los cambios de señal se ven dominados por cambios locales, la respuesta de la bobina de recepción puede representarse como un sumatorio de la respuesta local de segmentos individuales de la bobina de recepción a lo largo de su extensión, es decir a lo largo del bucle. Esto a su vez hace posible conseguir cualquier función de transferencia de disminución monótona del bucle dentro de diferentes regiones de su extensión vertical. Tal como se usa en el presente documento, la "función de transferencia" representa, en función del nivel de llenado vertical, la fuerza electromotriz inducida total en el conductor de recepción normalizada por la energía eléctrica (corriente) suministrada al conductor de transmisión. La función de transferencia viene dada por la disposición del par de conductores, es decir el área de distanciamiento, en el interior de la carcasa. Esto incluye la forma del bucle, pero también puede incluir el distanciamiento mutuo local entre los conductores de transmisión y de recepción, y la distancia horizontal local desde el área de distanciamiento hasta la periferia del volumen de contención.

Por tanto, se observa que el sistema del primer aspecto habilita una función de transferencia lineal dentro de la región de medición vertical.

Al diseñar el bucle para incluir una parte en la que el área de distanciamiento está inclinada a lo largo de la periferia del volumen de contención, es posible distribuir el bucle a lo largo de una gran parte del volumen de contención, independientemente de la forma del volumen de contención. Además, para una extensión dada de la región de medición vertical, un área de distanciamiento inclinada da como resultado una extensión más larga del conductor de recepción a lo largo de la periferia del volumen de contención dentro de la región de medición vertical. De ese modo, en comparación con un área de distanciamiento que se extiende en la dirección vertical a lo largo de la periferia dentro de la región de medición vertical, el área de distanciamiento inclinada induce corrientes parásitas dentro de un área mayor en la periferia. Por tanto, el área de distanciamiento inclinada da como resultado una contribución mayor a la fuerza electromotriz del conductor de recepción procedente del material conductor en el volumen de contención. Esta ventaja técnica puede usarse para aumentar la resolución de señal en la dirección vertical y/o para mejorar la calidad de señal. Al usar un área de distanciamiento inclinada también es posible distribuir el bucle de manera que se generan uno o más puntos de inflexión dedicados en la señal de salida, o evitar tales puntos de inflexión en general, incluso cuando el nivel de llenado se extiende más allá de los límites verticales del bucle.

Tal como se usa en el presente documento, el "distanciamiento mutuo" se refiere a la distancia más pequeña hasta el conductor de recepción en cada punto dado a lo largo del conductor de transmisión.

Tal como se usa en el presente documento, "inclinada" pretende indicar que la extensión del área de distanciamiento, a lo largo de los conductores de transmisión y de recepción y tal como se proyecta a través del área de distanciamiento sobre la periferia del volumen de contención, se desvía de las direcciones horizontal y vertical. Tal como se usa en el presente documento, la dirección vertical es la dirección de la gravedad, y la horizontal dirección es una dirección en un plano horizontal perpendicular a la dirección vertical.

El área de distanciamiento puede estar dispuesta orientada hacia el volumen de contención en diferentes grados. En una realización, el área de distanciamiento está dispuesta para ser esencialmente paralela a la periferia dentro de la región de medición vertical, tal como se ve en una sección transversal perpendicular a la extensión de los conductores. Tal realización puede optimizar la sensibilidad del sistema de medición. En otras realizaciones, el área de distanciamiento está inclinada alejándose o hacia la periferia un ángulo que es menor de 90°, y normalmente menor de 45°, 35°, 25°, 15°, 10° o 5°, tal como se observa en una sección transversal perpendicular a la extensión de los conductores.

Medir el nivel de llenado vertical según el primer aspecto incluye la tarea de identificar la ubicación de una superficie de contacto entre el material eléctricamente conductor y una región de conductividad inferior, tal como una superficie de contacto entre metal fundido y aire o entre metal fundido y una capa de escoria. Sin embargo, medir el nivel de llenado vertical puede implicar una mera detección de presencia o ausencia de material eléctricamente conductor dentro de la extensión vertical del bucle o dentro de la región de medición vertical.

Existen varios criterios de diseño que pueden usarse, o bien por sí solos o bien en cualquier combinación, para realizar cambios en la señal de salida que se ven dominados por cambios locales en la cantidad de material fundido adyacente al área de distanciamiento.

5 Según un criterio de este tipo, el distanciamiento mutuo se selecciona para garantizar que el acoplamiento electromagnético entre los conductores de transmisión y de recepción se consigue principalmente entre segmentos opuestos de los conductores de transmisión y de recepción a lo largo del área de distanciamiento.

10 Según otro criterio, el distanciamiento mutuo se selecciona de manera que la intensidad del campo electromagnético, en ausencia de material conductor en el volumen de contención, cae en función de  $1/R\alpha$ , siendo R la distancia desde el conductor de transmisión en el área de distanciamiento y estando  $\alpha$  en el intervalo de 1-2. Mediante este criterio se garantiza que el conductor de recepción está dispuesto en el campo cercano del conductor de transmisión, permitiendo una alta sensibilidad local a la presencia y ausencia de material fundido en la periferia del volumen de contención.

15 Según aún otro criterio, el área de distanciamiento está dispuesta de manera que el campo electromagnético generado por el conductor de transmisión en el conductor de recepción, en ausencia de material conductor en el volumen de contención, se aproxima mediante un campo electromagnético generado alrededor de un conductor recto de longitud infinita. Este criterio habilita una alta sensibilidad local a la presencia y ausencia de material fundido en la periferia del volumen de contención.

20 Según un criterio adicional, el conductor de transmisión está dispuesto de manera que su extensión horizontal es menor de aproximadamente 1/10, 1/15 ó 1/20 de la longitud total del conductor de transmisión. Mediante este criterio se evita que se generen campos electromagnéticos intensos en determinadas posiciones verticales para perturbar el acoplamiento local entre segmentos opuestos en estas u otras posiciones verticales. En una realización específica, el conductor de transmisión está dispuesto para estar esencialmente libre de partes con una extensión horizontal.

25 Según un criterio aún adicional, si el recipiente metalúrgico comprende además un revestimiento de protección dispuesto en el interior de la carcasa de metal para definir una pared interna distanciada con respecto a la carcasa de metal y que define la periferia del volumen de contención, los conductores de transmisión y de recepción están dispuestos con una separación horizontal entre el área de distanciamiento y la pared interna, en el que el distanciamiento mutuo se selecciona para que esté al menos en el mismo orden de magnitud que la separación horizontal. Dependiendo de la implementación, los conductores de transmisión y de recepción pueden estar dispuestos dentro del revestimiento o entre el revestimiento y la carcasa de metal. Este criterio puede implementarse de manera que la relación entre el distanciamiento mutuo y la separación horizontal está en el intervalo aproximado de 0,5 - 5.

30 También hay varios criterios de diseño que pueden usarse, o bien por sí solos o en cualquier combinación, para conseguir una función de transferencia lineal del sistema, es decir para obtener una dependencia lineal entre la señal de salida (o un parámetro incrustado en la señal de salida) y nivel de llenado vertical en la región de medición vertical.

35 Según un criterio de este tipo, el conductor de transmisión está dispuesto de manera que la intensidad promedio del campo electromagnético en el material fundido en la periferia del volumen de contención orientado hacia el área de distanciamiento es esencialmente independiente de la posición vertical dentro de la región de medición vertical. Dicho de otro modo, la presencia de material fundido proporciona el mismo cambio en intensidad de señal en todas las alturas. Dado que la respuesta es local, y por tanto que la respuesta total de la bobina de recepción viene dada por un sumatorio de respuestas locales, este criterio puede proporcionar una función de transferencia lineal.

40 Según otro criterio, el distanciamiento mutuo se selecciona de manera que una distancia horizontal desde el conductor de recepción hasta la periferia del volumen de contención es esencialmente invariable dentro de la región de medición vertical. Este criterio puede garantizar que la respuesta local a metal fundido es esencialmente la misma a lo largo del bucle. Esto puede simplificar a su vez tanto el diseño del sistema como la instalación de los conductores de transmisión y de recepción en el recipiente. Ha de entenderse que "esencialmente invariable" es un criterio nominal que incluye tolerancias de instalación, que pueden llegar a ser por ejemplo de hasta  $\pm 20^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$  o  $\pm 5^\circ$ . También se observa que la distancia horizontal puede cambiar a lo largo del tiempo, por ejemplo como resultado de la abrasión del material de revestimiento.

45 Según otro criterio, el distanciamiento mutuo es esencialmente el mismo a lo largo del área de distanciamiento dentro de la región de medición vertical. Al igual que el criterio anterior, puede simplificar tanto el diseño del sistema como la instalación de los conductores de transmisión y de recepción en el recipiente. Al igual que en el criterio anterior, "esencialmente invariable" es un criterio nominal que puede incluir las tolerancias de instalación mencionadas anteriormente.

50 Según aún otro criterio, el área de distanciamiento está dispuesta para proporcionar aproximadamente la misma

longitud de detección para diferentes alturas en la dirección vertical dentro de la región de medición vertical, siendo la longitud de detección la extensión total del área de distanciamiento a lo largo de los conductores de transmisión y de recepción dentro de un corte horizontal tomado a una altura dada en la dirección vertical.

5 Según todavía otro criterio, el área de distanciamiento está dispuesta de manera que una fuerza electromotriz total inducida en el conductor de recepción por el campo electromagnético es una función esencialmente lineal del nivel de llenado vertical en la región de medición vertical.

10 En una realización, el área de distanciamiento está dispuesta de manera que una fuerza electromotriz total inducida en el conductor de recepción por el campo electromagnético es esencialmente invariable con respecto al nivel de llenado vertical cuando el nivel de llenado vertical se extiende fuera de la región de medición vertical. Esta realización habilita una señal de salida sin puntos de inflexión. En este contexto, un punto de inflexión significa que la derivada de la función de transferencia cambia de signo a una determinada altura. Tal como se observa en la sección de antecedentes, la presencia de puntos de inflexión es inherente en técnicas de la técnica anterior y puede  
15 provocar grandes errores en un nivel de llenado estimados si las mediciones se realizan bajo condiciones turbulentas en el material conductor.

20 En una realización, la región de medición vertical abarca la extensión del bucle en la dirección vertical. Esto significa que el área de distanciamiento está inclinada a lo largo de esencialmente todo el bucle. Tal realización maximizará la extensión de la región de medición vertical. La configuración del área de distanciamiento puede diseñarse por ejemplo para proporcionar una función de transferencia lineal para toda la extensión vertical del bucle y/o para proporcionar una función de transferencia sin puntos de inflexión fuera de la extensión vertical del bucle.

25 En una realización, los conductores de transmisión y de recepción están dispuestos de manera que el bucle encierra una línea central vertical del volumen de contención. Esto garantizará que el bucle está dispuesto para recopilar la respuesta local de una gran parte del volumen de contención. Recordando que la respuesta total para una altura dada se representa como una suma de todas las respuestas locales a lo largo del bucle a esta altura dada, se observa que esta realización mejorará la precisión de la medición.

30 En una implementación, el bucle está diseñado para rodear el volumen de contención. En una implementación de este tipo, el volumen de contención está definido al menos parcialmente por una parte de pared esencialmente cilíndrica que se extiende alrededor de la línea central vertical, en el que el bucle está formado en la parte de pared cilíndrica para rodear el volumen de contención. En este contexto, "la parte de pared cilíndrica" puede definir cualquier sección transversal del volumen de contención, por ejemplo circular, elíptica, rectangular o de cualquier  
35 otra forma.

40 En una realización, el sistema comprende además un segundo conductor de transmisión para generar un campo electromagnético cuando se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna, y un segundo conductor de recepción que está dispuesto para detectar el campo electromagnético para la generación de una segunda señal de salida, en el que los segundos conductores de transmisión y de recepción están dispuestos en el interior de la carcasa de metal en una posición vertical dentro del alcance de medición vertical, para extenderse de manera conjunta horizontalmente alrededor del volumen de contención con un distanciamiento mutuo. Esta realización permite la compensación de fluctuaciones en el recipiente y el sistema, dado que los segundos conductores de transmisión y de recepción pueden estar dispuestos para generar un cambio escalonado en la segunda señal de salida cuando el  
45 nivel de llenado vertical coincide con la posición vertical, viéndose esencialmente inafectada la posición vertical del cambio escalonado por las fluctuaciones. Al correlacionar la ubicación del cambio escalonado con la señal de salida del bucle dentro del área de distanciamiento inclinada, resulta posible por tanto compensar fluctuaciones en la señal de salida.

50 En una realización, el sistema comprende además una fuente de energía eléctrica alterna conectada al conductor de transmisión.

55 En una realización, el sistema comprende además una unidad de procesamiento configurada para obtener y procesar la señal de salida para extraer una medida representativa del nivel de llenado vertical.

Un segundo aspecto de la invención es un recipiente metalúrgico que comprende el sistema del primer aspecto.

60 Un tercer aspecto de la invención es un método de medición de un nivel de llenado vertical de material fundido eléctricamente conductor en un volumen de contención de un recipiente metalúrgico, estando definido el recipiente metalúrgico por una carcasa de metal externa que rodea el volumen de contención y se extiende en una dirección vertical. El método comprende: instalar un conductor de transmisión para generar un campo electromagnético en el interior del recipiente metalúrgico, e instalar un conductor de recepción en el interior del recipiente metalúrgico para detectar el campo electromagnético para la generación de una señal de salida en función del nivel de llenado vertical, en el que los conductores de transmisión y de recepción están instalados en el interior de la carcasa de metal para extenderse de manera conjunta con un distanciamiento mutuo para definir un área de distanciamiento  
65 que está orientada hacia el volumen de contención y se extiende a lo largo de la periferia del volumen de contención

en un bucle esencialmente cerrado, en el que el distanciamiento mutuo se selecciona de manera que los cambios en la señal de salida se ven dominados por los cambios en el campo electromagnético provocados por cambios locales en la cantidad de material fundido adyacente a dicha área de distanciamiento, y en el que al menos parte del área de distanciamiento está dispuesta para definir una región de medición vertical en la que el área de distanciamiento está inclinada a lo largo de la periferia para divergir con respecto a las direcciones horizontal y vertical del recipiente.

Un cuarto aspecto de la invención es un método de funcionamiento del sistema del primer aspecto. El método comprende: suministrar una energía eléctrica alterna al conductor de transmisión, obtener la señal de salida desde el conductor de recepción, y procesar la señal de salida para extraer una medida representativa del nivel de llenado vertical.

Cualquiera de las realizaciones del primer aspecto puede combinarse con los aspectos segundo a cuarto.

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

### Breve descripción de dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención con más detalle con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos.

La figura 1 es una vista en perspectiva de un recipiente metalúrgico con un sistema de medición de nivel.

La figura 2 es una vista lateral ampliada de una parte de un par de conductores en el sistema de medición de la figura 1.

Las figuras 3A y 3B son vistas de sección perpendicular al par de conductores en la figura 2 sin y con, respectivamente, interacción entre un campo electromagnético generado y metal fundido en el recipiente.

La figura 4 es una vista de sección horizontal de un par de conductores y otra parte del par de conductores.

La figura 5 es una vista en perspectiva del campo magnético generado alrededor de un conductor de longitud infinita.

Las figuras 6A-6C son configuraciones a modo de ejemplo del par de conductores para diferentes formas del volumen de contención.

La figura 7 es un gráfico de amplitud de señal en función del nivel obtenido para la configuración en la figura 6A.

La figura 8 es un diagrama de bloques de un par de conductores conectados a una unidad de procesamiento para generación de señal y recopilación de datos.

La figura 9 es un diagrama de bloques de una pluralidad de pares de conductores conectados a una unidad de procesamiento.

La figura 10 es una vista en perspectiva de una combinación de un par de conductores inclinados y pares de conductores horizontales.

Las figuras 11A-11C son gráficos de una función de sensibilidad para los diferentes pares de conductores en la figura 10.

### Descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo

A continuación, se describirán unas pocas realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención solo por motivos de ilustración. A lo largo de la descripción, se usan los mismos números de referencia para identificar elementos correspondientes.

Antes de volver a las realizaciones a modo de ejemplo, se proporcionarán unas pocas definiciones y explicaciones básicas.

Tal como se usa en el presente documento, un "campo electromagnético" es un campo físico producido por objetos cargados eléctricamente que se mueven. Afecta al comportamiento de objetos cargados en las proximidades del campo. El campo electromagnético se extiende de manera indefinida a lo largo del espacio. El campo puede verse como una combinación de un campo eléctrico E y un campo magnético B, siendo cada uno un campo vectorial tridimensional. Cada uno de los campos vectoriales tiene un valor definido en cada punto del espacio y el tiempo y pueden considerarse como funciones de coordenadas en el espacio y el tiempo. El campo eléctrico se produce

mediante cargas estacionarias, y el campo magnético por cargas móviles (corrientes).

El término “acoplamiento electromagnético” (también conocido como “acoplamiento inductivo”) se refiere al fenómeno de que un cambio en el flujo de corriente a través de un primer conductor induce una tensión entre los extremos de un segundo conductor a través de inducción electromagnética. La cantidad de acoplamiento electromagnético entre dos conductores se mide mediante su inductancia mutua. La inductancia mutua cuantifica la producción de “fuerza electromotriz” (emf) en el segundo conductor mediante el cambio de corriente en el primer conductor. La fuerza electromotriz inducida  $\varepsilon$  de un bucle cerrado  $C$  en presencia de un campo magnético variable  $B$  es una tensión dada por la integral del campo eléctrico alrededor de la trayectoria cerrada estacionaria del bucle:

$$\varepsilon = \oint_C E \cdot dl$$

donde  $E$  es todo el campo eléctrico, y la integral es alrededor de una curva cerrada arbitraria pero estacionaria  $C$  a través de la cual existe un campo magnético variable.

Las corrientes parásitas (también conocidas como “corrientes de Foucault”) son corrientes inducidas en un material conductor cuando se expone a un campo magnético variable en el tiempo. Las corrientes se forman como remolinos circulantes que tienen inductancia y por tanto inducen campos magnéticos. Cuando más intenso es el campo magnético aplicado, o mayor es la conductividad eléctrica del material conductor, o más rápido cambia el campo, entonces mayores son las corrientes parásitas que se desarrollan y mayores son los campos producidos.

Realizaciones de la presente invención se refieren a la medición de nivel en recipientes metalúrgicos detectando una tensión alterna que se induce en una bobina de recepción mediante una corriente alterna suministrada a una bobina de transmisión. La corriente alterna también induce corrientes parásitas en el material conductor que se está procesando dentro del recipiente, y el campo magnético producido por estas corrientes parásitas cambia el campo magnético en la bobina de recepción, para provocar un cambio en la tensión inducida (emf) en la bobina de recepción. Un desafío es conseguir una relación funcional útil y predecible entre señal de salida y la cantidad de material conductor en el recipiente, es decir el nivel de llenado.

La figura 1 ilustra un recipiente 1 metalúrgico con una carcasa o camisa 2 externa de metal que define una cavidad 3 interna (volumen de contención) para un material eléctricamente conductor que va a procesarse en el recipiente 1. El recipiente 1 puede ser cualquier tipo de recipiente metalúrgico, tal como un horno, una artesa, una cuchara, un molde, etc. El material conductor puede ser un metal o un semiconductor, normalmente calentado hasta estado líquido, pero alternativamente en forma de polvo o granulado. Por simplicidad, el material conductor se denominará “material fundido” a continuación. Una disposición 4 de bobinas está instalada en el interior de la carcasa 2 para rodear una parte de la cavidad 3. La disposición 4 de bobinas está formada por un conductor 5 de transmisión y un conductor 6 de recepción que están dibujados alrededor de la cavidad 3 como un par de líneas que se extienden conjuntamente con un distanciamiento mutuo  $d$  dado. Los conductores 5, 6 forman por tanto una bobina de transmisión y una bobina de recepción que están desplazadas entre sí el distanciamiento mutuo  $d$  en paralelo a la periferia de la cavidad 3. Conceptualmente, esto puede verse como un “área 7 de distanciamiento” que se forma entre los conductores 5, 6 alrededor de la cavidad 3. Tal como se observa en la figura 1, el área 7 de distanciamiento está inclinada en parte a través de la periferia de la cavidad 3.

La figura 2 es una vista ampliada de la parte inclinada de los conductores 5, 6 de extensión conjunta tal como se observa en una vista lateral de alzado, es decir proyectada sobre la periferia de la cavidad 3. En la figura 2, la cavidad 3 está llena parcialmente con un metal fundido, que por tanto define una superficie 10 superior. La disposición 4 de bobinas está dispuesta de manera que el acoplamiento electromagnético entre los conductores se produce principalmente entre segmentos de línea opuestos ( $\Delta l_i$ ) a lo largo de la parte inclinada, tal como se indica mediante las flechas de doble final. De ese modo, los segmentos de línea experimentan dos tipos de entornos, o bien con presencia de material conductor o bien con ausencia de material conductor.

La figura 3A es una vista de un corte a lo largo de la línea de puntos 3A en la figura 2, es decir con ausencia de material fundido en la cavidad 3 adyacente al segmento de línea. En el ejemplo ilustrado, los conductores 5, 6 están integrados en un material 11 de revestimiento que proporciona una pared 12 de definición de cavidad. Puede usarse cualquier tipo de material de revestimiento convencional, por ejemplo enladrillado refractario o material refractario apisonado o de fundición que forma un revestimiento monolítico. Por tanto hay una determinada distancia horizontal entre el área 7 de distanciamiento y la pared 12. La figura 3A ilustra el campo magnético  $B$  y el campo eléctrico  $E$  generados por el conductor 5 de transmisión y detectados por el conductor 6 de recepción, así como corrientes 20 parásitas que se generan en la carcasa 2 de metal. Tal como se observa, el campo magnético  $B$  se adentra en la cavidad 3. En el ejemplo ilustrado, el área 7 de distanciamiento es esencialmente paralela a la periferia de la cavidad 3, aunque es concebible que el área 7 de distanciamiento esté inclinada hacia o alejándose de la cavidad 3.

La figura 3B es una vista de un corte a lo largo de la línea de puntos 3B en la figura 2, es decir con presencia de material conductor en la cavidad 3 adyacente al segmento de línea. Tal como se muestra, el campo magnético  $B$



induce corrientes 20 parásitas en la carcasa 2 de metal así como corrientes 21 parásitas en el material fundido en la pared 12, es decir en la periferia de la cavidad 3. Las corrientes 21 parásitas en el metal fundido provocan una reducción en la intensidad del campo magnético  $B$  que pasa alrededor del conductor 6 de recepción. De ese modo, el acoplamiento entre el conductor 5 de transmisión y el conductor 6 de recepción se reduce localmente. El distanciamiento mutuo de los conductores 5, 6 es tal que el conductor 6 de recepción está ubicado en el campo cercano del campo magnético  $B$  generado por el conductor 5 de transmisión. En la ausencia de material conductor en el entorno local del segmento de línea, el campo magnético caería a un ritmo proporcional a  $1/R^\alpha$ , normalmente con  $\alpha=1$ , o al menos estando  $\alpha$  en el intervalo de 1-2, y siendo  $R$  la distancia perpendicular desde el conductor 5 de transmisión. En presencia de material conductor en el entorno local del segmento de línea, el campo magnético cae a un ritmo más pronunciado. De ese modo, cada segmento de línea puede representarse como un conmutador de encendido/apagado parcial para el segmento de línea, con respecto a la fuerza electromotriz generada en el conductor 6 de recepción, donde el funcionamiento del conmutador se controla mediante la presencia y ausencia de metal fundido. La emf inducida  $\Delta\epsilon_i$  para el segmento de línea  $i$  a lo largo de la disposición 4 de bobinas puede describirse como

$$\Delta\epsilon_i = \Delta\epsilon_{vacía,i} - \Delta\epsilon_{parásita,i}$$

donde  $\Delta\epsilon_{vacía,i}$  es la emf inducida en ausencia de metal fundido adyacente, y  $\Delta\epsilon_{parásita,i}$  es la reducción en emf inducida como resultado de las corrientes 21 parásitas en metal fundido adyacente. En la ausencia de metal fundido adyacente,  $\Delta\epsilon_{parásita,i} = 0$ . En presencia de metal fundido adyacente,  $\Delta\epsilon_{parásita,i}$  tiene un valor que depende de la configuración específica del segmento de línea individual. La respuesta total de la disposición 4 de bobinas, es decir la emf inducida total a lo largo de la disposición 4 de bobinas, puede representarse como una suma de la emf inducida para todos los segmentos de línea:

$$\epsilon = \epsilon_{vacía} - \beta \cdot f(h)$$

donde  $\epsilon_{vacía}$  es la emf inducida cuando la cavidad 3 está vacía y  $\beta$  es una constante que depende del acoplamiento local real entre la bobina de transmisión, el metal fundido y la bobina de recepción. La función de sensibilidad  $f(h)$  dependerá de las configuraciones de los segmentos de línea individuales, es decir la distribución del área 7 de distanciamiento en función del nivel de llenado  $h$ . De ese modo, la respuesta total (la función de transferencia) es una función del nivel de llenado vertical de metal fundido en la cavidad. A medida que el nivel de llenado cambia con el tiempo, también lo hace la respuesta total. La relación anterior es aproximadamente válida incluso si los segmentos de línea no forman conmutadores de encendido/apagado perfectos.

Se observa que cualquier función de transferencia de disminución monótona puede obtenerse mediante la configuración apropiada de la disposición 4 de bobinas. Tal como se observa a partir de la figura 1, el uso de un par de conductores inclinados permite que la disposición 4 de bobinas interactúe con una gran parte de la cavidad 3.

Además, se cree que puede ser deseable evitar que la disposición 4 de bobinas tenga una extensión sustancial en la dirección horizontal, dado que esto puede provocar que el campo electromagnético generado alrededor del conductor 5 de transmisión horizontal induzca tensiones en el par de conductores inclinados. Por tanto, actualmente se cree que la extensión horizontal del par de conductores deberá ser menor de aproximadamente 1/10, y preferiblemente menor de aproximadamente 1/15 ó 1/20, de la longitud total del par de conductores.

Tal como se explica en la sección de sumario existen varios criterios de diseño disponibles que pueden aplicarse para garantizar que el acoplamiento electromagnético es local. Un criterio de diseño adicional se ilustra en la figura 4, concretamente para garantizar que el conductor 6 de recepción, en todos los planos geométricos que se extienden perpendiculares al conductor 6 de recepción, está suficientemente distanciado con respecto a otras partes del conductor 5 de transmisión. Esta distancia  $D$ , indicada en la figura 4, puede que se requiera que sea al menos 3 veces el distanciamiento mutuo, y posiblemente al menos 4, 5, 6, 7, 8, 9 ó 10 veces el distanciamiento mutuo.

También puede desearse garantizar una extensión regular del par de conductores alrededor de la periferia de la cavidad 3. Por ejemplo, puede ser deseable evitar giros pronunciados a lo largo de la extensión del par de conductores. Según otro criterio de diseño, la extensión del par de conductores a lo largo del bucle es tal que el campo electromagnético generado en el conductor 6 de recepción puede aproximarse mediante el campo electromagnético alrededor de un conductor recto de longitud infinita, por ejemplo tal como se muestra en la figura 5. Por ejemplo, la distancia mutua  $d$  puede seleccionarse de manera que la extensión local del conductor 5 de transmisión, tal como se ve desde cualquier posición a lo largo del conductor 6 de recepción, puede aproximarse mediante un conductor recto.

También se observa que la respuesta dentro de una región específica puede ajustarse finamente, por ejemplo, modificando localmente la distancia mutua  $d$ . Por ejemplo, la distancia mutua  $d$  puede aumentarse donde se gira el par de conductores (por ejemplo en las esquinas) para reducir localmente la respuesta de la disposición 4 de bobinas.

La disposición 4 de bobinas puede estar diseñada para cualquier forma de la cavidad 3 e instalada en el recipiente 1 para permitir la detección a lo largo de cualquier alcance de medición vertical deseado, por ejemplo todo el recorrido desde una altura dada hasta el fondo del recipiente 1. Usando determinados criterios de diseño, tal como se describió anteriormente en la sección de sumario, puede conseguirse una función de transferencia lineal a lo largo del alcance de medición deseado y sin ningún punto de inflexión. Según un criterio de este tipo, la disposición 4 de bobinas está diseñada para mantener una longitud de detección esencialmente constante en función de la altura, donde la longitud de detección es la extensión agregada del área 7 de distanciamiento a lo largo de los conductores 5, 6 dentro de un corte horizontal tomado a cada altura dentro del alcance de medición. Se observa que este criterio se cumple dentro de la parte inclinada de la disposición 4 de bobinas en la figura 1, pero se incumple en las partes superior e inferior, que se extienden horizontalmente a lo largo de toda la profundidad del recipiente 1. Por tanto, la disposición 4 de bobinas en la figura 1 puede proporcionar una respuesta lineal dentro de la región inclinada, pero es probable que produzca una no linealidad y puntos de inflexión en las partes superior e inferior. La figura 6A es una vista en perspectiva de una modificación de la disposición 4 de bobinas en la figura 1 para cumplir el criterio anterior a lo largo de toda la extensión vertical de la disposición 4 de bobinas y de ese modo producir una respuesta lineal sin puntos de inflexión.

Las figuras 6B y 6C son vistas en perspectiva de disposiciones 4 de bobinas que cumplen este criterio y pueden producir una respuesta lineal sin puntos de inflexión en una cavidad 3 cilíndrica con sección transversal circular y una cavidad 3 con una parte de pared esférica, respectivamente. Ha de entenderse que estas formas de cavidad solo se incluyen por motivos de ilustración, y que pueden diseñarse disposiciones 4 de bobinas para cumplir los criterios anteriores independientemente de la forma de la cavidad.

La figura 7 es un gráfico de una curva de respuesta (función de transferencia) para la disposición 4 de bobinas en la figura 6A, dada como amplitud en una señal de tensión obtenida desde el conductor 6 de recepción en función del nivel de llenado en el recipiente 1. Tal como se observa la respuesta es dependiente linealmente del nivel de llenado dentro del alcance de medición, que coincide con la extensión vertical de la disposición 4 de bobinas, y es invariable con respecto al nivel de llenado fuera del alcance de medición.

En comparación con las técnicas de la técnica anterior que son ampliamente no lineales y presentan puntos de inflexión, las realizaciones en la figura 6 pueden conducir a una mejora significativa de las prestaciones de medición sobre superficies violentas que cambian en una escala de tiempo comparable a, o más rápido que, la frecuencia del campo electromagnético (es decir la frecuencia de la corriente alterna suministrada al conductor 5 de transmisión). Incluso las perturbaciones rápidas se promedian mediante su interacción electromagnética con las bobinas de manera que puede calcularse un promedio con respecto al tiempo válido para un conjunto de muestras consecutivas.

La figura 8 es un diagrama de bloques de una realización de una unidad 25 de procesamiento conectada a los conductores 5, 6 de transmisión y de recepción para generar una medida del nivel de llenado vertical (véase la figura 7). El recuadro de puntos forma un transceptor 26 con circuitería para accionar el conductor 5 de transmisión y para obtener una señal de salida desde el conductor 6 de recepción. Un procesador 27 de señal está conectado al transceptor 26 para extraer la medida del nivel de llenado vertical de la señal de salida. En el ejemplo de la figura 8, un sintetizador 28 digital directo (DDS) está configurado para crear una forma de onda adecuada, por ejemplo una sinusoidal, a una frecuencia deseada basándose en un reloj 29 de referencia común. Dependiendo de la implementación, la frecuencia puede estar en el intervalo de frecuencia de aproximadamente 50 Hz a 100 kHz. La salida del DDS 28 se suministra a un amplificador 30 de potencia que de ese modo suministra una señal de corriente de estado estable alterna de magnitud adecuada al conductor 5 de transmisión. Un amplificador 31 previo está conectado para detectar y amplificar una tensión alterna a lo largo del conductor 6 de recepción. Tras filtrar en un filtro 32 pasa banda dedicado, la señal de tensión amplificada se procesa mediante una conversión analógica a digital sincrónica en un convertidor 33 analógico a digital (ADC). De ese modo, el ADC 33 puede suministrar una señal de salida que comprende información sobre fase y/o amplitud de la tensión detectada. Dependiendo de la implementación, la medida del nivel de llenado vertical puede calcularse en función de la fase o la amplitud de la tensión detectada, o una combinación de las mismas. Esto lo conoce bien el experto en la técnica.

Debe entenderse que la técnica no se limita a usar un único par de conductores. En su lugar, pueden instalarse dos o más pares de conductores, por ejemplo, para proporcionar alcances de medición a diferentes alturas del recipiente y/o para proporcionar diferentes funciones de transferencia. La figura 9 ilustra una realización de este tipo con un número  $n$  de pares de conductores diferentes dispuestos para formar un respectivo bucle alrededor de la cavidad de un recipiente metalúrgico. En la realización de la figura 9, cada par de conductores 5, 6 está conectado a un respectivo transceptor 26, y las señales de salida de los transceptores 26 se procesan mediante un procesador 27 de señal común. En la realización de la figura 9, los transceptores 26 pueden funcionar a frecuencias diferentes.

La fluctuación es inherente a todos los tipos de sensores electromagnéticos debido a cambios en la geometría del recipiente 1, por ejemplo provocados por cambios de temperatura, desgaste de revestimiento e inclusiones de material. Se ha encontrado que el sistema de medición de la invención es ventajosamente insensible a tales fluctuaciones dado que la función de transferencia de la disposición 4 de bobinas se ve relativamente inafectada por los cambios asociados a la geometría. Para cambios moderados en la geometría, la función de transferencia

meramente se desplaza, provocando un desplazamiento lineal de la curva de respuesta. Por tanto, con una función de transferencia sencilla (por ejemplo lineal) uno o dos puntos de calibración son suficientes para compensar fluctuaciones en la señal de salida. Tal punto de calibración puede obtenerse por ejemplo incluyendo un par de conductores que se extienden horizontalmente alrededor de la cavidad para formar un par de conductores horizontales. La tensión sobre el par de conductores horizontales disminuye significativamente y de manera brusca (cambio escalonado) cuando el nivel de llenado alcanza el par de conductores horizontales, y la posición vertical del cambio escalonado se verá esencialmente inafectada por cambios geométricos. Se observa que pueden compensarse desplazamientos desconocidos en una curva de respuesta lineal de conductores inclinados, correlacionando la respuesta medida a partir de los conductores inclinados en la ubicación del cambio escalonado con la curva de respuesta lineal. Pueden incluirse puntos de calibración adicionales para tener en cuenta cambios en la inclinación de la curva de respuesta lineal, o para compensar fluctuaciones cuando la curva de respuesta es parcialmente no lineal. Ha de entenderse que los pares de conductores horizontales (bobinas de calibración) pueden estar controlados por transceptores independientes conectados a un procesador de señal común, tal como se describe en relación con la figura 9.

La figura 10 ilustra un ejemplo de una disposición 4 de bobinas que proporciona una función de transferencia lineal y dos puntos de calibración inherentes. La disposición 4 de bobinas comprende un par de conductores 5, 6 inclinados que se extienden por un alcance de medición vertical y dos pares de conductores 5', 6' horizontales dispuestos a niveles verticales diferentes dentro del alcance de medición. Esta realización permite la calibración del alcance de medición completo cada vez que el nivel de llenado pasa los pares de conductores 5', 6' horizontales. Las figuras 11A-11C ilustran la función de sensibilidad  $f(h)$  para el par de conductores inclinados, el par de conductores horizontales superior y el par de conductores horizontales inferior, respectivamente, en relación con el nivel de llenado vertical. Tal como se explicó anteriormente, la función de sensibilidad  $f(h)$  representa la contribución de la señal que se origina a partir de corrientes parásitas en el metal fundido a lo largo del área 7 de distanciamiento.

Aunque la invención se ha descrito en conexión con las que se consideran actualmente las realizaciones más prácticas y preferidas, ha de entenderse que la invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer, sino que por el contrario, pretende cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del espíritu y el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, el conductor de transmisión y el conductor de recepción pueden estar formados cada uno por un único hilo o por una pluralidad de hilos.

También se entiende que el bucle formado por el par de conductores de extensión conjunta puede complementarse mediante uno o más conductores de transmisión y/o conductores de recepción adicionales que se disponen para extenderse conjuntamente con y estar distanciados con respecto al bucle.

Además, la invención tal como se describe en el presente documento puede ser igualmente aplicable para mediciones de nivel en recipientes metalúrgicos con carcasa no de metal, por ejemplo una carcasa de material de cerámica.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para medir un nivel de llenado vertical de material eléctricamente conductor en un volumen (3) de contención de un recipiente (1) metalúrgico, estando definido el recipiente (1) metalúrgico por una carcasa (2) de metal externa que rodea el volumen (3) de contención y se extiende en una dirección vertical, comprendiendo el sistema:
- un conductor (5) de transmisión para generar un campo electromagnético cuando se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna,
- un conductor (6) de recepción que está dispuesto para detectar el campo electromagnético para la generación de una señal de salida en función del nivel de llenado vertical,
- en el que los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción están dispuestos en el interior de la carcasa (2) de metal para extenderse conjuntamente con un distanciamiento mutuo (d) para definir un área (7) de distanciamiento que está orientada hacia el volumen (3) de contención y se extiende a lo largo de la periferia del volumen (3) de contención en un bucle cerrado, en el que el conductor (6) de recepción está dispuesto en el campo cercano del conductor (5) de transmisión de modo que los cambios en la señal de salida se ven dominados por los cambios en el campo electromagnético provocados por cambios locales en la cantidad de material conductor adyacente a dicha área (7) de distanciamiento, y en el que al menos parte del área (7) de distanciamiento define una región de medición vertical en la que el área (7) de distanciamiento está inclinada a lo largo de la periferia para divergir de las direcciones horizontal y vertical del recipiente (1).
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el distanciamiento mutuo (d) se selecciona para garantizar que el acoplamiento electromagnético entre los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción se consigue principalmente entre segmentos opuestos ( $\Delta l_i$ ) de los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción a lo largo del área (7) de distanciamiento.
3. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el distanciamiento mutuo (d) se selecciona de manera que la intensidad del campo electromagnético, en ausencia de material conductor en el volumen (3) de contención, cae en función de  $1/R^\alpha$ , siendo R la distancia desde el conductor (5) de transmisión en el área (7) de distanciamiento y estando  $\alpha$  en el intervalo de 1-2.
4. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el área (7) de distanciamiento está dispuesta de manera que el campo electromagnético en el conductor (6) de recepción, con respecto al conductor (5) de transmisión y en ausencia de material conductor en el volumen (3) de contención, se aproxima mediante un campo electromagnético generado alrededor de un conductor recto de longitud infinita.
5. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el recipiente (1) metalúrgico comprende además un revestimiento (11) de protección dispuesto en el interior de la carcasa (2) de metal para definir una pared (12) interna distanciada con respecto a la carcasa (2) de metal y que define la periferia del volumen (3) de contención, en el que los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción están dispuestos con una separación horizontal entre el área (7) de distanciamiento y la pared (12) interna, en el que el distanciamiento mutuo (d) se selecciona para que esté al menos en el mismo orden de magnitud que la separación horizontal.
6. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el conductor (5) de transmisión está dispuesto de manera que la intensidad promedio del campo electromagnético en el material conductor en la periferia del volumen (3) de contención orientado hacia el área (7) de distanciamiento es esencialmente independiente de la posición vertical dentro de la región de medición vertical.
7. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el distanciamiento mutuo (d) se selecciona de manera que la distancia horizontal desde el conductor (6) de recepción hasta la periferia del volumen (3) de contención es esencialmente invariable dentro de la región de medición vertical.
8. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el área (7) de distanciamiento está dispuesta para proporcionar aproximadamente la misma longitud de detección para diferentes alturas en la dirección vertical dentro de la región de medición vertical, siendo la longitud de detección la extensión total del área (7) de distanciamiento a lo largo de los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción dentro de un corte horizontal tomado a una altura dada en la dirección vertical.
9. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el área (7) de distanciamiento está dispuesta de manera que una fuerza electromotriz total inducida en el conductor (6) de recepción por el campo electromagnético es una función esencialmente lineal del nivel de llenado vertical en la región de medición vertical.

- 5 10. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el área (7) de distanciamiento está dispuesta de manera que una fuerza electromotriz total inducida en el conductor (6) de recepción por el campo electromagnético es esencialmente invariable con respecto al nivel de llenado vertical cuando el nivel de llenado vertical se extiende fuera de la región de medición vertical.
- 10 11. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción están dispuestos de manera que el bucle encierra una línea central vertical del volumen (3) de contención.
- 15 12. Sistema según la reivindicación 11, en el que el volumen (3) de contención está definido al menos parcialmente por una parte de pared esencialmente cilíndrica que se extiende alrededor de la línea central vertical, en el que el bucle está formado en la parte de pared cilíndrica para rodear el volumen (3) de contención.
- 20 13. Sistema según cualquier reivindicación anterior, que comprende además al menos un conductor (5') de transmisión adicional para generar un campo electromagnético cuando se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna, y al menos un conductor (6') de recepción adicional que está dispuesto para detectar el campo electromagnético para la generación de una señal de salida adicional, en el que el al menos un conductor (5') de transmisión adicional y el al menos un conductor (6') de recepción adicional están dispuestos en el interior de la carcasa (2) de metal en una posición vertical dentro de la región de medición vertical, para extenderse conjuntamente de manera horizontal alrededor del volumen (3) de contención con un distanciamiento mutuo.
- 25 14. Método de instalación de un sensor electromagnético para medir un nivel de llenado vertical de material eléctricamente conductor en un volumen (3) de contención de un recipiente (1) metálico, estando definido el recipiente (1) metálico por una carcasa (2) de metal externa que rodea el volumen (3) de contención y se extiende en una dirección vertical, comprendiendo el método las etapas de:
- 30 instalar un conductor (5) de transmisión para generar un campo electromagnético en el interior del recipiente (1) metálico, e
- 35 instalar un conductor (6) de recepción en el interior del recipiente (1) metálico para detectar el campo electromagnético para la generación de una señal de salida en función del nivel de llenado vertical,
- 40 en el que las etapas de instalación de los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción comprenden además:
- 45 instalar los conductores (5, 6) de transmisión y de recepción en el interior de la carcasa (2) de metal para extenderse conjuntamente con un distanciamiento mutuo (d) para definir un área (7) de distanciamiento que está orientada hacia el volumen (3) de contención y se extiende a lo largo de la periferia del volumen (3) de contención en un bucle cerrado,
- 50 disponer el conductor (6) de recepción en el campo cercano del conductor (5) de transmisión de modo que los cambios en la señal de salida se ven dominados por los cambios en el campo electromagnético provocados por cambios locales en la cantidad de material conductor adyacente a dicha área (7) de distanciamiento, y
- 55 disponer al menos parte del área (7) de distanciamiento para definir una región de medición vertical en la que el área (7) de distanciamiento está inclinada a lo largo de la periferia para divergir con respecto a las direcciones horizontal y vertical del recipiente (1).
- 60 15. Método de funcionamiento del sistema tal como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, comprendiendo dicho método:
- suministrar una energía eléctrica alterna al conductor (5) de transmisión,
- obtener la señal de salida desde el conductor (6) de recepción, y
- procesar la señal de salida para extraer una medida representativa del nivel de llenado vertical.

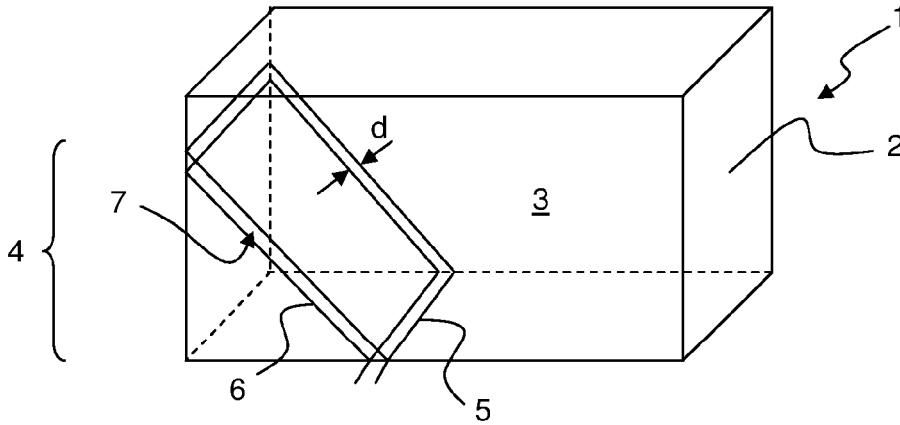


FIG. 1

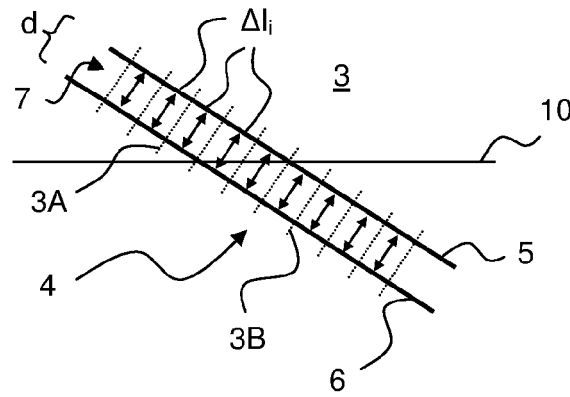


FIG. 2

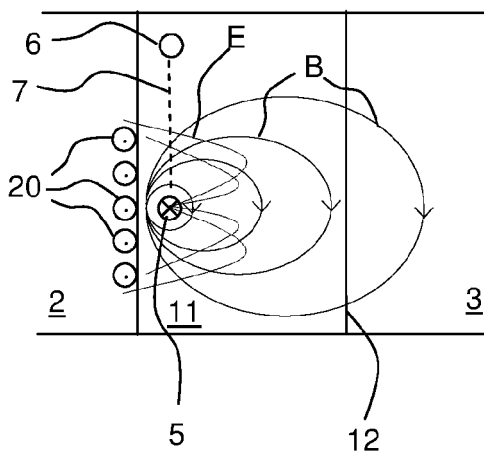


FIG. 3A

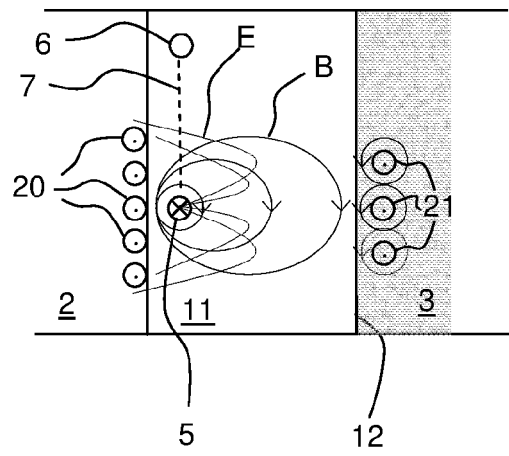


FIG. 3B

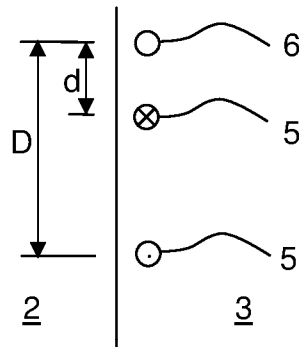


FIG. 4

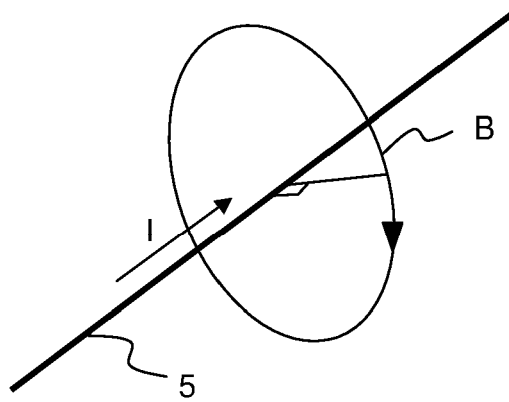


FIG. 5

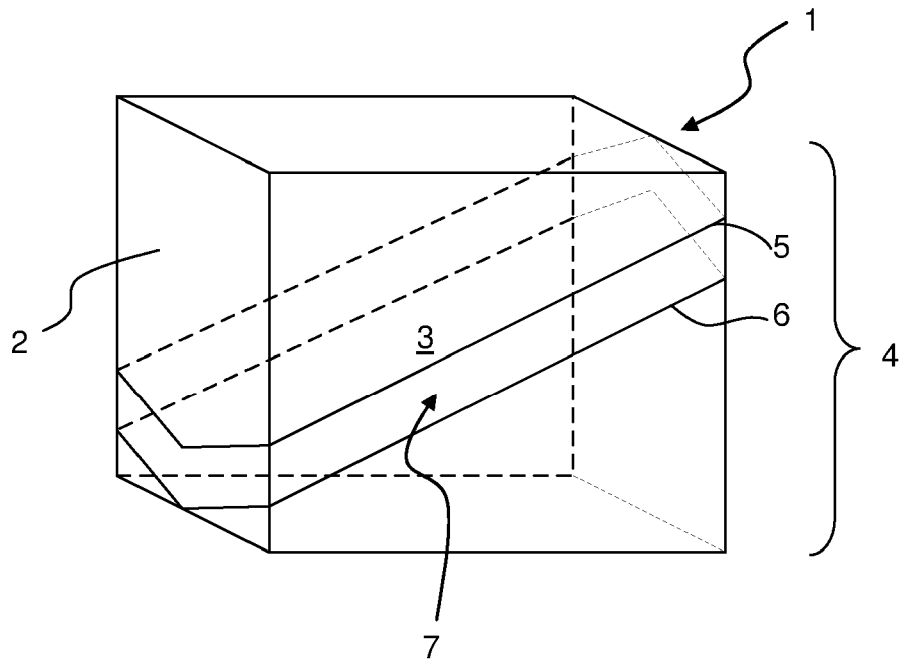


FIG. 6A

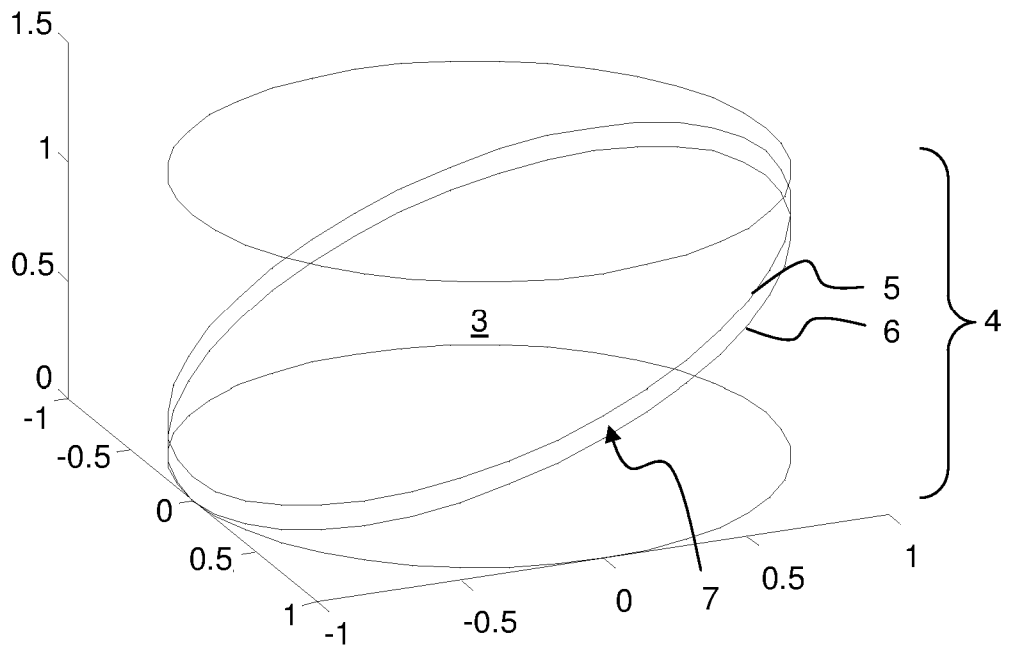


FIG. 6B

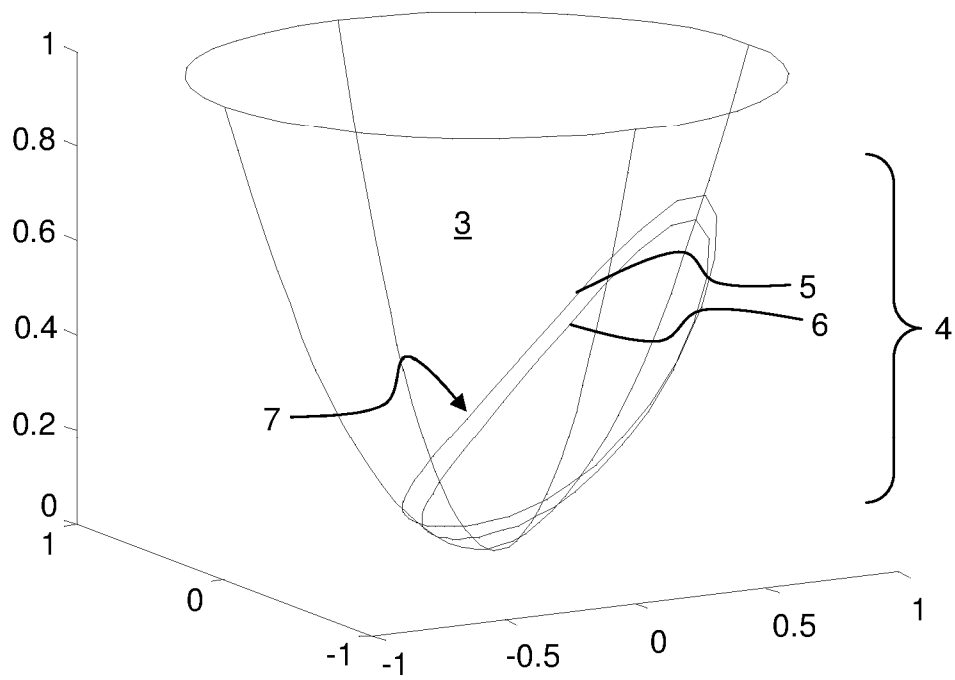


FIG. 6C



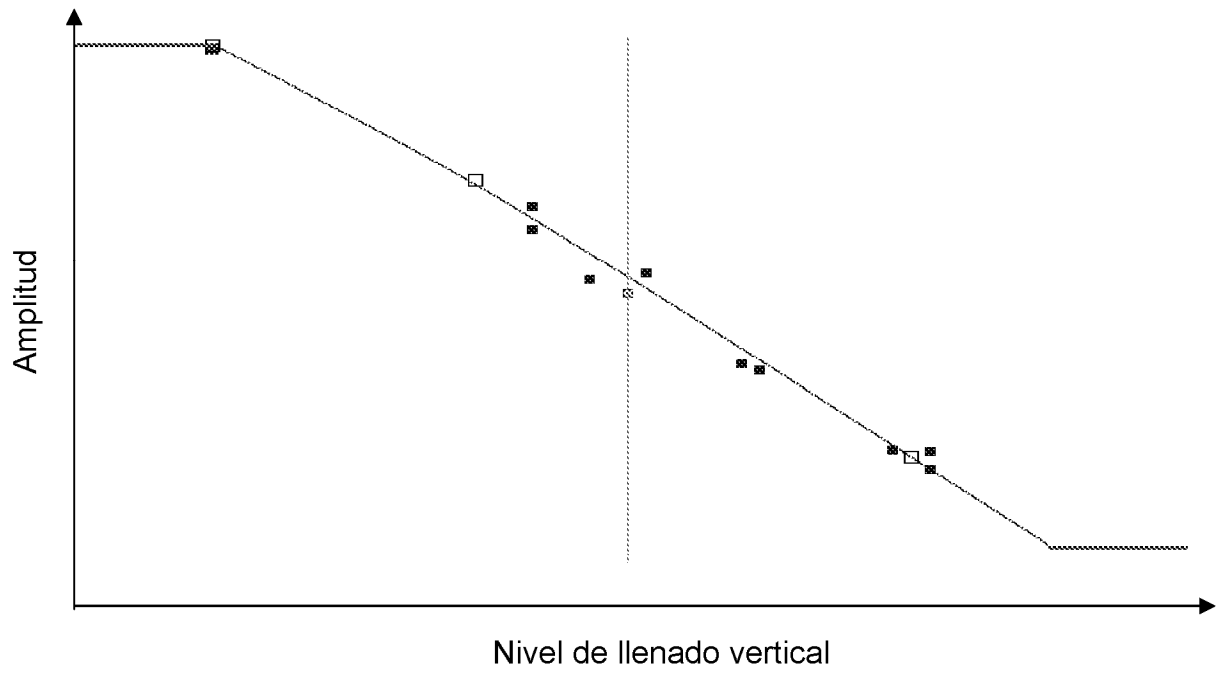


FIG. 7

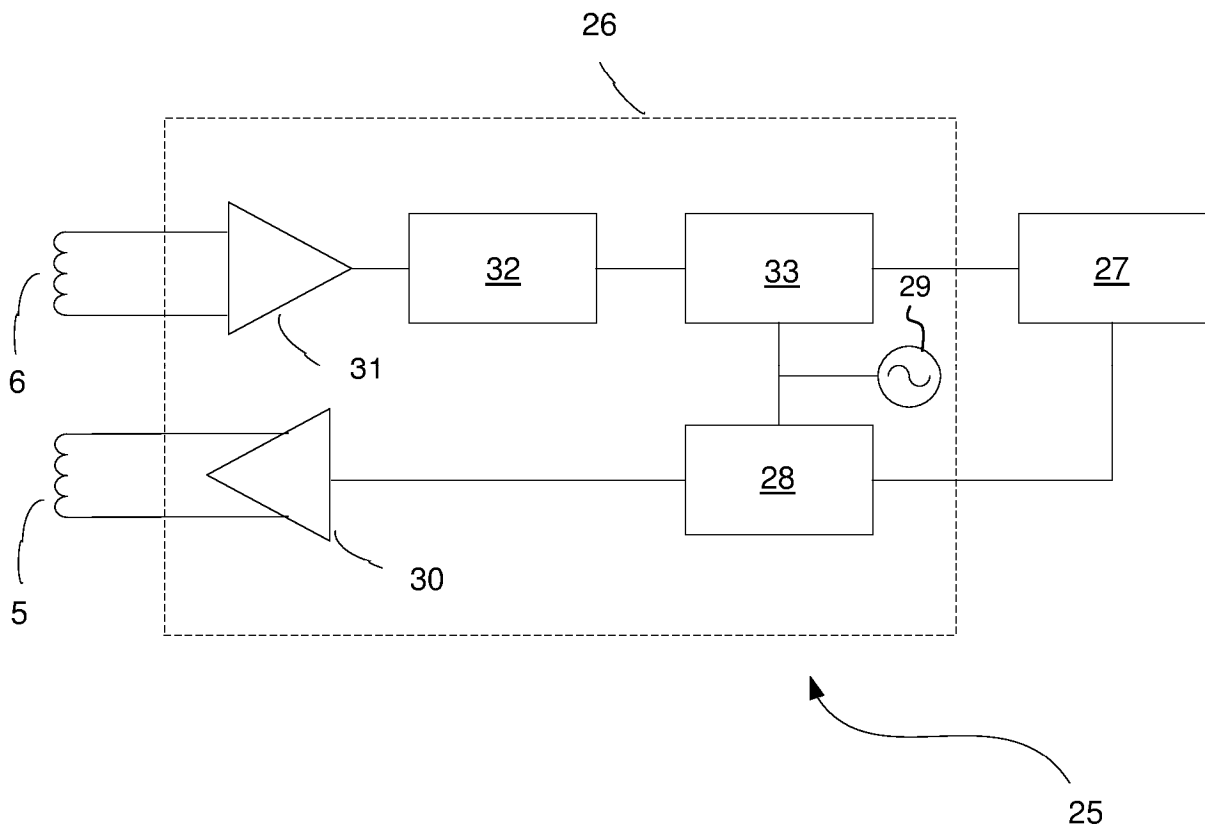


FIG. 8

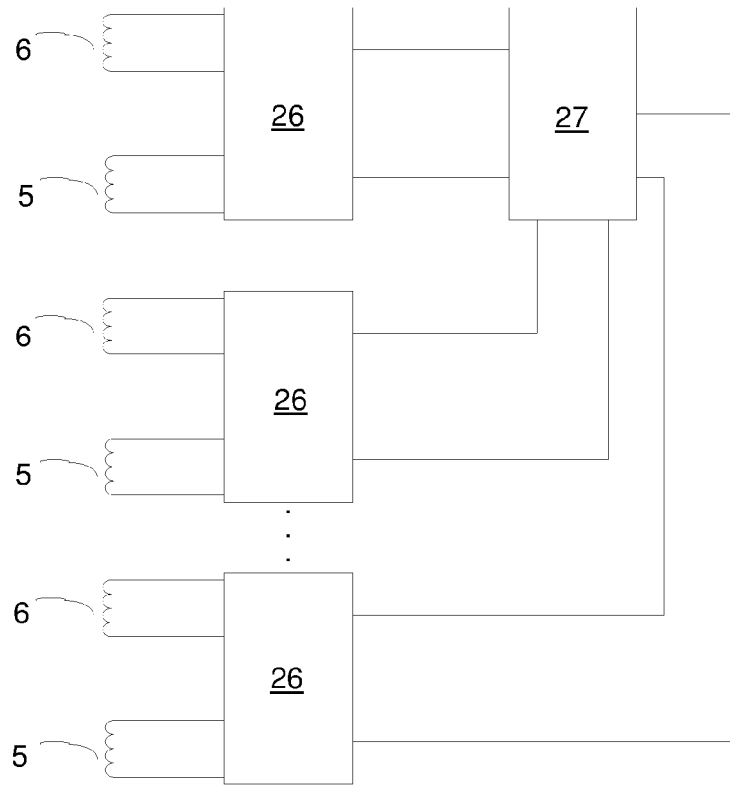


FIG. 9

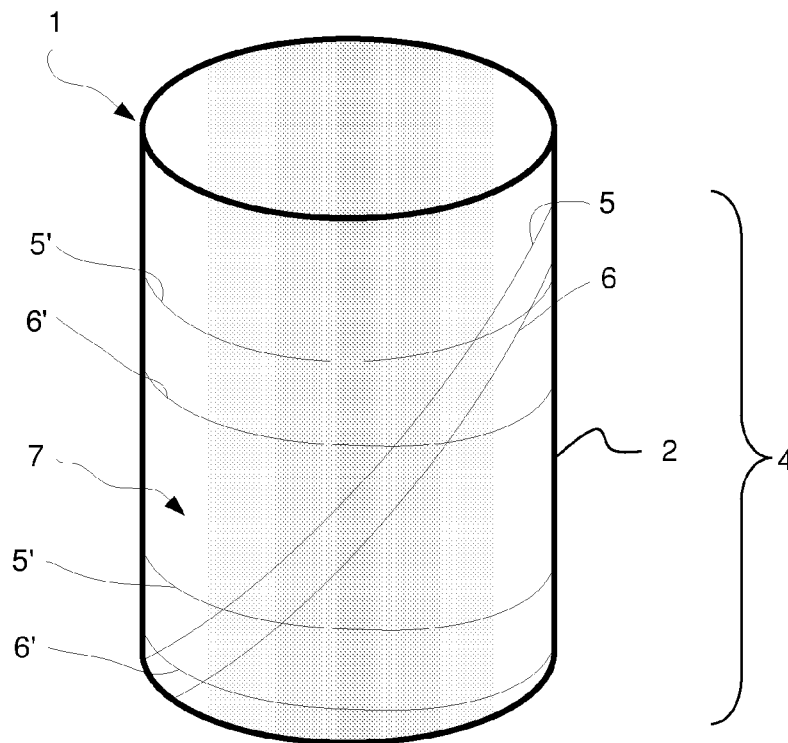


FIG. 10

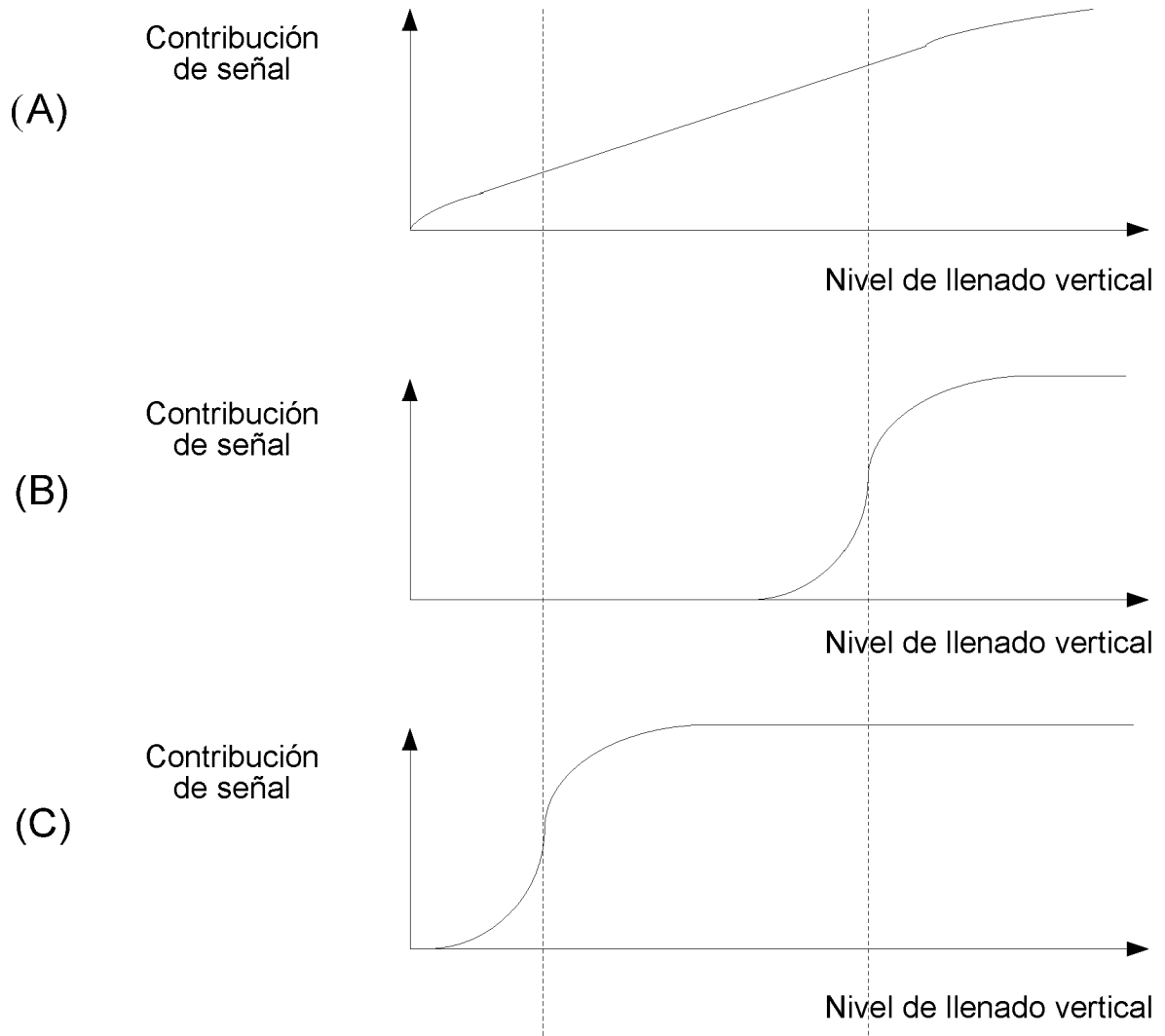


FIG. 11