

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 845 748**

51 Int. Cl.:

A61M 5/142 (2006.01)
A61M 5/168 (2006.01)
A61M 5/36 (2006.01)
G01N 29/02 (2006.01)
G01N 29/34 (2006.01)
G01N 29/42 (2006.01)
H03M 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.05.2014** **PCT/US2014/039986**
87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2014** **WO14194065**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2014** **E 14805039 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2020** **EP 3003442**

54 Título: **Sistema de infusión y método de uso que impiden la sobresaturación de un convertidor analógico-digital**

30 Prioridad:

29.05.2013 US 201361828408 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.07.2021

73 Titular/es:

ICU MEDICAL, INC. (100.0%)
951 Calle Amanecer
San Clemente, CA 92673, US

72 Inventor/es:

DUMAS, JOHN H.;
KOTNIK, PAUL T.;
SUR, KUNAL;
BELKIN, ANATOLY S. y
RUCHTI, TIMOTHY L.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 845 748 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de infusión y método de uso que impiden la sobresaturación de un convertidor analógico-digital

Campo de la divulgación

Esta divulgación está relacionada con un sistema de infusión y un método de uso que impiden sobresaturación de un convertidor analógico-digital que está siendo usado para determinar si hay aire presente en el sistema de infusión.

Antecedentes

El sistema de infusión Symbiq™, hecho por Hospira, Inc., previamente detectaba si había aire presente en el sistema de infusión al hacer funcionar uno o más sensores en su frecuencia resonante, que era determinada y establecida durante la calibración. El uno o más sensores se usaban para transmitir y recibir una señal a través de una línea de entrega de fluido del sistema de infusión a fin de determinar, sobre la base de la intensidad de la señal que se propagaba a través de la línea de entrega de fluido, si había aire, fluido o alguna combinación de los mismos dispuestos en la línea de entrega de fluido. Las señales se propagan mejor a través de fluido líquido que a través del aire. La frecuencia resonante del uno o más sensores es la frecuencia en la que la salida de la señal transmitida desde el uno o más sensores se maximiza para un medio de transferencia dado tal como para el fluido de infusión contenido dentro de la línea de entrega de fluido del sistema de infusión. Así, la sabiduría convencional ha sugerido que el uno o más sensores son más eficaces en su frecuencia resonante. Sin embargo, para convertir la señal analógica recibida de analógica a digital se usan convertidores analógico-digital a fin de que un procesador determine, sobre la base de la señal digital convertida, si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos dispuestos en la línea de entrega de fluido del sistema de infusión. Los solicitantes han observado o descubierto que bajo ciertas condiciones, los convertidores analógico-digital se pueden sobresaturar si la salida de la señal transmitida desde el uno o más sensores es demasiado alta.

Se necesita un sistema y un método para vencer una o más cuestiones de uno o más de los sistemas o métodos existentes para detectar aire en un sistema de infusión. El documento US 2010/0212407 A1 describe un detector de burbujas de aire que se puede conectar en línea con una línea de infusión intravenosa. En una realización de este documento, el detector incluye un microcontrolador y un circuito de sensor. El microcontrolador determina el intervalo óptimo de frecuencias de escaneo para el detector y hace funcionar el detector usando este intervalo de frecuencias. Cuando se hace funcionar el detector, el controlador determina frecuencias óptimas para escanear y realiza escaneos, registrando la duración o la anchura de una señal recibida que supera un umbral predeterminado. El controlador puede escanear periódicamente toda la frecuencia para actualizar el intervalo óptimo de frecuencias usado para escanear. El microcontrolador envía una señal al circuito de sensor indicando un amplio conjunto de frecuencias de prueba deseadas para la calibración. El circuito de sensor envía hacia atrás una señal de retorno al microcontrolador sobre la base de la transmisión de un intervalo de frecuencias de prueba por un sensor a través de un camino de fluido. A partir de las frecuencias de prueba se elige un conjunto óptimo de frecuencias funcionales. Una vez se elige un intervalo óptimo de frecuencias, el microcontrolador envía el conjunto óptimo de frecuencias al circuito de sensor y monitoriza la señal de retorno del circuito. Para cada señal de retorno por encima de un valor de umbral interno, se añade uno a un contador de anchura. Sobre la base del contador de anchura durante el conjunto óptimo de frecuencias, el microcontrolador determina si hay burbujas presentes y caracteriza cualesquiera burbujas en el camino de fluido. Una vez se ha enviado el conjunto óptimo de frecuencias, se restablece el contador de anchura y se reenvía el conjunto óptimo de frecuencias o se repite la calibración. Un proceso para calibrar un sensor de burbujas de aire implica una señal de calibración que incluye un barrido de potenciales frecuencias ultrasónicas que son usadas por el sensor para detectar burbujas de aire. La salida del detector de burbujas de aire es digital, analógica, datos o cualquier combinación de estos. El microcontrolador puede usar un controlador PWM o convertidor digital a analógico para generar una señal de salida analógica de tensión o corriente. La salida analógica podría transportar al sistema anfitrión los diversos tamaños de burbuja que son detectables por el sensor. El documento US 5533389 A describe sistemas que controlan el flujo a través de una línea, y en particular sistemas de entrega de fluido intravenoso. Este documento describe un sistema para controlar el flujo de fluido a través de una línea. Este tipo de sistema incluye válvulas primera y segunda en la línea entre la que se ubica una cámara, parte de la cual puede ser rellenada con fluido que tiene un volumen variable, y otra parte se rellena con un gas de medición (tal como aire). La cámara puede ser aislada de los efectos de presión en el resto de la línea al cerrar ambas válvulas. Las válvulas también pueden permitir que fluya fluido entrando o saliendo de la cámara. La segunda parte de la cámara tiene una frontera común con la primera parte de tal manera que el volumen combinado de las partes primera y segunda es constante. También hay medios para crear ondas sonoras en el gas en la segunda parte de la cámara, a fin de medir el volumen del fluido en la primera parte, para dirigir el funcionamiento de las válvulas y para crear variaciones de presión subsónica para producir el flujo deseado. La medición de volumen se logra mediante técnicas acústicas de medición de volumen. El sistema determina una frecuencia de autorresonancia del sistema, y, sobre la base de la frecuencia de autorresonancia, el volumen de líquido en la cámara. Para determinar el volumen de fluido en la cámara el controlador genera una señal eléctrica que tiene un espectro de frecuencias, que es convertida a través de un altavoz en ondas sonoras en la cámara. La respuesta acústica a la señal introducida a la cámara es captada por un micrófono. Sobre la base de la respuesta el controlador determina si una frecuencia en el espectro provoca que la masa resonante resuene, y calcula, sobre la base de una frecuencia resonante determinada, el volumen de líquido en la cámara. Para determinar la frecuencia resonante el controlador mide, a una frecuencia en el espectro, la ganancia de la respuesta acústica respecto a la

señal eléctrica. El controlador también puede medir el ángulo de fase de la respuesta acústica respecto a la señal eléctrica, a fin de determinar la frecuencia resonante. El controlador también puede detectar la presencia de una burbuja de gas en el líquido al examinar la información de fase y ganancia.

Compendio

- 5 Según la invención, se proporciona un método según la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones preferidas de la invención.

En esta memoria se describe un sistema de infusión para ser conectado funcionalmente a una línea de entrega de fluido y a un recipiente de infusión que contiene un fluido de infusión. El sistema de infusión incluye una bomba, al menos un sensor, un convertidor analógico-digital, al menos un procesador y una memoria. El al menos un sensor se dispone adyacente a la línea de entrega de fluido y se configura para transmitir y recibir una señal para detectar si hay
10 aire en la línea de entrega de fluido. El convertidor analógico-digital se conecta electrónicamente al por lo menos un sensor para convertir la señal recibida de analógica a digital. El al menos un procesador está en comunicación electrónica con la bomba, el al menos un sensor y el convertidor analógico-digital. La memoria está en comunicación electrónica con el al menos un procesador. La memoria incluye código de programación para ejecución por el al menos
15 un procesador. El código de programación se configura para hacer funcionar el al menos un sensor a una frecuencia modificada que es diferente de una frecuencia resonante del al menos un sensor a fin de reducir una amplitud de una salida de la señal transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que es menor que un nivel de saturación del convertidor analógico-digital.

En esta memoria se describe un método para detectar aire en una línea de entrega de fluido de un sistema de infusión.
20 En una etapa, se bombea fluido de infusión a través de una línea de entrega de fluido adyacente a al menos un sensor. En otra etapa, se transmite y recibe una señal utilizando el al menos un sensor hacia y desde la línea de entrega de fluido. Se hace funcionar el al menos un sensor, usando al menos un procesador, a una frecuencia modificada que es diferente de una frecuencia resonante del al menos un sensor a fin de reducir una amplitud de una salida de la señal
25 transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que es menor que un nivel de saturación de un convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital. En una etapa adicional, la señal recibida por el al menos un sensor se convierte de analógica a digital usando el convertidor analógico-digital.

En esta memoria se describe un método para disponer y usar un sistema de infusión. En una etapa, se determina una frecuencia resonante de al menos un sensor. En otra etapa, se determina un nivel de saturación de un convertidor analógico-digital. En todavía otra etapa, el al menos un sensor se dispone adyacente a una línea de entrega de fluido.
30 En incluso otra etapa, se conecta una bomba a la línea de entrega de fluido. En otra etapa, el convertidor analógico-digital se conecta electrónicamente al por lo menos un sensor. En una etapa adicional, al menos un procesador se conecta electrónicamente a la bomba, al por lo menos un sensor y al convertidor analógico-digital. En todavía otra etapa, el al menos un procesador se programa para hacer funcionar el al menos un sensor a una frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del al menos un sensor a fin de reducir una amplitud de una salida de una
35 señal transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que es menor que el nivel de saturación del convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital.

El alcance de la presente divulgación se define solamente por las reivindicaciones anexas y no es afectado por las declaraciones dentro de este compendio.

Breve descripción de los dibujos

- 40 La divulgación se puede entender mejor con referencia a los siguientes dibujos y descripción. Los componentes en las figuras no están necesariamente a escala, en cambio se pone énfasis en ilustrar los principios de la divulgación.

La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de infusión;

La Figura 2 es una gráfica que ilustra como desplazar la frecuencia de un sensor del sistema de infusión de la Figura 1 a una frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del sensor puede evitar sobresaturar un
45 dispositivo electrónico de detección de la Figura 1;

La Figura 3 ilustra una sección transversal a través de un segmento de línea de entrega de fluido acoplado a un dispositivo electrónico de transmisión, una parte de transmisor de un sensor, una parte de receptor de un sensor, y un dispositivo electrónico de detección;

La Figura 4 ilustra una vista superior a través de cristales piezoeléctricos de la parte de transmisor del sensor de la
50 Figura 3;

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un método para disponer y usar un sistema de infusión;

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método para detectar aire en una línea de entrega de fluido de un sistema de infusión;

La Figura 7 es una gráfica que ilustra cinco curvas diferentes que muestran, para cinco sensores ilustrativos diferentes,

que se podrían ensayar cada uno como sensor en el sistema de infusión de la Figura 1, cómo varía su respectiva intensidad de señal conforme varía su frecuencia modificada; y

La Figura 8 ilustra un diagrama de flujo de un método para determinar la frecuencia modificada de un sistema de infusión.

5 Descripción detallada

La descripción no debe ser tomada en sentido limitativo, sino que se hace meramente con el propósito de ilustrar los principios generales de la divulgación, dado que el alcance de la divulgación es definido por las reivindicaciones anexas. Cabe señalar que las figuras son puramente para fines ilustrativos y no están a escala.

Los solicitantes han descubierto a través de puesta a prueba del sistema de infusión Symbiq™ que cuando se hacen funcionar algunos sensores en su frecuencia resonante la señal transmitida desde el uno o más sensores a veces se sobresatura y provoca que el convertidor analógico-digital se sobresature. La variación en la fabricación y el ensamblaje de sensores, especialmente la cohesión del elemento piezoeléctrico al cuerpo de soporte en un sensor ultrasónico, puede ser significativa. Algunos elementos piezoeléctricos pueden ser cohesionados extremadamente bien dentro del conjunto de sensor mientras otros pueden tener muchas holguras, oquedades o burbujas de aire en la cohesión del elemento al cuerpo de sensor. Sensores con pocas imperfecciones de cohesión pueden tener una alta amplitud de salida, particularmente a frecuencia resonante. Los solicitantes han descubierto además que esta alta amplitud, una señal sobresaturada a veces reduce la precisión y la fiabilidad del convertidores analógico-digital que pueden no convertir correctamente la señal sobresaturada recibida. Los solicitantes han descubierto adicionalmente que esto podría llevar a errores en la determinación del sistema de infusión en cuanto a si hay o no aire contenido en el sistema de infusión y la generación de alarmas.

La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de infusión 100. El sistema de infusión 100 comprende: un recipiente de infusión 102; una línea de entrega de fluido 104; un dispositivo de bomba 106; un dispositivo de procesamiento 108; un dispositivo de alarma 110 que genera una señal de audio, visual u otra sensorial o algo semejante para un usuario; un dispositivo de entrada/salida 112; un dispositivo electrónico de transmisión 114, un sensor 116; un dispositivo electrónico de detección 118; y un dispositivo de entrega/extracción 120. El sistema de infusión 100 puede comprender el sistema de infusión PlumA+™, Gemstar™, Symbiq™, u otro tipo de sistema de infusión. El recipiente de infusión 102 comprende un recipiente para entregar fluido tal como fluido IV o un fármaco al paciente 122. La línea de entrega de fluido 104 comprende uno o más tubos, conectados entre el recipiente de infusión 102, el dispositivo de bomba 106, el sensor 116 y el dispositivo de entrega/extracción 120, para transportar fluido desde el recipiente de infusión 102, a través del dispositivo de bomba 106, a través del sensor 116, a través del dispositivo de entrega/extracción 120 al paciente 122. La línea de entrega de fluido 104 también se puede usar para transportar sangre, extraída del paciente 122 usando el dispositivo de entrega/extracción 120, a través del sensor 116 como resultado de una acción de bombeo del dispositivo de bomba 106. El dispositivo de bomba 106 comprende una bomba para bombear fluido desde el recipiente de suministro 102 o para bombear sangre desde el paciente 122. El dispositivo de bomba 106 puede comprender una bomba basada en émbolo, una bomba peristáltica, u otro tipo de bomba.

El dispositivo de procesamiento 108 comprende al menos un procesador para procesar información recibida del dispositivo electrónico de detección 118 y/o el sensor 116 y para ejecutar uno o más algoritmos para determinar si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos ubicados en la línea de entrega de fluido 104 en la ubicación del sensor 116. El dispositivo de procesamiento 108 está en comunicación electrónica con el dispositivo de bomba 106, el dispositivo electrónico de transmisión 114, el sensor 116, el dispositivo electrónico de detección 118, el dispositivo de entrada/salida 112 y el dispositivo de alarma 110. El dispositivo de procesamiento 108 incluye o está en comunicación electrónica con una memoria legible por ordenador, que contiene código de programación que contiene el uno o más algoritmos para ejecución por el al menos un procesador, y un reloj.

El dispositivo de alarma 110 comprende una alarma, desencadenada por el dispositivo de procesamiento 108, para notificar al clínico (también denominado 'usuario' en esta memoria) en cuanto a la presencia de aire que está dispuesto en el línea de entrega de fluido 104 en la ubicación del sensor 116. El dispositivo de alarma 110 se puede configurar para detener el dispositivo de bomba 106 antes de ser entregada una embolia de aire a través de la línea de entrega de fluido 104 y el dispositivo de entrega/extracción 120 al paciente 122.

El dispositivo de entrada/salida 112 comprende un dispositivo que permite a un clínico aportar o recibir información. El dispositivo de entrada/salida 112 permite a un clínico introducir o recibir información en relación con la infusión. Por ejemplo, el clínico puede usar el dispositivo de entrada/salida 112 para introducir o seleccionar un programa de infusión de medicación a aplicar por el dispositivo de procesamiento 108, para establecer ajustes para que los aplique el dispositivo de procesamiento 108 al usar a código de programación que contiene el algoritmo(s), o para introducir otro tipo de información. El dispositivo de entrada/salida 112 puede además tener como salida información para el clínico. En otras realizaciones, cualquier información introducida al dispositivo de entrada/salida 112 puede ser preinstalada en el código de programación o el dispositivo de procesamiento 108.

El dispositivo de entrega/extracción 120 comprende un dispositivo de punto de acceso vascular de paciente para entregar fluido desde el recipiente de infusión 102 al paciente 122, o para extraer sangre del paciente 122. El

dispositivo de entrega/extracción 120 puede comprender una aguja, un catéter u otro tipo de dispositivo de entrega/extracción. En otros ejemplos, el sistema de infusión 100 de la Figura 1 puede ser alterado para variar los componentes, para quitar uno o más componentes, o para añadir uno o más componentes.

El dispositivo electrónico de transmisión 114 comprende circuitería electrónica, conectada al sensor 116, que transmite una señal desde una parte de transmisor 116A del sensor 116, a través de la línea de entrega de fluido 104, a una parte de receptor 116B del sensor 116. La parte de transmisor 116A y la parte de receptor 116B se disponen en lados opuestos de la línea de entrega de fluido 104. La parte de receptor 116B del sensor se conecta electrónicamente al dispositivo electrónico de detección 118. El sensor 116 puede comprender un sensor de aire-en-línea para sentir, con la ayuda del dispositivo electrónico de detección 118 y el dispositivo de procesamiento 108, si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos contenidos en la línea de entrega de fluido 104. El sensor 116 se dispone adyacente y/o se conecta a la línea de entrega de fluido 104 distal del dispositivo de bomba 106. En otros ejemplos comparativos, el sensor 116 se puede ubicar proximal al dispositivo de bomba 106 o se puede ubicar en ambas posiciones proximal y distal.

Las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 detectan la presencia de aire, fluido o alguna combinación de los mismos dentro de la línea de entrega de fluido 104. Las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 comprenden un transductor tal como un sensor ultrasónico (en métodos según la invención), un sensor acústico, un sensor óptico u otro tipo de sensor (en ejemplos comparativos). Son posibles disposiciones alternas del transmisor y el receptor de sensor e incluyen ambas disposiciones lado-a-lado y el uso de un único transductor para transmitir y recibir una señal reflejada. En otros ejemplos, se puede usar cualquier número, configuración y tipo de sensor(es).

El dispositivo electrónico de detección 118 comprende circuitería electrónica, conectada a la parte de receptor 116B del sensor 116, para recibir la señal transmitida desde el dispositivo electrónico de transmisión 114, a través de la parte de transmisor 116A del sensor 116, a través de la línea de entrega de fluido 104, a la parte de receptor 116B del sensor 116, al dispositivo electrónico de detección 118. El dispositivo electrónico de detección 118 comprende un convertidor analógico-digital que se conecta electrónicamente al sensor 116 para convertir la señal recibida por la parte de receptor 116B del sensor de analógica a digital y comunicar la lectura digital al dispositivo de procesamiento 108. El dispositivo de procesamiento 108 determina entonces, sobre la base de la lectura digital, si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos dispuestos en la línea de entrega de fluido 104 en el sensor 116 al ejecutar el código de programación que contiene el uno o más algoritmos.

El código de programación implementado por el dispositivo de procesamiento 108 se configura para hacer funcionar el sensor 116 a una frecuencia modificada que es diferente de una frecuencia resonante del sensor 116 a fin de reducir la amplitud de una salida de la señal transmitida desde la parte de transmisor 116A del sensor 116 a un nivel que sea menor que un nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección 118 que comprende el convertidor analógico-digital. La frecuencia resonante del sensor 116 es la frecuencia a la que la salida de la señal transmitida desde la parte de transmisor 116A del sensor 116 se maximiza para un medio de transferencia dado (tal como la línea de entrega de fluido 104 rellena con fluido de infusión).

Al reducir la amplitud de la salida de la señal transmitida desde la parte de transmisor 116A del sensor 116 a un nivel que es menor que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección 118 que comprende el convertidor analógico-digital, se aumenta la fiabilidad y la precisión del dispositivo de procesamiento 108 que detecta aire, fluido o alguna combinación de los mismos en la línea de entrega de fluido 104. Esto se debe a que cuando la amplitud de una salida de una señal transmitida desde un sensor a un convertidor analógico-digital es mayor que un nivel de saturación del convertidor analógico-digital, la precisión y la fiabilidad del convertidor analógico-digital se reducen, lo que puede llevar a errores en detectar aire, fluido o alguna combinación de los mismos en la línea de entrega de fluido. La frecuencia resonante del sensor 116, el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección 118 y la amplitud de la salida de la señal transmitida desde la parte de transmisor 116A del sensor 116, establecidos para ser menores que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección 118, se pueden determinar y/o establecer cada uno durante la calibración del sensor 116 y el dispositivo electrónico de detección 118, o ventajosamente se pueden establecer en otros momentos tales como durante el uso en el campo.

La Figura 2 es una gráfica 130 que ilustra cómo el desplazar la frecuencia del sensor 116 de la Figura 1 a una frecuencia modificada que sea diferente de la frecuencia resonante del sensor 116 puede evitar sobresaturar el dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1. La frecuencia del sensor 116 de la Figura 1 está trazada en el eje X de la gráfica 130. La salida del sensor 116 de la Figura 1 expresada como porcentaje de la salida máxima de sensor está trazada en el eje Y de la gráfica 130. La frecuencia resonante 132 es la frecuencia en la que se maximiza la salida del sensor 116 de la Figura 1. El dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1 se sobresatura cuando la salida del sensor 116 de la Figura 1 está por encima del nivel de saturación 134. Al reducir la salida del sensor 116 de la Figura 1 a un porcentaje del máximo que es menor que el nivel de saturación 134, se evita la sobresaturación del dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1. Como se muestra, esto se puede hacer cambiando la frecuencia del sensor 116 de la Figura 1 a una frecuencia modificada que sea diferente de la frecuencia resonante 132 para reducir la salida del sensor 116 de la Figura 1 a un nivel que sea menor que el nivel de saturación 134 del dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1. Por ejemplo, en el punto 136 la frecuencia del sensor 116 de la Figura 1 ha sido aumentada más allá de la frecuencia resonante 132 para reducir la salida del sensor 116 de la

Figura 1 a un nivel que es menor que el nivel de saturación 134 del dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1 para evitar sobresaturar el dispositivo electrónico de detección 118. De manera similar, en el punto 138 la frecuencia del sensor 116 de la Figura 1 ha sido disminuida por debajo de la frecuencia resonante 132 para reducir la salida del sensor 116 de la Figura 1 a un nivel que es menor que el nivel de saturación 134 del dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1 para evitar sobresaturar el dispositivo electrónico de detección 118.

La Figura 3 ilustra una sección transversal a través de una realización de un segmento de la línea de entrega de fluido 104 acoplado al dispositivo electrónico de transmisión 114, la parte de transmisor 116A del sensor 116, la parte de receptor 116B del sensor 116, y el dispositivo de detección electrónico 118. Las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 comprenden cristales piezoeléctricos comprimidos contra cada lado de la línea de entrega de fluido 104 creando más área de superficie para acoplamiento acústico uniforme y mejor ratio señal a ruido. Esta disposición de las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 permite la transmisión y detección de una señal ultrasónica a través de un objetivo de volumen de la línea de entrega de fluido 104. El dispositivo electrónico de transmisión 114 genera una señal ultrasónica nominal de 5.25 MHz dirigida desde la parte de transmisor 116A del sensor 116, a través de la línea de entrega de fluido 104, a la parte de receptor 116B del sensor 116 conectado al dispositivo de detección electrónico 118. Cuando hay presente fluido en la línea de entrega de fluido 104 en la posición del sensor 116, la parte de receptor 116B del sensor 116 y el dispositivo electrónico de detección 118 generan una señal eléctrica más grande que cuando hay presente aire en la misma posición. Debido a una inversión en la electrónica del dispositivo electrónico de detección 118, el software del dispositivo de procesamiento 108 recibirá una señal baja cuando hay presente fluido en la ubicación del sensor 116, y una señal alta cuando hay presente aire en la ubicación del sensor 116. Cuando se carga un cartucho en el dispositivo de bomba 106, el segmento de la línea de entrega de fluido 104 distal al cartucho es sujetado en el sitio delante del sensor 116. Esto permite prestaciones fiables y repetibles de sensor para múltiples cartuchos.

La Figura 4 ilustra una vista superior a través de la cristales piezoeléctricos de la parte de transmisor 116A del sensor 116 de la Figura 3. Como se muestra, la altura H de la parte de transmisor 116A comprende 2.54 mm (0.100 pulgadas) y la anchura W de la parte de transmisor 116A comprende 2.54 mm (0.100 pulgadas). Las dimensiones de la parte de receptor 116B del sensor 116 de la Figura 1 son idénticas a la parte de transmisor 116A. En otras realizaciones, las dimensiones de las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 pueden variar.

La capacidad de la señal ultrasónica para propagarse desde la parte de transmisor 116A a la parte de receptor 116B del sensor 116 es controlada por la impedancia acústica de las materiales. Las capas coincidentes de los transductores de las partes de transmisor y receptor 116A y 116B se diseñan para controlar la amplitud de los reflejos en la capa piezo-coincidente e interfaces de capa coincidente-línea de entrega de fluido. El otro componente significativo del camino de señal es el fluido o el aire dentro de la línea de entrega de fluido 104. Las impedancias acústicas (Z_a) @ 20 °C de interés son de la siguiente manera: agua = $1.5 \times 10^6 \text{ kg / (m}^2\text{s)}$; PVC = $3.3 \times 10^6 \text{ kg / (m}^2\text{s)}$; y aire = $413.2 \text{ kg / (m}^2\text{s)}$. En fronteras materiales ocurren reflejos de la señal ultrasónica y son controlados por las diferencias en la impedancia acústica. El coeficiente de reflexión (RC) se define como: $RC = (Z_a - Z_{a1}) / (Z_a + Z_{a1})$. Un RC alto indica que la señal no pasará a través de la frontera. Para la interfaz de PVC a agua, el RC = 0.375 que indica que una mayor parte de la señal pasará a través de la interfaz. Para la interfaz de PVC a aire, el RC = 0.999 que indica que una parte insignificante, pero distinta de cero, de la energía de señal pasará a través de la interfaz.

El dispositivo electrónico de detección 118 convierte la señal recibida por la parte de receptor 116B del sensor 116 desde una señal analógica a una señal eléctrica digital contralada por la ecuación: $V_{out} = \lambda \text{ Tpiezo } \sigma / \text{Drvr}$, donde V_{out} = la señal eléctrica recibida por la parte de receptor 116B del sensor; λ = el alargamiento en el piezocristal debido a onda ultrasónica; σ = la tensión en el piezocristal debida a onda ultrasónica; Tpiezo = el grosor del piezocristal; Drvr = el desplazamiento mecánico del piezo por la cristal ultrasónico. Así, cuando hay fluido en la línea de entrega de fluido 104, la parte de receptor 116B del sensor 116 puede recoger una gran cantidad de energía ultrasónica dado que el fluido es mejor conductor que el aire. Esto aparece como baja tensión en el convertidor analógico-digital del dispositivo de detección electrónico 118 porque la señal recibida por la parte de receptor 116B del sensor 116 es invertida eléctricamente. La posición del fluido (por ejemplo una gotita de fluido) dentro de la línea de entrega de fluido 104 respecto a las partes de transmisor y receptor 116A y 116B del sensor 116 también influye en la cantidad de energía que detecta la parte de receptor 116B del sensor. Cuando hay aire en la línea de entrega de fluido 104, la parte de receptor 116B del sensor 116 capta poca energía.

El dispositivo de procesamiento 108 de la Figura 1 incluye componentes de software que reciben la señal recibida por la parte de receptor 116B del sensor 116 y convertida a una señal digital a través del dispositivo electrónico de detección 118. El dispositivo de procesamiento 108 procesa la señal digital recibida, y genera una alarma, usando el dispositivo de alarma 110 de la Figura 1, cuando el uno o más algoritmos almacenados en el código de programación indican que hay presente una cantidad de aire sobre el umbral de aire.

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo de un método 140 para disponer y usar un sistema de infusión. El método 140 puede utilizar el sistema de infusión de la Figura 1. En otros ejemplos, el método 140 puede utilizar variados sistemas. En la etapa 142, se determina una frecuencia resonante de al menos un sensor. La etapa 142 se puede hacer durante la calibración del al menos un sensor. En otro ejemplo, la etapa 142 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo.

En la etapa 144, se determina un nivel de saturación de un convertidor analógico-digital. La etapa 144 se puede hacer durante la calibración del convertidor analógico-digital. Ventajosamente en otro ejemplo, la etapa 144 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo. En la etapa 146, el al menos un sensor se dispone adyacente a una línea de entrega de fluido. En un ejemplo, la etapa 146 puede comprender disponer una parte de

5 transmisor del al menos un sensor y una parte de receptor del al menos un sensor en lados opuestos de la línea de entrega de fluido. En la etapa 148, se conecta una bomba a la línea de entrega de fluido. En la etapa 150, el convertidor analógico-digital se conecta electrónicamente al por lo menos un sensor. En la etapa 152, al menos un procesador se conecta electrónicamente a la bomba, al por lo menos un sensor y al convertidor analógico-digital.

En la etapa 154, el al menos un procesador se programa para hacer funcionar el al menos un sensor a una frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del al menos un sensor a fin de reducir una amplitud de una salida de una señal transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que es menor que el nivel de saturación del

10 convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital. En un ejemplo, la etapa 154 se puede hacer durante la calibración del al menos un sensor. Ventajosamente en otra realización, la etapa 154 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo. En todavía otro ejemplo, cualquiera o cada una de las etapas 142, 144 y 154 se pueden hacer antes de las etapas 146, 148, 150 y 152.

En la etapa 156, se bombea fluido de infusión, con la bomba, desde un recipiente de infusión a través de la línea de entrega de fluido. En la etapa 158, la señal se transmite desde la parte de transmisor del al menos un sensor, mientras funciona a la frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del al menos un sensor, a través de la línea de entrega de fluido. En la etapa 160, la señal transmitida se recibe con la parte de receptor del al menos un

20 sensor. En la etapa 162, la señal recibida por la parte de receptor del al menos un sensor se convierte de analógica a digital usando el convertidor analógico-digital sin sobresaturar el convertidor analógico-digital. En la etapa 164, se hace una determinación, usando el al menos un procesador, si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos en la línea de entrega de fluido sobre la base de la señal digital convertida. En la etapa 166, si en la etapa 164 se hace la determinación de que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido, el al menos un procesador enciende una

25 alarma para indicar a un usuario que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido. En un ejemplo, si en la etapa 164 se hace la determinación de que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido, entonces en la etapa 166 el al menos un procesador enciende la alarma y cierra el sistema de infusión para detener la entrega de fluido de infusión a través de la línea de entrega de fluido. En otros ejemplos, el método 140 puede ser alterado para variar el orden o la sustancia de cualquiera de las etapas, para eliminar una o más etapas, o para añadir una o más etapas.

La Figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método 170 para detectar aire en una línea de entrega de fluido de un sistema de infusión. El método 170 puede utilizar el sistema de infusión de la Figura 1. En otros ejemplos, el método 170 puede utilizar variados sistemas. En la etapa 172, se puede determinar un nivel de saturación de un convertidor analógico-digital. La etapa 172 se puede hacer durante la calibración del convertidor analógico-digital. En otros

30 ejemplos, la etapa 172 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo. En la etapa 174, se determina una frecuencia resonante de al menos un sensor. La etapa 174 se puede hacer durante la calibración del al menos un sensor. Ventajosamente en otros ejemplos, la etapa 174 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo. En la etapa 176, se puede determinar una frecuencia modificada del al menos un sensor durante la calibración del al menos un sensor y el convertidor analógico-digital para que sea diferente a la frecuencia resonante del al menos un sensor para tener como resultado una amplitud de una salida de la señal

40 transmitida desde el al menos un sensor que es menor que el nivel de saturación del convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital. En otros ejemplos, la etapa 176 se puede hacer en un tiempo variable tal como cuando se usa en el campo.

En la etapa 178, se bombea fluido de infusión a través de una línea de entrega de fluido adyacente al por lo menos un sensor. En la etapa 180, se transmite y recibe una señal utilizando el al menos un sensor hacia y desde la línea de entrega de fluido. La etapa 180 comprende además el al menos un sensor que funciona, usando al menos un

45 procesador, a la frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del al menos un sensor a fin de reducir una amplitud de una salida de la señal transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que es menor que el nivel de saturación del convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital. En un ejemplo, la etapa 180 comprende transmitir la señal desde una parte de transmisor del al menos un sensor dispuesto en un lado de la línea de entrega de fluido, mientras funciona a la frecuencia modificada que es diferente de la frecuencia resonante del al menos un sensor, a una parte de receptor del al menos un sensor dispuesto en un lado opuesto de la línea de entrega de fluido.

En la etapa 182, la señal recibida por el al menos un sensor se convierte de analógica a digital usando el convertidor analógico-digital. En la etapa 184, se hace una determinación, usando el al menos un procesador, si hay aire, fluido o alguna combinación de los mismos en la línea de entrega de fluido sobre la base de la señal digital convertida. En la

55 etapa 186, si en la etapa 184 se hace la determinación de que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido, el al menos un procesador enciende una alarma para indicar a un usuario que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido. En un ejemplo, si en la etapa 184 se hace la determinación de que hay aire dispuesto en la línea de entrega de fluido, entonces en la etapa 186 el al menos un procesador enciende la alarma y cierra el sistema de infusión para detener la entrega de fluido de infusión a través de la línea de entrega de fluido. En otro ejemplo, el método 170 puede ser alterado para variar el orden o la sustancia de cualquiera de las etapas, para eliminar una o más etapas, o para añadir una o más etapas.

La Figura 7 es una gráfica 190 que ilustra cinco curvas diferentes 192, 194, 196, 198 y 200 que muestran, para cinco sensores ilustrativos diferentes, que se podrían ensayar cada uno para el sensor 116 en el sistema de infusión de la Figura 1, cómo varía su intensidad de señal respectiva conforme varía su frecuencia modificada. Las prestaciones de frecuencia para cada sensor están trazadas en el eje X de la gráfica 190. La salida de señal de cada sensor está trazada en el eje Y de la gráfica 190. El dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1 requiere una intensidad de señal útil mínima mayor o igual a 100 mVpp. El dispositivo electrónico de detección 118 de la Figura 1 se sobresatura cuando la salida de cualquiera de los sensores supera el nivel de saturación 202 que es aproximadamente 750 mVpp.

La curva 192 tiene una salida de sensor por debajo de la señal útil mínima de 100 mVpp sin importar cómo se varíe la frecuencia modificada. Como resultado este sensor no se debe usar porque la señal es demasiado débil. La curva 194 tiene una salida de sensor por debajo de la señal útil mínima de 100 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp en otras frecuencias modificadas incluso la curva entera está por debajo del nivel de saturación 202 de 750 mVpp. Como resultado, este sensor se puede usar a cualquier frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp que está en el intervalo aproximado entre 4.3 MHz a 5.7 MHz como se muestra con la curva 194. La curva 196 tiene una salida de sensor por debajo de la señal útil mínima de 100 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp en otras frecuencias modificadas incluso la curva entera está por debajo del nivel de saturación 202 de 750 mVpp. Como resultado, este sensor se puede usar a cualquier frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp que está en el intervalo aproximado entre 4.2 MHz a 5.8 MHz como se muestra con la curva 196.

La curva 198 tiene una salida de sensor por debajo de la señal útil mínima de 100 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp en otras frecuencias modificadas. Adicionalmente, la curva 198 tiene una salida de sensor por debajo del nivel de saturación 202 de 750 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor por encima del nivel de saturación 202 de 750 mVpp en otras frecuencias modificadas. Como resultado, este sensor se puede usar a cualquier frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp y tenga como resultado una salida de señal menor que el nivel de saturación 202 de 750 mVpp que está en el intervalo aproximado entre 3.4 MHz a 5.9 MHz como se muestra con la curva 198. A fin de obtener una frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp y tenga como resultado una salida de señal de menos del nivel de saturación 202 de 750 mVpp, los solicitantes han descubierto que la frecuencia modificada para la curva 198 tiene que estar dentro de $\pm 36\%$ de la frecuencia resonante 199 de 5.3 MHz y dentro de $\pm 31\%$ de las frecuencias de saturación mínima o máxima 201 y 203 que da como resultado el nivel de saturación de 750 mVpp. Preferiblemente, se selecciona la frecuencia modificada más alta lo que da como resultado una salida de señal tan alta como sea posible sin superar el nivel de saturación y está por encima de la intensidad de señal útil mínima.

La curva 200 tiene una salida de sensor por debajo de la señal útil mínima de 100 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp en otras frecuencias modificadas. Adicionalmente, la curva 200 tiene una salida de sensor por debajo del nivel de saturación 202 de 750 mVpp en algunas frecuencias modificadas, y una salida de sensor por encima del nivel de saturación 202 de 750 mVpp en otras frecuencias modificadas. Como resultado, este sensor se puede usar a cualquier frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la intensidad de señal útil mínima de 100 mVpp y tenga como resultado una salida de señal menor que el nivel de saturación 202 de 750 mVpp que está en el intervalo aproximado entre 3.5 MHz a 6.0 MHz como se muestra con la curva 200. A fin de obtener una frecuencia modificada que tenga como resultado una salida de señal mayor o igual a la señal útil mínima de 100 mVpp y tenga como resultado una salida de señal de menos del nivel de saturación 202 de 750 mVpp, los solicitantes han descubierto que la frecuencia modificada para la curva 200 tiene que estar dentro de $\pm 34\%$ de la frecuencia resonante 205 de 5.3 MHz y dentro de $\pm 27\%$ de las frecuencias de saturación mínima o máxima 207 y 209 que da como resultado el nivel de saturación de 750 mVpp. Preferiblemente, se selecciona la frecuencia modificada más alta lo que da como resultado una salida de señal tan alta como sea posible sin superar el nivel de saturación y que está por encima de la intensidad de señal útil mínima. En una realización, esta frecuencia modificada se puede elegir de modo que la salida de señal esté dentro del 5 % del nivel de saturación. En otro ejemplo, esta frecuencia modificada se puede elegir de modo que la salida de señal esté dentro del 10 % del nivel de saturación. En otros ejemplos, se pueden elegir frecuencias modificadas variadas.

En otros ejemplos, se pueden usar otros sensores que tienen diferentes prestaciones de intensidad de señal de sensor en frecuencias modificadas variadas. En un ejemplo, se puede usar un sensor que tenga una frecuencia modificada dentro de $\pm 50\%$ de la frecuencia resonante y dentro de $\pm 50\%$ de una frecuencia de saturación. En otro ejemplo, se puede usar un sensor que tenga una frecuencia modificada dentro de $\pm 40\%$ de la frecuencia resonante y dentro de $\pm 40\%$ de una frecuencia de saturación. En otro ejemplo, se puede usar un sensor que tenga una frecuencia modificada dentro de $\pm 30\%$ de la frecuencia resonante y dentro de $\pm 30\%$ de una frecuencia de saturación. En otro ejemplo, se puede usar un sensor que tenga una frecuencia modificada dentro de $\pm 20\%$ de la frecuencia resonante y dentro de $\pm 20\%$ de una frecuencia de saturación. En otro ejemplo, se puede usar un sensor que tenga una frecuencia modificada dentro de $\pm 10\%$ de la frecuencia resonante y dentro de $\pm 10\%$ de una frecuencia de saturación.

La Figura 8 ilustra un diagrama de flujo de un método 210 para determinar la frecuencia modificada de un sistema de

infusión. El método 210 puede utilizar el sistema de infusión de la Figura 1. En otros ejemplos, el método 210 puede utilizar variados sistemas. El método 210 se puede incorporar en cualquiera de los otros métodos descritos en esta memoria, incluidos los métodos ilustrados en las Figuras 5 y 6 de esta divulgación. En la etapa 212, se hace una determinación en cuanto a si la salida de señal máxima del sensor a cualquier frecuencia modificada es mayor o igual que la intensidad de señal útil mínima requerida por el dispositivo electrónico de detección. Si en la etapa 212 se hace la determinación de que la salida de señal máxima del sensor a cualquier frecuencia modificada no es mayor o igual a la intensidad de señal útil mínima entonces en la etapa 213 se elige un nuevo sensor y entonces se repite la etapa 212 hasta que en la etapa 212 se hace la determinación de que la salida de señal máxima del sensor a cualquier frecuencia modificada es mayor o igual que la intensidad de señal útil mínima. Una vez en la etapa 212 se hace la determinación de que la salida de señal máxima del sensor a cualquier frecuencia modificada es mayor o igual que la intensidad de señal útil mínima, entonces el método procede de la etapa 212 a la etapa 214.

En la etapa 214, se hace una determinación en cuanto a si la salida de señal del sensor a la frecuencia resonante es menor que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección. Si en la etapa 214 se hace la determinación de que la salida de señal del sensor a la frecuencia resonante es menor que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección, entonces el método procede a la etapa 216. En la etapa 216, el sensor funciona a una frecuencia modificada que es igual a la frecuencia resonante del sensor.

Si en la etapa 214 se hace la determinación de que la salida de señal del sensor a la frecuencia resonante no es menor que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección, entonces el método procede a la etapa 218. En la etapa 218, el sensor funciona a una frecuencia modificada que tiene como resultado una salida de señal que es menor que el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección pero mayor que la intensidad de señal útil mínima del dispositivo electrónico de detección. Preferiblemente, en la etapa 218 el sensor funciona a la frecuencia modificada más alta que tiene como resultado una salida de señal tan alta como sea posible sin superar el nivel de saturación del dispositivo electrónico de detección y que está por encima de la intensidad de señal útil mínima del dispositivo electrónico de detección. En un ejemplo de la etapa 218, el sensor puede funcionar a una frecuencia modificada dentro del 5 % del nivel de saturación. En otro ejemplo de la etapa 218, el sensor puede funcionar a una frecuencia modificada dentro del 10 % del nivel de saturación. En otros ejemplos de la etapa 218, el sensor puede funcionar a frecuencias modificadas variadas. En otros ejemplos, el método 210 puede ser alterado para variar el orden o la sustancia de cualquiera de las etapas, para eliminar una o más etapas, o para añadir una o más etapas.

Uno o más ejemplos de la divulgación pueden mejorar la precisión y la fiabilidad de la detección de aire en sistemas de infusión. Uno o más ejemplos, la divulgación se puede incorporar durante la calibración de uno o más componentes del sistema de infusión. Uno o más ejemplos de la divulgación se pueden hacer en el campo sin tener que sustituir sensores existentes del sistema de infusión al realizar un procedimiento de servicio en campo. Esto reduce el coste de sustitución de sensor y reduce la cantidad de piezas de sustitución que se deben mantener en inventario. La divulgación también puede acomodar mayor variabilidad y así aumentar el rendimiento de conjuntos de sensor que se pueden usar.

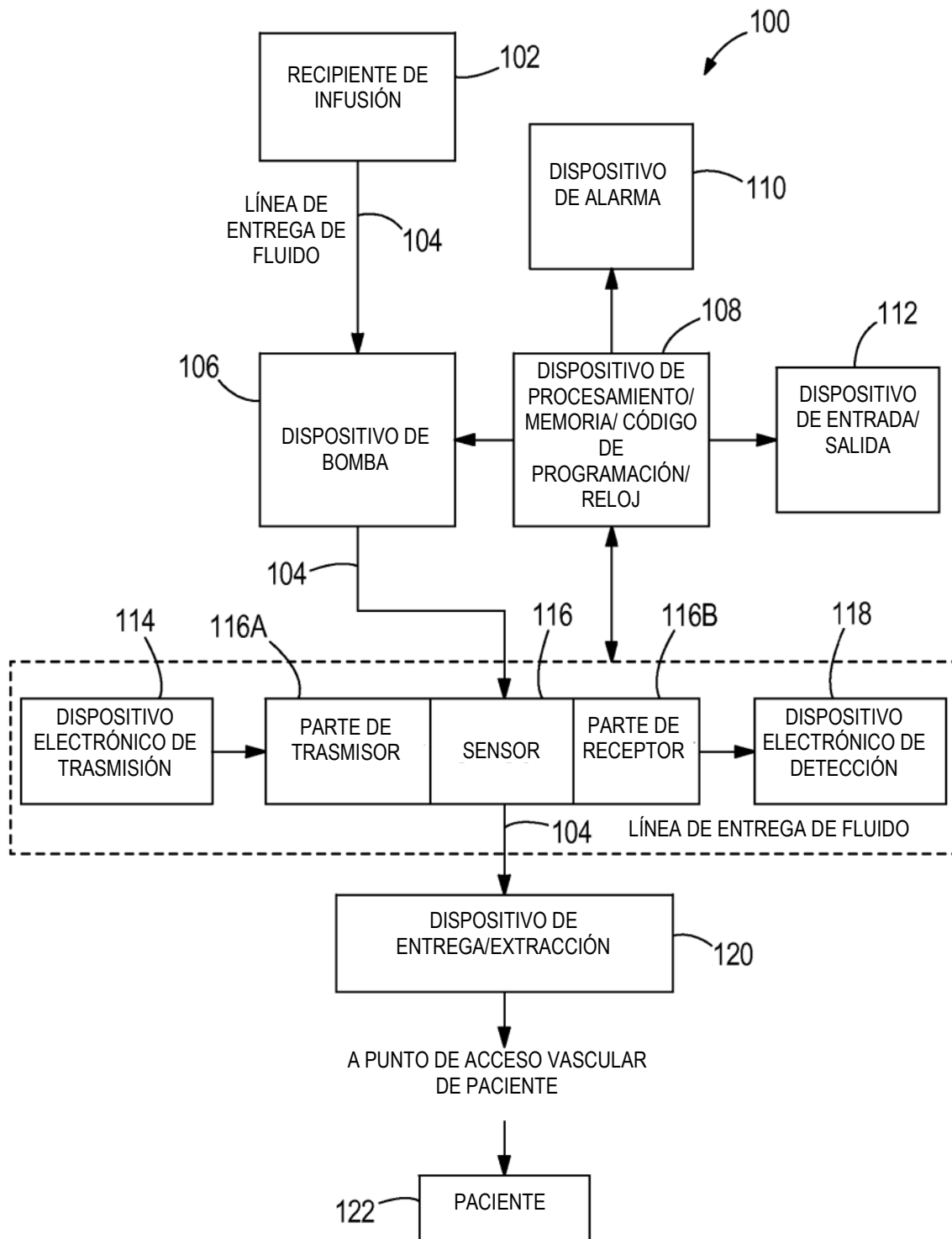
El Resumen se proporciona para permitir al lector determinar rápidamente la naturaleza de la divulgación técnica. Se presenta entendiendo que no se usará para interpretar o limitar el alcance o el significado de las reivindicaciones. Además, en la descripción detallada anterior, se puede ver que diversas características se agrupan juntas en diversos ejemplos con la finalidad de simplificar la divulgación. Este método de divulgación, no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que las realizaciones reivindicadas requieren más características que las expresamente relatadas en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, la materia de asunto inventiva radica en menos que todas las características de una sola realización descrita. Así, las siguientes reivindicaciones se incorporan en esta memoria en la Descripción detallada, cada reivindicación depende de sí misma como materia de asunto reivindicada por separado.

Si bien se han mostrado y descrito aspectos particulares de la presente materia de asunto descrita en esta memoria, para los expertos en la técnica será evidente que, sobre la base de las enseñanzas de esta memoria, se pueden hacer cambios y modificaciones si apartarse de la materia de asunto descrita en esta memoria y sus aspectos más amplios y, por lo tanto, la invención abarca dentro de su alcance todos esos cambios y modificaciones si están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para disponer un sistema de infusión, el sistema de infusión comprende:
 - una línea de entrega de fluido;
 - un convertidor analógico-digital;
- 5 y al menos un sensor ultrasónico configurado para, en uso, ser conectado electrónicamente al convertidor analógico-digital, ser dispuesto adyacente a la línea de entrega de fluido y transmitir y recibir una señal para detectar si hay aire en la línea de entrega de fluido,
- 10 en donde el al menos un sensor ultrasónico se proporciona para tener una salida de señal máxima a cualquier frecuencia modificada que sea mayor o igual que una intensidad de señal útil mínima del convertidor analógico-digital; y
- una bomba para bombear fluido de infusión a través de la línea de entrega de fluido adyacente al por lo menos un sensor ultrasónico; y
- en donde el convertidor analógico-digital se configura para convertir la señal recibida por el al menos un sensor de analógica a digital, el método comprende:
- 15 determinar una frecuencia resonante del al menos un sensor ultrasónico;
- determinar un nivel de saturación del convertidor analógico-digital;
- proporcionar al menos un procesador configurado para hacer funcionar el al menos un sensor ultrasónico;
- determinar si el funcionamiento el al menos un sensor a la frecuencia resonante determinada del al menos un sensor resulta
- 20 en una amplitud de una salida de la señal transmitida desde el al menos un sensor que es menor que dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital, o
- en que dicha amplitud es mayor o igual a dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital; y
- sobre la base de dicha determinación:
- 25 si se determina que la amplitud es menor que dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital,
- entonces seleccionar, como frecuencia de funcionamiento del al menos un sensor, dicha frecuencia resonante determinada del al menos un sensor; y
- 30 si se determina que la amplitud es mayor o igual a dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital,
- entonces seleccionar, como frecuencia de funcionamiento del al menos un sensor, una frecuencia modificada que es diferente de dicha frecuencia resonante determinada del al menos un sensor a fin de reducir la amplitud de la salida de la señal transmitida desde el al menos un sensor a un nivel que sea menor que dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital para evitar sobresaturar el convertidor analógico-digital y mayor que la intensidad útil mínima del convertidor analógico-digital, en donde el al menos un procesador se configura para hacer funcionar el al menos un sensor a la frecuencia de funcionamiento seleccionada, y
- 35 en donde el método comprende programar el al menos un procesador para hacer funcionar el al menos un sensor a dicha frecuencia modificada si se determina que la amplitud es mayor o igual a dicho nivel de saturación determinado del convertidor analógico-digital.
- 40
2. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un procesador se configura para determinar si hay aire en la línea de entrega de fluido sobre la base de la señal digital convertida.
3. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de determinar la frecuencia resonante del al menos un sensor se lleva a cabo durante la calibración del al menos un sensor.
- 45 4. El método de la reivindicación 1, que incluye una etapa de disponer el al menos un sensor ultrasónico adyacente a la línea de entrega de fluido del sistema de infusión, en donde dicho etapa comprende disponer una parte de transmisor del al menos un sensor y una parte de receptor del al menos un sensor en lados opuestos de la línea de entrega de fluido.

5. El método de la reivindicación 4, en donde la parte de trasmisor del al menos un sensor se configura para transmitir la señal, mientras funciona a la frecuencia modificada, a través de la línea de entrega de fluido, y la parte de receptor del al menos un sensor se configura para recibir la señal.



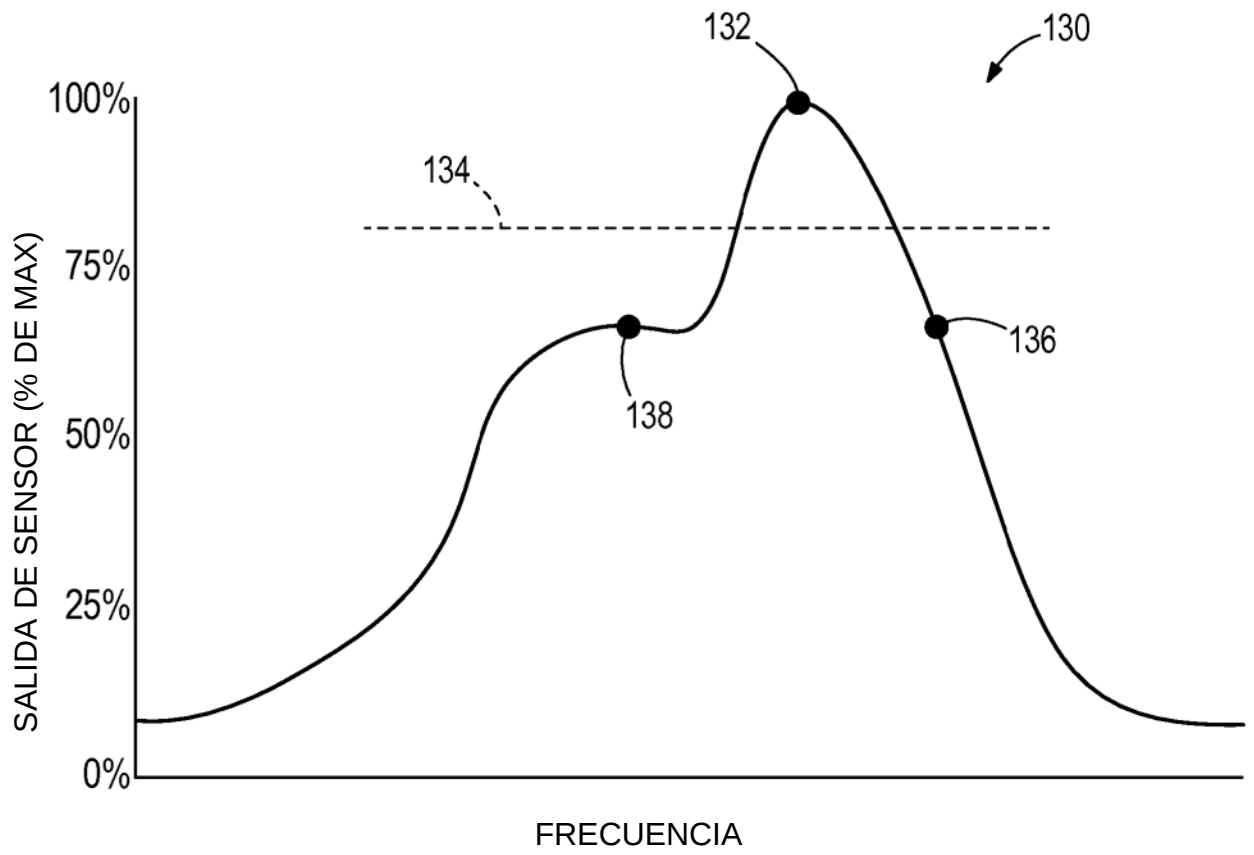


FIG. 2

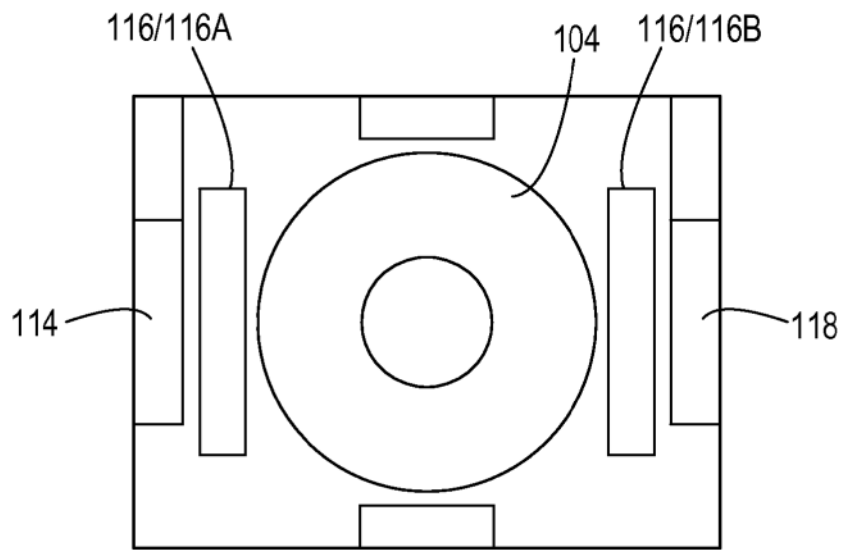


FIG. 3

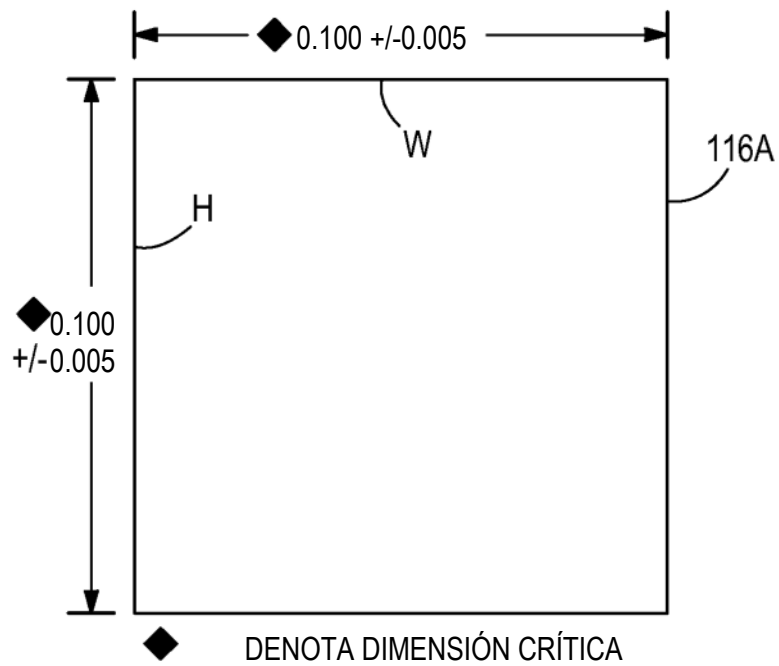


FIG. 4

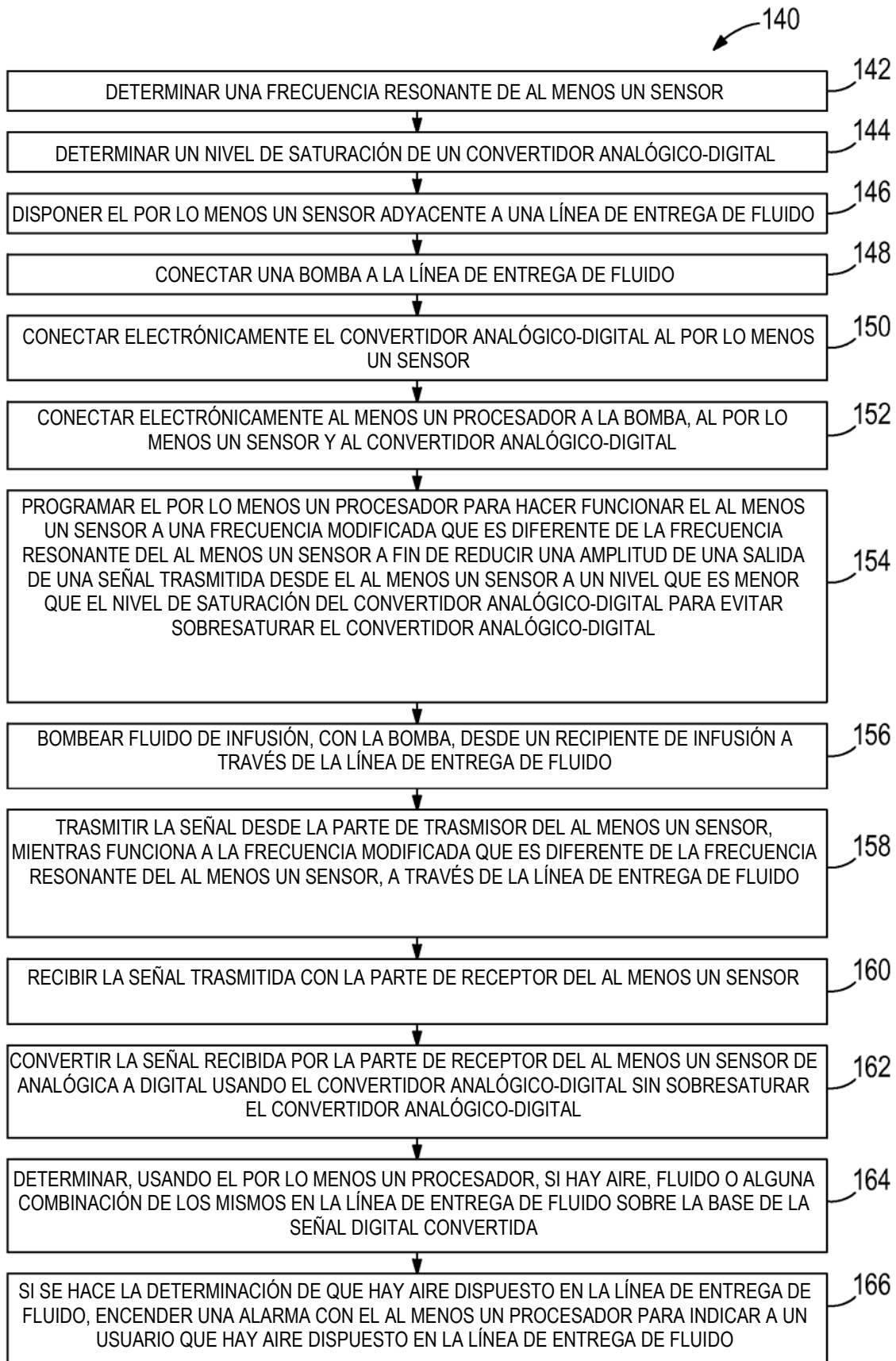


FIG. 5

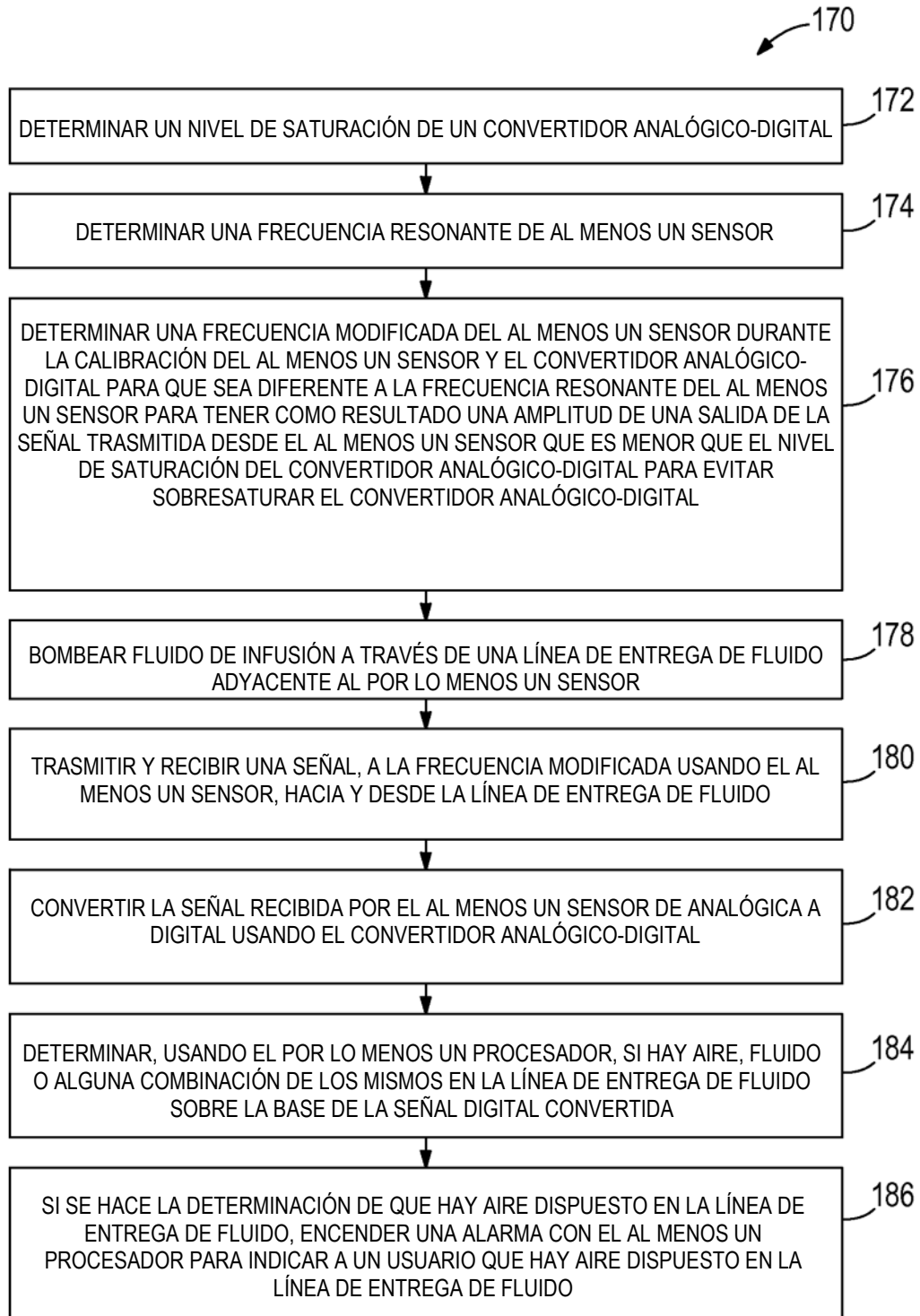


FIG. 6

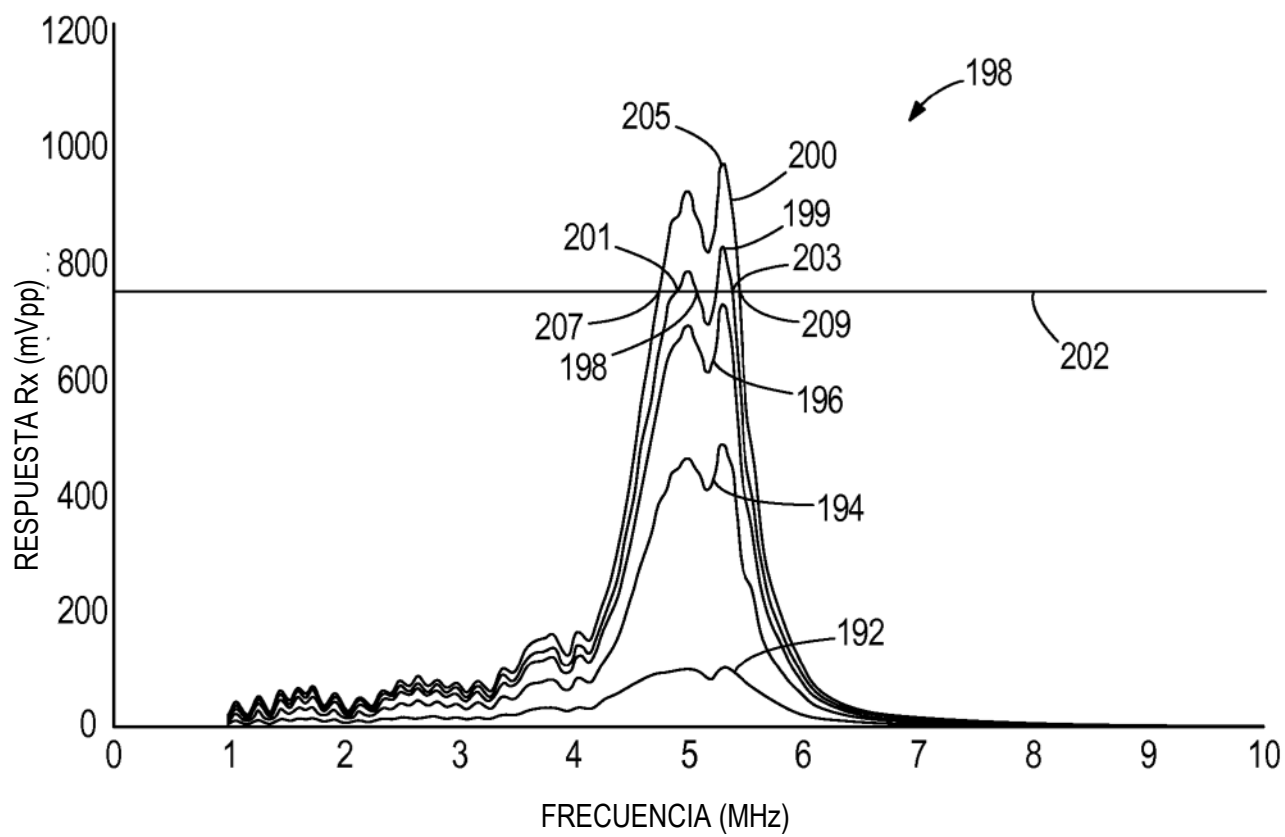


FIG. 7

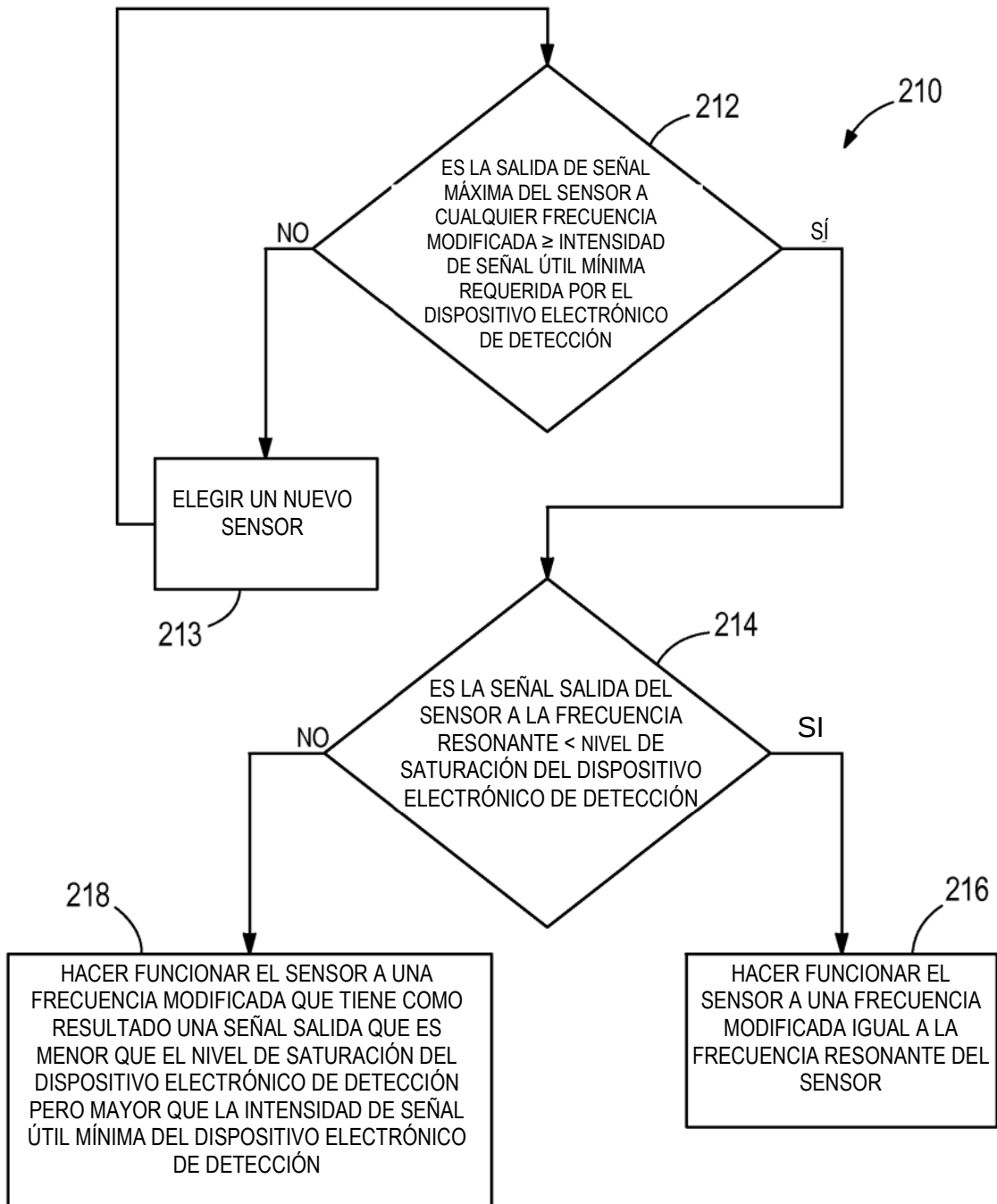


FIG. 8