

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 477**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/07** (2006.01)

**G01R 27/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.09.2011 PCT/US2011/051370**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.03.2012 WO12037106**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2011 E 11764021 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 2616800**

54 Título: **Detector de conductividad para líquidos**

30 Prioridad:

**16.09.2010 US 883611**

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

**30.07.2020**

73 Titular/es:

**FRESENIUS MEDICAL CARE HOLDINGS, INC.  
(100.0%)  
920 Winter Street  
Waltham, MA 02451, US**

72 Inventor/es:

**SULLIVAN, THOMAS, A.**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI , Peter**

**ES 2 776 477 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**

Detector de conductividad para líquidos

**5 Antecedentes de la invención**

10 En muchas aplicaciones analíticas médicas, biológicas y químicas, es importante determinar las características de líquidos tomados de una muestra en estudio o consideración. Por ejemplo, durante la hemodiálisis para tratar la sangre de un paciente que padece insuficiencia renal y afecciones relacionadas, es importante analizar la sangre y/o el líquido de diálisis para determinar la eficacia del tratamiento. Adicionalmente, los profesionales médicos pueden usar información acerca de la pureza de la sangre del paciente que se está tratando para formar la opinión médica y proponer un tratamiento adicional. Muchas diversas tecnologías se han desarrollado para realizar dicho análisis de líquidos.

15 Una de dichas tecnologías utiliza las propiedades eléctricas del líquido en estudio para determinar su pureza y otros datos. Todos los líquidos tienen alguna capacidad medible para conducir la electricidad y la pureza o composición del líquido puede afectar a su conductividad. Por tanto, la detección conductora puede usarse para revelar información acerca de la composición química del líquido. Conectar una mezcla del líquido en un circuito eléctrico diseñado apropiadamente posibilita el análisis de las propiedades conductoras y, por tanto, la determinación de su pureza o composición y la eficacia de la filtración por diálisis.

20 El análisis de la conductividad de líquidos tales como sangre tratada por diálisis presenta muchos problemas y dificultades técnicas. Por ejemplo, aunque una muestra del líquido puede ensayarse en aislamiento, a menudo es preferible analizar el líquido en el proceso. Para conseguir esto, es necesario incorporar el circuito de ensayo en el proceso tal como haciendo que el circuito de ensayo sea parte de la máquina o sistema de hemodiálisis. Otra cuestión compleja implica el acoplamiento eléctrico real entre el circuito eléctrico y el líquido que se está analizando. Por ejemplo, pueden disponerse electrodos en un canal a través del que se dirige el líquido de ensayo. Este diseño, sin embargo, puede dar lugar a ensuciamiento y contaminación de los electrodos por el líquido de ensayo. A la inversa, y especialmente cuando el circuito de ensayo se reutiliza en múltiples ocasiones, los electrodos pueden contaminar el líquido en ensayo con restos de líquidos ensayados previamente.

25 Para abordar los problemas de contaminación, se han diseñado diversos diseños sin contacto para circuitos de ensayo de la conductividad y se han incorporado en sistemas de análisis de líquidos. Uno de dichos diseños sin contacto utiliza los principios de acoplamiento capacitivo entre el electrodo y el líquido de modo que los dos no tengan que estar en contacto físico directo. Aplicar una corriente alterna a un electrodo colocado próximo a un canal o cubeta de ensayo que contiene el líquido de interés causará que el electrodo se acople de forma capacitiva con el líquido y posibilite reunir datos eléctricos con respecto al líquido. Los detectores de detección de conductividad sin contacto acoplados de forma capacitiva (C4D) son conocidos y se describen en la técnica anterior tal como, por ejemplo, en el documento GB936045, la publicación internacional n.º WO 2010/016807 y la patente de Estados Unidos n.º 7 629 797. La sensibilidad y la precisión de dichos detectores puede verse afectada por la impedancia y/o la reactancia asociadas con el circuito o elementos del sistema, la geometría y el diseño de los electrodos y la cubeta de ensayo, y las propiedades del material del líquido de ensayo y el circuito o elementos del sistema. Por lo tanto, es necesario un diseño de detector de conductividad que tenga en cuenta estas y otras consideraciones para mejorar la sensibilidad y la precisión.

**45 Breve resumen de la invención**

50 La presente invención divulga un detector de conductividad para detectar la conductividad eléctrica de un líquido en análisis, de acuerdo con la reivindicación independiente 1. El detector de conductividad puede usarse para analizar líquido en cualquiera de diversas aplicaciones químicas, biológicas o médicas tales como, por ejemplo, un sistema de hemodiálisis. El detector de conductividad utiliza un método de medición de resistencia de cuatro cables en que dos cables se acoplan a una fuente de energía e inducen una corriente en el líquido y dos cables se acoplan a un medidor y detectan la corriente inducida en el líquido. En un aspecto particular, la resistencia eléctrica característica del líquido resistirá la corriente inducida produciendo una caída de tensión entre los dos cables acoplados a la fuente de energía. Detectando la corriente inducida y/o la caída de tensión debida al líquido, puede determinarse la conductividad del líquido a partir de la que puede deducirse información acerca de las características químicas o físicas del líquido.

60 En un aspecto, el detector de conductividad utiliza métodos de detección de conductividad sin contacto acoplados de forma capacitiva (C4D) para acoplamiento eléctrico con el líquido en una cubeta detectora. El diseño C4D incluye electrodos que están físicamente separados del líquido por, por ejemplo, disposición de los electrodos alrededor de una cámara de líquido en que está contenido el líquido. Cuando se aplica una tensión a un electrodo, una carga eléctrica se acumulará en el electrodo que, de ese modo, funciona como una placa de un condensador. Una carga eléctrica correspondiente se acumulará en el líquido dispuesto en la cámara de líquido cerca del electrodo, funcionando de ese modo como la otra placa de un condensador. Cuando la carga se elimina o se alternan las fases, la carga eléctrica en el líquido se descargará a través del resto de la cámara de líquido, induciendo de ese

modo una corriente en la cámara.

En otro aspecto, utilizando el diseño C4D, se diseña el detector de conductividad para utilizar una cámara de líquido desechable y reemplazable. De acuerdo con la presente invención, los electrodos no hacen contacto físico directo con el líquido, los electrodos están separados de la cámara de líquido en que está contenido el líquido. La cámara de líquido, por lo tanto, puede diseñarse como un componente extraíble del detector de conductividad y puede fabricarse de plástico barato. En un aspecto adicional, el detector de conductividad puede incluir una carcasa en que puede acomodarse de forma extraíble la cámara de líquido. El electrodo puede formarse como parte de la carcasa de modo que los electrodos estén en una ubicación fija o alineados con respecto a la cámara de líquido contenida en la misma.

En otro aspecto más, el detector de conductividad puede incluir una parte de calibración que posibilita la calibración del detector. La parte de calibración puede incluir componentes eléctricos que replican el líquido en la cámara de líquido y los electrodos dispuestos alrededor de la cámara de líquido. La fuente de energía y el voltímetro pueden acoplarse selectivamente a los electrodos alrededor de la cámara de líquido o a la parte de calibración. Las mediciones de conductividad detectadas de la cámara de líquido pueden compararse con la medición de conductividad conocida de la parte de calibración para la calibración periódica del detector de conductividad.

Una ventaja del detector de conductividad descrito en este documento es que puede proporcionar una medición más precisa de la conductividad de un líquido. Otra ventaja es que el detector de conductividad puede utilizar un diseño sin contacto para que se comunique de forma eléctrica con el líquido en análisis, evitando de ese modo el ensuciamiento o la contaminación de los electrodos. Una ventaja relacionada es que el líquido en análisis puede estar contenido en una cámara de líquido desechable, que puede reemplazarse para evitar adicionalmente la contaminación del detector y/o el líquido. Estas y otras ventajas y características de la divulgación llegarán a ser evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de hemodiálisis para tratar sangre extraída de un paciente con un líquido de dializado y que incluye un detector de conductividad para analizar el dializado.

La figura 2 es un diagrama esquemático de una cubeta de conductividad para el análisis conductor de un líquido.

La figura 3 es un diagrama esquemático que representa una representación eléctrica simplificada de un circuito detector para realizar análisis conductor.

La figura 4 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica mejorada del circuito detector para realizar análisis conductor.

La figura 5 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica de un circuito detector mejorado para realizar análisis conductor.

La figura 6 es una vista en perspectiva de una representación general de una cubeta de conductividad configurada para entrar en contacto con y detectar un líquido dirigido a través de la cubeta.

La figura 7 es una vista elevada de una representación general de una cubeta de conductividad configurada para detección de conductividad sin contacto acoplada de forma capacitiva de un líquido dirigido a través de la cubeta.

La figura 8 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica de un circuito detector para su uso junto con una cubeta de conductividad sin contacto acoplada de forma capacitiva tal como se ilustra en la figura 7.

La figura 9 es una vista en perspectiva de una carcasa de cubeta para acomodar y facilitar el acoplamiento capacitivo con una cámara de líquido a través de la que se dirige el líquido en análisis.

La figura 10 es una vista de ensamblaje en perspectiva de la carcasa de la figura 9.

La figura 11 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica de un circuito detector con el fin de ilustrar los efectos de corriente parasitaria y filtración de corriente.

La figura 12 es un diagrama de bloques general de un sistema de cámaras de goteo para aislar eléctricamente el líquido en la cubeta de conductividad para reducir las corrientes parasitarias y la pérdida de corriente.

La figura 13 es un diagrama de bloques general de otra realización de un sistema de cámaras de goteo para aislar líquido en la cubeta de conductividad para reducir corrientes parasitarias y pérdida de corriente.

La figura 14 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica de un circuito detector para realizar

análisis de conductividad que incluye un circuito opuesto para reducir las corrientes parasitarias y la pérdida de corriente.

5 La figura 15 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica del circuito detector para realizar el análisis de conductividad que incluye un aislante pasivo para aislar corrientes parasitarias y pérdida de corriente.

La figura 16 es otro diagrama esquemático de una representación eléctrica del circuito detector para realizar análisis de la conductividad que incluye otro tipo de aislante pasivo.

10 La figura 17 es un diagrama esquemático de una representación eléctrica del circuito detector para realizar análisis de la conductividad que incluye una parte de calibración para calibrar y reducir los errores en la medición de la conductividad.

### Descripción detallada

15 Con referencia ahora a los dibujos, en los que números de referencia iguales se refieren a elementos iguales, se ilustra en la fig. 1 un sistema de hemodiálisis 100 ejemplar para la filtración y la eliminación de impurezas de la sangre de un paciente 102. Aunque se describen diversos aspectos de la presente divulgación con respecto al  
 20 tratamiento y sistemas de hemodiálisis, estos aspectos tienen aplicabilidad más allá de la hemodiálisis y no se limitan a la hemodiálisis, ni las reivindicaciones están así limitadas salvo que se indique explícitamente. El sistema de hemodiálisis 100 incluye un dializador 110 en que se realiza la filtración de sangre. El dializador 110 puede ser un dializador de flujo cruzado en que se separa sangre que fluye en una dirección de un líquido de dializado que fluye en la dirección opuesta mediante una membrana semipermeable. A través de un proceso a veces denominado ultrafiltración, Los solutos y las impurezas de la sangre pueden transferirse a través de la membrana hasta el  
 25 dializado y dirigirse fuera del dializador 110.

Para dirigir la sangre del paciente 102 al dializador 110, puede conectarse un catéter 112 insertado en el paciente al dializador mediante tubos o una línea de extracción 114. Para mantener el flujo de sangre desde el paciente 102 hasta el dializador 110, puede disponerse una bomba 116 tal como una bomba peristáltica giratoria a lo largo de la  
 30 línea de extracción 114 y aplica una presión al sistema que dirige o complementa el flujo de sangre en la dirección apropiada. La sangre filtrada del dializador 110 retorna al paciente 102 mediante una línea de retorno 118. El dializado de un recipiente de dializado reciente 120 puede comunicarse con el dializador 110 mediante una línea de dializado reciente 122 y devolverse del dializador a un recipiente de dializado usado 124 mediante una línea de dializado usado 126. Pueden disponerse una o más bombas de dializado 128 a lo largo de cualquiera de la línea de  
 35 dializado reciente 124 y la línea de dializado usado 126 o ambas para dirigir el dializado a y desde los recipientes respectivos y el dializador 110. Pueden disponerse diversos detectores de presión y controladores a lo largo de la línea de extracción 114 y la línea de retorno 118 para controlar el flujo de sangre.

Para controlar una o más características, parámetros y/u otros datos asociados con la sangre u otro líquido que se  
 40 esté tratando, el sistema de hemodiálisis 100 puede incluir un detector de conductividad 140 que está dispuesto en comunicación fluida con el sistema. En la realización ilustrada del sistema de hemodiálisis 100, el detector de conductividad 140 está dispuesto después del dializador 110 a lo largo de la línea de dializado usado 126 de modo que recibirá y analizará el dializado usado que retorna del dializador 110, pero en otras realizaciones el detector puede incorporarse en otras ubicaciones dentro del sistema. El detector de conductividad 140 puede estar acoplado  
 45 de forma comunicativa con uno o más dispositivos eléctricos 142 diferentes tales como una unidad de control eléctrico o un ordenador para proporcionar energía y/o análisis de datos. Para comunicar los datos al personal médico que realiza el tratamiento de diálisis, el dispositivo eléctrico 142 puede a su vez estar vinculado de forma comunicativa con uno o más dispositivos de interfaz del usuario 144 tal como una pantalla LCD o similar. En la realización ilustrada, el dispositivo eléctrico 142 y el dispositivo de interfaz 144 se muestran como un ordenador  
 50 personal, pero en otras realizaciones, podrían ser parte de un asistente o unidad exclusiva especializada.

### CONDUCTIVIDAD DEL LÍQUIDO

Los siguientes antecedentes sobre la conductividad del líquido pretenden proporcionar al lector una mejor  
 55 comprensión del funcionamiento y la construcción del detector de conductividad y otros conceptos descritos en este documento. Sin embargo, debe apreciarse que la presente divulgación y cada una de las reivindicaciones indicadas en este documento no pretenden estar limitadas a ninguna teoría particular salvo que se indique explícitamente. Casi todos los fluidos, y más particularmente los líquidos, tienen o muestran algún grado de conductividad eléctrica por la que el fluido portará una corriente eléctrica entre dos electrodos separados espacialmente. Por tanto, la  
 60 conductividad es la propiedad o la medida de la capacidad del fluido de conducir una corriente eléctrica, y la conductividad entre electrodos separados espacialmente puede medirse en Siemens/cm. La conductividad es el recíproco o la inversa de la resistividad, la propiedad o la medida de la resistencia del fluido al paso de una corriente eléctrica. Como la mayoría de fluidos no son conductores perfectos o resistores perfectos, tendrán algún grado medible tanto de conductividad como de resistividad.

65 La conductividad ( $\kappa$ ) y la resistividad ( $\rho$ ) pueden darse por las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$\kappa = S \cdot L / A \quad (1)$$

$$\rho = \Omega \cdot A / L \quad (2)$$

5 En las que:  $\kappa$  es la conductividad en S/cm;  
 $\rho$  es la resistividad en  $\Omega \cdot \text{cm}$ ;  
 $A$  es el área de la muestra en  $\text{cm}^2$ ;  
 $L$  es la longitud de la muestra en cm;  
 $S$  es la conductancia eléctrica de la muestra en S; y  
 10  $\Omega$  es la resistencia eléctrica de la muestra en  $\Omega$ .

Las ecuaciones (1) y (2) pueden aplicarse a una muestra de ensayo de un líquido tal como se ilustra en la fig. 2. En la fig. 2, el líquido 202 en consideración puede disponerse entre una primera placa metálica 210 y una segunda placa metálica paralela 212 separada por un espacio. La primera y la segunda placa metálica 210, 212 pueden acoplarse eléctricamente a una fuente de energía de modo que las placas puedan funcionar como electrodos. Aunque las placas ilustradas en la fig. 2 son cuadradas, se apreciará que se contemplan otras formas y tamaños. La estructura representada en la fig. 2 y estructuras similares a veces se denominan cubeta de conductividad 200 por los expertos en la materia porque se usan para medir la conductividad y/o la resistividad del líquido.

20 Cuando se aplica una fuente de energía tal como una fuente de CA o de CD a la primera y a la segunda placa 210, 212, el líquido 202 entre ellas resistirá parcialmente la conducción de corriente entre las placas o a través de la cubeta de conductividad 200. Por tanto, la cubeta de conductividad 200 se comporta como una resistencia. La resistencia del líquido 202 puede medirse usando la ley de Ohm, dada por la ecuación (3), y midiendo la caída de tensión y/o el flujo de corriente a través de la cubeta

$$\text{Ley de Ohm: } V = I \cdot R \quad (3)$$

En la que:  $V$  es la tensión;  
 $I$  es la corriente; y  
 30  $R$  es la resistencia.

Aplicando las ecuaciones (1) y (2) para la conductividad y la resistividad para la cubeta de conductividad 200 de la fig. 2, se apreciará que el área  $A$  puede representar el área de las placas 210, 212 y la longitud  $L$  puede representar la distancia entre las placas como se indica por el corchete 220. Las variables  $A$  y  $L$  pueden predeterminarse durante el diseño de la cubeta de conductividad 200 por el diseñador. Por tanto, para una cubeta de conductividad de dimensiones predeterminadas con  $A$  y  $L$  prestablecidos, las ecuaciones (1) y (2) se reducen a las ecuaciones (3) y (4) de la siguiente manera:

$$\kappa = S \cdot K_{\text{cubeta}} \quad (4)$$

$$\rho = \Omega / K_{\text{cubeta}} \quad (5)$$

En las que  $K_{\text{cubeta}}$  es igual a  $L/A$  y se denomina constante de cubeta porque se calcula a partir de dimensiones de área y longitud predeterminadas, es decir, constantes de la cubeta de conductividad 200. Para una constante de cubeta dada  $K_{\text{cubeta}}$ , se apreciará que la resistencia  $\Omega$  para el líquido 202 puede determinarse a partir de la ecuación (3) y la medición de la caída de tensión y/o el flujo de corriente a través de la cubeta por medidores apropiados. La ecuación (1) para la conductividad es la recíproca de la ecuación (2) y, por lo tanto, la conductividad del líquido en la cubeta se puede resolver fácilmente.

#### MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE CUATRO CABLES

50 Para mejorar la precisión de las mediciones de conductividad del líquido en la muestra, en un aspecto de la presente divulgación, la cubeta de conductividad se configura para utilizar, al menos en parte, métodos de medición de la resistencia de cuatro cables conocidos. De nuevo, La siguiente descripción teórica se proporciona para una mejor comprensión de la divulgación y no pretende limitar las reivindicaciones salvo que se indique explícitamente. Con referencia a la fig. 3, Se ilustra una representación esquemática de un circuito eléctrico tal como un circuito detector de conductividad 300 en que se ha incorporado la cubeta de conductividad. En el diagrama esquemático, la cubeta de conductividad puede estar representada como una resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 302$ , que como se apreciará puede representar la resistividad/conductividad del líquido contenido en la cubeta. En otras palabras, la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 302$  es un valor asociado con el líquido y no un componente físico tal como una resistencia.

El circuito detector de la conductividad 300 también puede incluir una fuente de energía 304, tal como una fuente de corriente constante, que proporciona energía al circuito y que está acoplada eléctricamente a la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 302$  representativa de la cubeta de conductividad. La corriente desde la fuente de energía 304 puede fluir a través de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 302$  a tierra. Un medidor, tal como un ohmímetro, un amperímetro o preferiblemente un voltímetro 309, puede conectarse al circuito eléctrico 300 por la primera y la

segunda línea de medición 306, 308. Si se usa un voltímetro como medidor 309, puede medir la caída de tensión a través de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302 para determinar la conductividad del líquido en la cubeta de conductividad mediante las ecuaciones (1) y (2) anteriores. La caída de tensión a través de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302, que puede variar con el líquido en análisis, sirve como señal indicativa de las propiedades eléctricas y/o químicas del material. En otras realizaciones, la fuente de corriente puede remplazarse con una fuente de tensión y se mide la corriente a través de  $R_{\text{Desconocida}}$ .

Sin embargo, El circuito esquemático ilustrado en la fig. 3 no es una representación de un circuito detector que incorpora una cubeta de conductividad lo más precisa posible porque no representa la resistencia proporcionada por los terminales, hilos y conexiones incluidos en el circuito detector. Una representación más precisa y detallada de un circuito detector 310 se ilustra en la fig. 4, que de nuevo incorpora la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302 representativa de la cubeta de conductividad. Dos nuevas resistencias R2 312 y R3 314 se introducen en este circuito detector 310 que representan la resistencia eléctrica de los electrodos, que son las conexiones físicas entre el circuito detector y la cubeta de conductividad, la resistencia inherente en los cables o hilos desde los electrodos hasta fuente de energía 304. Estas resistencias R2 312 y R3 314 se muestran conectadas en serie con la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302. Adicionalmente, en la fig. 4, una resistencia R4 316, que se muestra conectada en paralelo con la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302, puede representar la resistencia del material del que está hecho físicamente la cubeta de conductividad. Si el voltímetro 309 está conectado mediante hilos de medición 306, 308 al circuito detector 310 como se muestra en la fig. 4, medirá la caída de tensión y/o el flujo de corriente debido a las resistencias R2 312, R3 314 y R4 316 así como la caída de tensión y/o el flujo de corriente a través de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302.

En teoría, si las resistencias R2 312, R3 314 y R4 316 son conocidas, es posible calcular el valor de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302 usando fórmulas conocidas para añadir resistencia en serie y en paralelo. En muchos sistemas prácticos, no obstante, estas resistencias también son desconocidas. Por ejemplo, cuando el circuito detector 310 incorpora una cubeta de conductividad para analizar líquidos, el ensuciamiento y la contaminación de los electrodos y el material de la cubeta por el líquido pueden afectar a las resistencias R2 312, R3 314 y R4 316. Los valores desconocidos y posiblemente variables para las resistencias R2 312, R3 314 y R4 316 pueden provocar errores en la determinación del valor de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302.

Una solución al problema anterior se ilustra en la fig. 5, que representa un circuito detector 320 que emplea un método de medición de resistencia de cuatro cables, a veces denominado proceso de medición de Kelvin. En este circuito detector de conductividad 320, el voltímetro 309 y sus líneas de medición asociadas 306, 308 están conectados físicamente a, y preferiblemente conectados directamente a, los electrodos en la cubeta de conductividad representada por la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302. Se introducen dos nuevas resistencias R5 322 y R6 324 que representan la resistencia de los acoplamientos reales o electrodos que conectan los cables de medición 306, 308 del voltímetro a la cubeta de conductividad 309 se representan por la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302. Para los propósitos de esta divulgación, R4 316 se ignorará porque la resistencia del material de la cubeta a menudo se considera insignificante con respecto al efecto de las resistencias R2 312 y R3 314 y  $R_{\text{Desconocida}}$  302.

En funcionamiento, la fuente de energía 304 suministrará corriente constante a través de la resistencia R2 312, la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302 y la resistencia R3 314 a tierra. Sin embargo, la corriente desviada del circuito 320 al voltímetro 309 y, por tanto, a través de la resistencia R5 322 y R6 324, será relativamente pequeña porque el voltímetro requiere relativamente poca corriente para funcionar. A causa de la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ) y la cantidad relativamente pequeña de corriente desviada al voltímetro 309, las caídas de tensión causadas por la resistencia R5 322 y R6 324 que representan el acoplamiento físico entre el voltímetro y la cubeta de conductividad también son relativamente pequeñas, incluso si R5 y R6 son grandes. Por tanto, el voltímetro 309 medirá principalmente la caída de tensión únicamente a través de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  302, posibilitando por tanto una determinación precisa de la resistividad/conductividad del líquido en la cubeta de conductividad. Esto es cierto independientemente del valor o cambio en el valor de las resistencias R2 312 y R3 314 que representan los acoplamientos conectados a la cubeta de conductividad. Por tanto, usar un circuito detector 320 que aplica el método de medición de la resistencia de cuatro cables para controlar la cubeta de conductividad proporciona una medición más precisa de la conductividad del líquido en la cubeta.

En una realización adicional, el circuito detector que utiliza el método de medición de la resistencia de cuatro cables puede configurarse para que funcione con energía de corriente alterna ("CA"). Como apreciarán los expertos en la materia, además de la resistencia eléctrica, la realización de CA del circuito detector tendrá que tener en cuenta la reactancia (X), que es la oposición de los componentes del circuito al cambio en la corriente inherente en la fuente de energía de CA, y la impedancia (Z), que es la suma de la reactancia de todos los componentes del circuito. La reactancia y, por tanto, la impedancia, pueden surgir de las propiedades de capacitancia e inductancia de los componentes del circuito en energía CA. Una posible estrategia simplista es ignorar en gran medida los efectos espurios, parasitarios y de transmisión causados por la capacitancia y la inductancia y estimar la impedancia por la siguiente ecuación:

$$Z = V_{\text{mag}}/I \quad (6)$$

En la que:  $Z$  es la impedancia, medida en ohmios;  
 $V_{\text{mag}}$  es la tensión, medida en voltios; y  
 $I$  es la corriente, medida en amperios.

5 En esta simplificación, R2 - R6 en el circuito detector 320 de la fig. 5 pueden remplazarse por Z2 - Z6 para tener en cuenta la reactancia y la impedancia en el circuito detector de CA. Como la impedancia es la suma de la reactancia para cada componente individual en el circuito, el valor para la impedancia variará directamente con variaciones en el valor de la reactancia de cada componente.

10 El circuito detector puede incluir otros elementos para facilitar la detección conductora del líquido. Por ejemplo, como la corriente al voltímetro debe ser relativamente pequeña, pueden incorporarse amplificadores y similares para aumentar la corriente hasta niveles adecuados para el análisis y el procesamiento de datos electrónicos. También pueden incorporarse diversos complementos, filtros, convertidores, registradores, acumuladores intermedios y similares para propósitos similares de análisis y almacenamiento de datos. Adicionalmente, aunque anteriormente se describe una fuente de energía genérica, en diversas realizaciones, la fuente de energía puede diseñarse para que facilite la captura de datos. Por ejemplo, cuando se usa corriente alterna, la frecuencia y la forma de onda de la corriente introducida puede seleccionarse para que proporcione una señal de entrada predeterminada a la resistencia desconocida que produce una señal de salida medida por el voltímetro. La señal de salida puede salir además a un osciloscopio u otros instrumentos o aparatos de adquisición de datos para el análisis de la señal. Esto posibilita diversos métodos de procesamiento de señales y facilita la captura y análisis de los datos. Estas y otras diversas técnicas analíticas se considera que están dentro del alcance de la divulgación.

#### 25 CUBETAS DE CONDUCTIVIDAD

Con referencia a la fig. 6, se ilustra un ejemplo de una cubeta de conductividad 400 que no es de acuerdo con la presente invención para medir la conductividad de un líquido que en general utiliza e implementa el método de medición de la resistencia de cuatro cables descrito anteriormente o variaciones del mismo. La cubeta de conductividad 400 incluye una cámara de líquido hueca 402 que delimita un orificio interior o canal 404 para recibir y contener el líquido. En la realización ilustrada, la cámara de líquido hueca 402 es un tubo cilíndrico alargado que está dispuesto a lo largo de una línea de eje cilíndrico 418. Sin embargo, en otras realizaciones, la cámara de líquido podría tener otras formas posibles tales como curvada. La cámara de líquido 402 ilustrada puede hacerse de cualquier material adecuado que sea permeable a campos electromagnéticos tales como polímeros de calidad médica y, más preferiblemente, de poli(cloruro de vinilo) ("PVC") de calidad médica. La cámara de líquido cilíndrica 402 puede tener cualquier tamaño adecuado pero, en la presente realización, en general es de 11,5 cm de longitud por 2,54 cm de diámetro.

En funcionamiento, para medir la conductividad de un líquido, la cámara de líquido 402 estará dispuesta en comunicación fluida con un sistema líquido tal como el sistema de hemodiálisis descrito anteriormente de modo que los líquidos puedan entrar en el interior hueco de la cámara de líquido. En algunas realizaciones, la cubeta de conductividad 400 puede estar dispuesta "en línea" para recibir directamente líquidos que son parte del proceso de hemodiálisis. En dichas realizaciones, la cámara de líquido tubular 402 puede estar abierta en su primer extremo 406 y su segundo extremo 408 de modo que líquidos puedan acceder, pasar a través y salir al canal interior 404. En otras realizaciones, la cámara de líquido puede estar "aislada" o "sin salida" de modo que únicamente reciba y contenga líquidos extraídos del circuito de líquidos en el sistema de hemodiálisis. En dichas realizaciones, únicamente el primer extremo 406 puede estar abierto y el segundo extremo 408 puede estar cerrado herméticamente. Para los presentes propósitos de análisis, la cámara de líquido 402 puede considerarse "en línea" con el primer extremo 406 denominado el extremo anterior y el segundo extremo 408 denominado el extremo posterior para indicar la dirección de flujo de líquido a través del canal interior 404. El flujo de líquido en la cubeta de conductividad 400 puede ser continuo o intermitente.

Para conectar eléctricamente la cubeta de conductividad 400 con el circuito detector, una pluralidad de electrodos en forma de anillos conductores anulares se dispone radialmente alrededor del canal interior 404 de la cámara de líquido cilíndrica 402. Los anillos conductores pueden fabricarse de cualquier material eléctricamente conductor tal como metal. Específicamente, los anillos incluyen un primer anillo de excitación 410 y un segundo anillo de excitación 412 que están dispuestos axialmente hacia el exterior a lo largo de la longitud de la cámara de líquido 402 con el primer anillo de excitación próximo al extremo anterior 406 y el segundo anillo de excitación próximo al extremo posterior 408. Como se usa en este documento, "próximo" debe interpretarse ampliamente y puede incluir "cerca" o "hacia", así como "en". También se incluye un primer anillo detector 414 y un segundo anillo detector 416 que están dispuestos axialmente hacia el interior de los anillos de excitación exteriores 410, 412. Sin embargo, en otras realizaciones, se contempla que las posiciones hacia el exterior y hacia el interior de los anillos de excitación y detectores pueden invertirse de modo que los anillos detectores estén hacia fuera de los anillos de excitación. El primer y el segundo anillo de excitación 410, 414 y el primer y el segundo anillo detector 414, 416 están alineados axialmente conjuntamente a lo largo de la línea del eje 418. Los anillos de excitación 410, 412 pueden estar en comunicación eléctrica con la fuente de energía del circuito detector mediante cables o hilos 420 mientras que los anillos detectores 414, 416 pueden estar conectados al voltímetro mediante cables o hilos 422.

En funcionamiento, una fuente de energía aplica una tensión a los anillos de excitación externos 410, 412, de modo que el líquido dentro de la cámara de líquido 402 puede conducir una corriente entre los anillos de excitación completando de ese modo el circuito. La tensión aplicada puede ser una corriente alterna estando el primer y el segundo anillo de excitación 410, 412 a 180 ° de fase entre sí. Con respecto al circuito detector descrito anteriormente en la fig. 5, se apreciará que, en esta realización, el líquido dentro de la cámara de líquido 402 representa la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$ . Los anillos detectores 414, 416 conectados al voltímetro, a causa de su posición intermedia entre el primer y el segundo anillo de excitación 410, 412 a lo largo de la longitud axial de la cámara de líquido 402, medirán o detectarán la caída de tensión en el líquido ubicado entre el primer anillo detector 414 y el segundo anillo detector 416. Utilizando el método de medición de la resistencia de cuatro cables descrito anteriormente, la caída de tensión posibilita la determinación de la resistividad/conductividad del líquido.

Para la geometría ilustrada de la cámara de líquido 402 en la fig. 6, la constante de cubeta  $K_{\text{cubeta}}$  en las ecuaciones (4) y (5) es igual a la distancia axial entre los centros del primer y segundo electrodo de detección internos 414, 416, indicados por la flecha 428 en la fig. 6, dividida por el área circular de sección transversal del canal interior 404 indicado por la flecha 429. Estas dimensiones determinan el volumen de líquido dentro de la cámara de líquido 402 en un tiempo dado que está representado como la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  en el circuito detector. Por tanto, el volumen de líquido puede determinarse mediante el diseño y el tamaño de la cámara de líquido. Si las dimensiones de la cámara de líquido cambian, la constante de cubeta puede recalcularse usando nuevos valores para las dimensiones de longitud y área. Para asegurar que el primer y segundo anillo de excitación 410, 412 están hacia el exterior del primer y segundo anillo de detección 414, 416, los anillos de excitación pueden estar separados axialmente una segunda distancia 430 en la dirección axial que es mayor que la primera distancia 428 entre los anillos de detección. A causa de la posición intermedia de los anillos de detección 414, 416 entre el primer y segundo anillo de excitación dispuestos hacia el exterior 410, 412 a lo largo de la longitud axial de la cámara de líquido 402, los anillos de detección son certeros para capturar la corriente o señal eléctrica inducida en y que se propaga a través del líquido entre los anillos de excitación. Adicionalmente, como el primer y segundo anillo de excitación están ubicados hacia el exterior del primer y segundo anillo de detección, proporcionan algún grado de protección a los anillos de detección del ruido externo y la interferencia electromagnética. Como el primer y segundo anillo de detección 410, 412 están separados axialmente entre sí por la distancia axial 428, es cierto que habrá un volumen de líquido dentro de la cámara de líquido entre los electrodos de detección en que se produce una caída de tensión medible debido a  $R_{\text{Desconocida}}$ .

En el ejemplo de la cubeta de conductividad 400 ilustrada en la fig. 6, los anillos de excitación 410, 412 y los anillos de detección 414, 416 pueden estar incluidos en el material de las paredes de la cámara de líquido de modo que los anillos estén expuestos al canal interior 404 y entren en contacto físico con el líquido en el mismo para completar la conexión eléctrica. Sin embargo, el contacto físico puede dar lugar a corrosión o ensuciamiento de los electrodos y/o el líquido. Esto también puede presentar problemas de seguridad en aplicaciones donde el líquido que pasa a través de la cubeta de conductividad se tiene que retornar al paciente o las tensiones usadas son excepcionalmente altas y el líquido presenta un peligro de cortocircuito eléctrico.

Para abordar los problemas que surgen del contacto físico con el líquido en análisis, la fig. 7 divulga un diseño sin contacto para la cubeta de conductividad 500 de acuerdo con la presente invención. En la fig. 7, la cubeta de conductividad 500 de nuevo incluye un cámara de líquido cilíndrica 502 con un canal interior hueco 504 que está abierto en su primer y segundo extremo 506, 508 para permitir la comunicación fluida a través de la cámara. Los electrodos en forma de primer y segundo anillo de excitación conductores 510, 512 están dispuestos hacia el exterior a lo largo de la longitud axial de la cámara de líquido 502 de modo que el primer y segundo anillo de excitación están próximos a los respectivos primer y segundo extremo 506, 508 de la cámara de líquido. El primer y segundo anillo de detección 514, 516 están dispuestos axialmente hacia el interior del primer y segundo anillo de excitación 510, 512 y están dispuestos de modo que los anillos de excitación y los anillos de detección están alineados axialmente a lo largo de la línea de eje 518 de la cubeta de conductividad 500. Los anillos de excitación 510, 512 pueden unirse a la fuente de energía mediante los cables 520 y los anillos de detección 514, 516 pueden unirse al voltímetro mediante los cables 522. La constante de cubeta  $K_{\text{cubeta}}$  para la cubeta de conductividad 500 es una función de la distancia axial entre los centros del primer y segundo anillo de detección 514, 516, indicados por la flecha 528, y el diámetro medio interno de la cámara de líquido 502 a través del que está dirigido el líquido, indicado por la flecha 529. Los anillos de excitación 510, 512 pueden estar separados segunda distancia axial 530 que es mayor que la primera distancia axial 528 entre los electrodos de detección 514, 516.

En contraste con el diseño integrado de la fig. 6, los anillos de electrodo anulares de la fig. 7 rodean de forma radial y abarcan el exterior de la pared de la cámara de líquido cilíndrica 502 de modo que no se produce contacto directo entre el líquido en el canal interior 504 y los anillos de electrodo. Para detectar eléctricamente las propiedades del líquido en ausencia de contacto directo entre los electrodos y el líquido, la cubeta de conductividad en la fig. 7 utiliza un método de acoplamiento capacitivo. En un diseño de detección sin contacto acoplado de forma capacitiva (C4D), los electrodos de excitación conductores se colocan próximos a, pero separados físicamente de, un material tal como un líquido en análisis. Cuando se aplica una corriente CA al electrodo, simulará una placa de un capacitor y tendrá una carga eléctrica acumulada dentro del mismo. El material en análisis que está próximo al electrodo puede simular la placa opuesta del capacitor que permite la acumulación de una carga correspondiente dentro del mismo.

Quando la fuente de CA cambia de fase, el electrodo y el líquido que simulan las placas del capacitor pueden descargarse. Si un electrodo de detección está en las cercanías del electrodo de excitación y separado del mismo únicamente por el material en análisis, la carga acumulada en el material causará de forma capacitiva una carga correspondiente acumulada en el electrodo de detección. Por tanto, el material en análisis y el electrodo de detección simulan un segundo capacitor que se cargará y descargará de acuerdo con la señal de CA aplicada al electrodo de excitación.

Con referencia a la fig. 7, el anillo de excitación 510 simula una placa de capacitor, el material de la pared de la cámara de líquido 502 simula el dieléctrico y el líquido en la cámara de líquido forma la otra placa del capacitor. Asimismo, el líquido, la pared de la cámara de líquido y el anillo de detección 514 simulan un segundo capacitor. Por tanto, el anillo de excitación 510, el líquido en la cámara de líquido 502 y el anillo de detección 514 se acoplan de forma capacitiva conjuntamente formando una estructura C4D. Para incorporar el método de medición de la resistencia de cuatro cables, el segundo anillo de excitación 512 y el segundo anillo de detección 516, y el líquido rodeado por estos anillos, también pueden formar otra estructura C4D. Mediante acoplamiento capacitivo, una tensión aplicada al primer y segundo anillo de excitación externo 510, 512 causará que una corriente se induzca y propague a través de la longitud axial de la cámara de líquido 502 que puede detectarse por el primer y segundo anillo de detección 514, 516 colocados hacia el interior. A través de la calibración apropiada y la comparación con la tensión aplicada, los anillos de detección 514, 516 pueden hacerse sensibles a la caída de tensión en el líquido que está entre medias. La caída de tensión entre el primer y segundo anillo de detección 514, 516 puede usarse para determinar la resistividad/conductividad del líquido en la cámara de cubeta 502.

Esquemáticamente, la cubeta de conductividad 500 de la fig. 7 puede representarse como el circuito detector 600 en diagrama en la fig. 8. La resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 602$  continúa representando la resistencia o impedancia del líquido en la cubeta de conductividad. Las uniones entre la fuente de energía 604 a través de la cubeta de conductividad a tierra o un retorno se representan por las resistencias R2 612 y R3 614, mientras que las uniones entre el voltímetro 609 conectado a la cubeta de conductividad mediante las uniones de medición 606, 608 se representan por las resistencias R5 622 y R6 624. Los condensadores se introducen a la representación esquemática para representar el acoplamiento entre los anillos de electrodo y el líquido en la cubeta. Por ejemplo, la capacitancia C2 630 representa el acoplamiento capacitivo entre el primer anillo de excitación y el líquido dentro de la cubeta de conductividad. Asimismo, la capacitancia C3 632 representa el acoplamiento capacitivo entre el segundo anillo de excitación y el líquido, mientras que las capacitancias C5 634 y C6 636 representan los acoplamientos entre el líquido y el primer y segundo anillo de detección, respectivamente. Como hay un espacio físico o hueco entre los anillos de excitación y los anillos de detección en la dirección axial de la cubeta de conductividad, se introducen dos nueva R7 640 y R8 642. Con referencia a las fig. 7 y 8, la resistencia R7 640 representa la resistencia del líquido ubicado entre el primer anillo de excitación 510 y el primer anillo de detección 514 que no serían parte de la caída de tensión medida entre el primer y el segundo anillo de detección 514, 516. La resistencia R8 642, asimismo, representa la caída de tensión entre el segundo anillo de excitación 512 y el segundo anillo de detección 516. Globalmente, no obstante, la arquitectura de cuatro cables se retiene sustancialmente en la representación esquemática ilustrada en la fig. 8.

En funcionamiento, se aplica una fuente de energía de CA a los anillos de excitación representados por las capacitancias C2 630 y C3 632 que se acoplarán de forma capacitiva con y se propagarán a través del líquido entre los anillos de excitación. Esta carga inducida o señal en el líquido puede acoplarse con o detectarse por los anillos de detección representados por las capacitancias C5 634 y C6 636 y registrarse o grabarse de ese modo en el voltímetro 609. La caída de tensión entre el primer y segundo anillo de detección, representada por la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}} 602$ , también se mide por el voltímetro 609. La caída de tensión depende de la impedancia o de las propiedades conductoras del líquido y puede traducirse en información y datos acerca de las propiedades químicas y físicas del líquido. La experimentación puede correlacionar las propiedades eléctricas y físicas para posibilitar el análisis del líquido.

Pueden obtenerse ventajas particulares del acoplamiento capacitivo de la cubeta de conductividad al circuito detector. De acuerdo con la presente invención, en el detector de conductividad de la fig. 7, el diseño C4D permite que la cámara de líquido 502 se configure como una parte desechable del sistema global. En particular, la cámara de líquido 502 puede ser un tubo de plástico cilíndrico de paredes delgadas que de acuerdo con la invención se inserta de forma deslizable a través de los anillos de excitación 510, 512 y los anillos de detección 514, 516 en la dirección de línea del eje 518. El primer y segundo extremo abierto 506, 508 de la cámara de líquido hueca 502 pueden colocarse en comunicación fluida con el resto del sistema para recibir el líquido de ensayo. Después de su uso, la cámara de líquido 502 puede desconectarse con el conducto de líquido del sistema, retirarse de forma deslizable de los anillos de excitación 510, 512 y los anillos de detección 514, 514, y desecharse. Una nueva cámara de líquido puede reemplazar la cámara de líquido desechada. Por tanto, los anillos de excitación, los anillos de detección y los otros componentes del circuito del circuito detector y todas las conexiones intermedias pueden reutilizarse reemplazando únicamente la cámara de líquido de plástico barata. Adicionalmente, la distancia 528 entre el primer y el segundo anillo de detección 514, 516 puede fijarse de forma rígida en la cubeta de conductividad 500 en relación con la cámara de líquido 502 de modo que el valor de la constante de cubeta  $K_{\text{cubeta}}$  se mantenga consistentemente y en general sea repetible aunque se retiren y reemplacen las cámaras de líquido. El diseño desechable, cuyas realizaciones adicionales se describen a continuación, tiene ventajas importantes en sistemas

que implican líquidos médicos, químicos o biológicos porque la naturaleza desechable promueve la limpieza y evita la contaminación.

Con referencia a las fig. 7 y 8, otra ventaja posible es que el circuito detector 600 puede configurarse para detectar si está presente una cantidad insuficiente de líquido en la cámara de líquido 502, por ejemplo, debido a formación de burbujas de gas en el circuito de líquido o una cámara que no está completamente llenada. En general es deseable que el líquido llene completamente la cámara de líquido y no forme burbujas en el interior. Por esta razón, la cámara de líquido 502 puede orientarse de forma vertical con su salida dirigida hacia la parte superior para guiar las burbujas de gas hacia el exterior y las paredes internas pueden hacerse relativamente suaves para evitar la formación y la adherencia de burbujas. Además, puede utilizarse un método para detectar una cámara que no está completamente llena. Con referencia a la fig. 8, si hay un volumen grande de gas presente en la cámara de líquido, la resistencia y/o la impedancia de  $R_{\text{Desconocida}} 602$ , y posiblemente las resistencias R7 640 y R8 642, empezarán a aumentar hacia el infinito. Esto es porque el volumen de gas en la cámara de líquido "abre" o rompe el circuito detector 600. El medidor 609 puede detectar esta resistencia creciente y, si aumenta por encima de un umbral predeterminado, el circuito detector 600 puede determinar que la cámara de líquido no está llena apropiadamente y rechaza los datos reunidos recientemente como una aberración. En algunas aplicaciones, tales como las médicas, el circuito detector también puede proporcionar un aviso o cancelar el procedimiento si los espacios en el líquido pudieran crear un problema de seguridad. Una vez que el líquido empieza a llenar la cámara de líquido de nuevo y la resistencia o impedancia en  $R_{\text{Desconocida}} 602$  vuelve a niveles normales, el circuito detector puede volver a recoger datos.

Para controlar la formación de burbujas a lo largo del tiempo, el circuito detector puede controlar el ruido o un cambio en el ruido en el sistema. Por ejemplo, la formación de burbujas causará cambios o picos rápidos en la conductividad del líquido en la cámara de líquido durante un corto período de tiempo que puede desaparecer rápidamente cuando las burbujas explotan o salen de la cámara. El equipo de análisis de datos asociado con el circuito detector puede promediar la conductividad medida del líquido en la cubeta detectora durante un periodo de tiempo y determinar de ese modo una conductividad del líquido en equilibrio o promedio que tiene en cuenta las burbujas que se forman y pasan a través de la cámara. Pueden tomarse mediciones instantáneas o casi instantáneas de la conductividad del líquido y compararse con la conductividad promedio para determinar el "ruido" dentro del sistema. El nivel de ruido puede usarse para evaluar si el sistema está funcionando de forma eficaz o no.

#### EJEMPLO 1

El siguiente ejemplo sirve para describir algunas de las consideraciones y características funcionales de una realización de una cubeta de conductividad diseñada de acuerdo con los contenidos anteriores. Para empezar, la capacitancia de un condensador de placas paralelas se da por la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 (A/d) \quad (7)$$

En la que: C es la capacitancia en faradios;  
 $\epsilon_r$  es la constante dieléctrica;  
 $\epsilon_0$  es la permisividad del espacio libre, que es igual a  $8,854 \times 10^{-12}$ ;  
 A es el área de la placa, en metros<sup>2</sup>; y  
 d es la distancia entre las placas de electrodo en metros.

La ecuación 7 puede aplicarse a la cámara de líquido que tiene las dimensiones descritas anteriormente, con un diámetro de 2,54 cm y una longitud de 11,5 cm. Puede asumirse una constante dieléctrica de 3 para el plástico de PVC usado para el material de la cámara de líquido. Puede asumirse que las paredes de la cámara de líquido son de 0,08 cm de grosor que será igual a la dimensión d en la ecuación 7. Puede asumirse que la anchura de los anillos de electrodo que rodean la cámara de líquido es de 1 cm, y el área de la placa puede determinarse como el área circunferencial de los anillos de electrodo. Con estas suposiciones, la ecuación 7 da una capacitancia de 26 pico-faradios para la cubeta de conductividad descrita anteriormente.

A causa del valor relativamente bajo de 26 pico-faradios para la capacitancia, se apreciará que el acoplamiento capacitivo entre los anillos de electrodo y el líquido es menos que óptimo. Cuando el líquido en ensayo en la cubeta de conductividad tiene una alta conductividad y, por lo tanto, aún funciona como un buen conductor, la baja capacitancia no presentará mucho problema. Sin embargo, si el líquido en ensayo tiene una baja conductividad, la capacitancia y la constante de cubeta  $K_{\text{cubeta}}$  tendrá un efecto más profundo.

Por ejemplo, la capacitancia y la reactancia son inversamente proporcionales debido a la ecuación:

$$X_c = 1/(2\pi F C) \quad (8)$$

En la que:  $X_c$  es la reactancia;  
 F es la frecuencia de CA de la tensión aplicada; y  
 C es la capacitancia.

Por tanto, el bajo valor de la capacitancia significa que la cubeta de conductividad tendrá un alto valor de reactancia asociado y, por lo tanto, una alta impedancia, es decir, resistencia aparente, a la corriente alterna, que es directamente proporcional a la reactancia. La alta impedancia significa que el circuito detector puede ser susceptible a diafonía, interferencia electromagnética y otros obstáculos para la precisión de la medición.

5 También a partir de la ecuación 8, se apreciará que la frecuencia de funcionamiento del circuito detector logrará la impedancia de la cubeta de conductividad. La elección de la frecuencia de funcionamiento puede depender de la aplicación. Por ejemplo, en sistemas de hemodiálisis, patrones de AAMI permiten frecuencias de funcionamiento de hasta 100 KHz ya que las funciones nerviosa y cardiaca de los pacientes son menos sensibles a altas frecuencias. A la inversa, no obstante, altas frecuencias provocan menores valores de impedancia para el circuito detector, mayores frecuencias son más difíciles de amplificar y presentan desventajas adicionales de diafonía e interferencias. Otras contrapartidas serán evidentes para los expertos en la materia.

15 Para reducir la impedancia del circuito detector, por lo tanto, es deseable aumentar la capacitancia de acoplamiento entre el líquido y los electrodos de anillo. Aumentar la capacitancia de acoplamiento puede conseguirse, por ejemplo, aumentando la anchura de los anillos de acoplamiento para aumentar el área de placa en la ecuación 7; aumentando el diámetro de la cámara de líquido; usando geometrías no circulares o complejas para aumentar el área del electrodo; usando cámaras de paredes delgadas para disminuir la distancia de la placa en la ecuación 7; e incluyendo los anillos de electrodo dentro de la pared de la cámara para disminuir la distancia de la placa en la ecuación 7. Estas consideraciones pueden abordarse en parte por las realizaciones adicionales descritas en este documento.

#### CARCASA DE LA CUBETA DE CONDUCTIVIDAD

25 Se apreciará a partir de lo anterior que la ubicación, dimensiones y disposición de la cámara de líquido, anillos de electrodo y otros componentes del sistema afectarán a las características eléctricas y, por lo tanto, la sensibilidad de la cubeta de conductividad y el circuito detector. Para mejorar la sensibilidad y reproducibilidad de la cubeta de conductividad, por lo tanto, es deseable fabricar la cubeta con precisión exacta y estabilidad mecánica. De acuerdo con la invención, la cámara de líquido es desechable y, de ese modo, un deseo contrapuesto es la simplificación y la precisión reducida del diseño de la cámara para reducir costes. Para resolver estas consideraciones contrapuestas, en un aspecto, se divulga una carcasa de cubeta de conductividad que puede acomodar o alojar de forma extraíble una cámara de líquido desechable durante el análisis del líquido.

35 Por ejemplo, con referencia a las fig. 9 y 10, se ilustra un ejemplo de una carcasa de cubeta 700 que tiene un aspecto o forma alargada, generalmente cilíndrica. La cámara de líquido desechable 780 se aloja en la carcasa 700 también se ilustra y puede tener una forma cilíndrica más pequeña, pero similar con un diámetro y longitud axial más pequeños. La comunicación fluida con la cámara de líquido 780 retenida de forma interna puede establecerse mediante un acceso de entrada 710 y un acceso de salida 712 dispuestos en los extremos opuestos de la carcasa cilíndrica 700. El acceso de entrada 710 y el acceso de salida 712 están alineados a lo largo de la línea del eje del cilindro 718 de la carcasa 700. Para acceder al interior de la carcasa 700 que contendrá la cámara de líquido desechable 780, la carcasa está separada a lo largo de su longitud axial en un primer y segundo semicilindros complementarios 702, 704. Los semicilindros separados 702, 704 de la carcasa 700 pueden unirse por cierres o bisagras que les permite articularse uno con respecto al otro para abrir y cerrar la carcasa 700 de la cubeta.

45 Para acomodar la cámara de líquido 780, cada uno del primer y segundo semicilindro 702, 704 tienen dispuestos en los mismos un contorno interior o ranura respectiva 706, 708 que, cuando el primer y segundo semicilindros se colocan adyacentes entre sí, pueden formar una cavidad de una forma complementaria a la forma de la cámara de líquido. En las realizaciones que utilizan una cámara de líquido desechable 780, la cámara de líquido puede formarse a partir de poli(cloruro de vinilo) (PVC) o polietileno extruido de pared delgada que demuestra un grado de flexibilidad, elasticidad o resiliencia para tener una cualidad maleable. La primera y segunda ranura interior 706, 708 puede adaptarse al tamaño adecuado para producir un ligero ajuste de interferencia con la cámara de líquido 780 flexible o maleable de modo que, cuando se acomode en la cavidad, la cámara de líquido se presione u obligue a una forma predeterminada por la cavidad. Por tanto, la cámara de líquido desechable 780 puede mantenerse de forma rígida con precisión repetible en la carcasa 700. Las dimensiones finales de la cámara de líquido, de ese modo, se determinan en parte por la forma de la cavidad. Esta también permite que la cámara de líquido desechable 780 se fabrique con técnicas de calidad menor, menos precisas para reducir adicionalmente el gasto de la cámara de líquido.

60 Para alinear de forma precisa los anillos de electrodo alrededor de la cámara de líquido desechable 780, los anillos de electrodo pueden formarse como una parte integrada de la carcasa de la cubeta de conductividad 700. Por ejemplo, el primer y segundo semicilindro 706, 708 pueden incluir una pluralidad de bandas semianulares de un material conductor tal como acero inoxidable o aleaciones de hierro y níquel tales como Invar. En particular, la primera y segunda banda semianular 720, 722 pueden disponerse en aproximadamente los extremos opuestos de la longitud axial de cada semicilindro 706, 708 de la carcasa cilíndrica 700 y pueden corresponder a los anillos de excitación. También pueden disponerse una tercera y cuarta banda semianular conductoras 724, 726 en cada semicilindro 702, 704 axialmente hacia el interior de la primera y segunda banda 720, 722 pero aún están

espacialmente separadas entre sí para que correspondan a los anillos de detección. Cuando el primer y segundo semicilindro 702, 704 se mueven adyacentes entre sí, la primera y segunda banda semianular 720, 722 rodearán la cámara de líquido desechable 780 y entrarán en contacto entre sí para formar los anillos de excitación anulares completos. Asimismo, la tercera y cuarta banda semianular 724, 726 pueden moverse conjuntamente para formar los anillos de detección anulares. Varios hilos, cables o alambres pueden establecer comunicación eléctrica entre las bandas semianulares el exterior de la carcasa 700.

Para aislar eléctricamente las bandas semianulares entre sí, la carcasa 700 puede incluir un número correspondiente de portabandas semianulares 730. Los portabandas 730 pueden tener el tamaño y la forma adecuados para recibir y fijar las bandas semianulares 720, 722, 724, 726 alrededor del diámetro de la cámara de líquido desechable 780 y pueden fabricarse a partir de cualquier material aislante adecuado. Para ubicar apropiadamente el portabandas 730 a lo largo de la longitud axial de la carcasa 700 y, por tanto, para alinear los anillos de excitación y detección en las ubicaciones axiales apropiadas alrededor de la cámara de líquido desechable 780, la carcasa puede incluir uno o más aislantes 732. Los aislantes 732 también pueden tener una forma semianular y pueden espaciar los portabandas 730. El uso de los aislantes para fijar el espaciado axial y la distancia entre las bandas semianulares 720, 722, 724, 726 mejora la consistencia de la constante de cubeta  $K_{\text{cubeta}}$  que depende, en parte, de estas dimensiones. Fijar el espaciado entre las bandas anulares, por tanto, posibilita la reproducibilidad entre las cámaras de líquido desechables. Los aislantes 732 también alinean axialmente cada una de las bandas semianulares en el primer semicilindro 702 con la correspondiente banda semianular en el segundo semicilindro 704 para asegurar que se forman anillos anulares precisos con buena conductividad eléctrica cuando los semicilindros están adyacentes entre sí y la carcasa está cerrada.

Para que funcionen como aislantes eléctricos, los portabandas y los aislantes pueden fabricarse a partir de un material no conductor adecuado tal como plástico, como polieterecetona ("PEEK") y poliamidaimidas comercializadas con el nombre comercial Torlon® por Solvay Advanced Polymers L.L.C. Varias cerámicas para los portabandas y aislantes incluyen vidrio-mica. Para contrarrestar el posible efecto de la expansión térmica de los componentes y para mantener de ese modo la alineación de los componentes de la carcasa de la cubeta, es preferible que tanto las bandas semianulares conductoras 720, 722, 724, 726 como los portabandas no conductores 730 y los aislantes 732 se fabriquen de materiales que tengan un bajo coeficiente de expansión térmica. Adicionalmente, los diversos componentes pueden moldearse o mecanizarse para mejorar su precisión de alineación.

Para mantener todos los componentes en alineación mutua y proporcionar protección adicional de la interferencia electromagnética ("EMI"), los portabandas 730 y los aislantes 732 pueden disponerse en un apantallamiento de hierro o ferrita moldeado 740. El apantallamiento de hierro o ferrita moldeado 740 también pueden formarse como una estructura semicilíndrica con un interior perforado para recibir y contener los portabandas y aislantes en alineación rígida. El material de hierro o ferrita moldeado protegerá los componentes de la cubeta de conductividad de la EMI interna y externa. Para evitar el cortocircuito y aislar adicionalmente la carcasa 700, el apantallamiento 740 puede disponerse en una cubierta aislante 742 que está además rodeada con una cubierta de aluminio 744 para proporcionar otra barrera de protección contra EMI. La cubierta aislante 742 también proporciona aislamiento térmico para mantener una temperatura consistente del líquido en análisis, ya que la temperatura del líquido tiene un efecto importante sobre la conductividad. Por tanto, la carcasa 700 de la cubeta de conductividad y sus componentes puede proporcionar acoplamiento capacitivo con la cámara de líquido y el líquido en el mismo y también puede proteger la cubeta de conductividad de EMI.

En un posible aspecto adicional de la divulgación, para posibilitar el control de la temperatura del líquido que se está sometiendo a análisis, la carcasa 700 de la cubeta puede incluir una ventana indicada por líneas discontinuas 750 dispuestas en la misma. La ventana 750 posibilita que la radiación de un detector de infrarrojos acceda a la cavidad interior de la carcasa 700 durante el funcionamiento para incidir en y reflejar del líquido en la misma. Los detectores de infrarrojos conocidos en la técnica utilizan técnicas similares para medir la temperatura de una sustancia. La temperatura de un líquido afecta a su conductividad y, por lo tanto, a menudo se tiene en cuenta la temperatura cuando se realiza un análisis de conductividad. Por ejemplo, ecuaciones analíticas pueden utilizar la "conductividad específica" de un líquido, que se basa en la "conductividad absoluta" del líquido corregida por una función dependiente de la temperatura. En la realización ilustrada de la carcasa 700 de la cubeta, la ventana 750 está dispuesta a media longitud del primer semicilindro 706 para que se alinee con la parte de la cavidad interior en que se induce la corriente en el líquido. La ventana 750 puede incluir un material transparente a los infrarrojos tal como polietileno para permitir el paso de la radiación infrarroja. Por tanto, se posibilita la medición de la temperatura del líquido en la cubeta de conductividad. En otras realizaciones, la ventana y el detector de infrarrojos pueden disponerse en otras ubicaciones a lo largo de la trayectoria del líquido en lugar de en la carcasa de la cubeta.

#### 60 AISLAMIENTO ELÉCTRICO DE LA CUBETA DE CONDUCTIVIDAD

Como apreciarán los expertos en la materia, los circuitos detectores tales como los descritos en este documento están sometidos a filtración de corriente, corrientes parasitarias, EMI y similares porque el líquido en análisis llega a ser parte del circuito conductor mientras que al mismo tiempo el líquido aún puede estar fluyendo en un sistema de flujo continuo tal como un sistema de hemodiálisis. En otras palabras, el líquido no puede aislarse de forma eficaz de

sí mismo. Por tanto, el uso de líquido como un conductor tiene repercusiones implícitas y no intencionadas según ese líquido vuelve a entrar en el sistema, lo que puede afectar a otro líquido que entra en el circuito detector para el análisis. Con referencia a la fig. 11, estos problemas pueden ilustrarse esquemáticamente.

5 En la fig. 11, similar a la fig. 8, los símbolos eléctricos hacia la mitad superior del diagrama representan los componentes físicos de un circuito detector C4D que utiliza el método de medición de la resistencia de cuatro cables. Por tanto, el líquido en análisis en la cámara de líquido se representa por la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  802. Las resistencias R2 812 y R3 814 representan la resistencia de los hilos a los anillos de excitación acoplados al líquido en la cámara de líquido y que se representan por los condensadores C2 830 y C3 832.  
 10 Asimismo, las resistencias R5 822 y R6 824 representan la resistencia de los hilos al voltímetro 809 respectivamente, mientras que las capacitancias C5 834 y C6 836 representan los acoplamientos capacitivos entre los anillos de electrodo de detección y el líquido en la cámara de líquido. Las resistencias R7 826 y R8 828 representan el líquido en la cámara de líquido entre los anillos de excitación y detección, que ofrece resistencia de conductividad que no se mide necesariamente por el circuito detector. En el esquema de la fig. 11, la fuente de energía 804 está representada por un amplificador operacional, pero podría utilizarse cualquier fuente de energía de corriente alterna adecuada para suministrar una señal de corriente alterna.

En la fig. 11, se presentan tres nuevas resistencias que representan corrientes parasitarias o filtración de corriente en el circuito detector que se desvía o limita de la corriente aportada desde la fuente de energía 804.  $R_{\text{carga}}$  840 representa la desviación o derivación de la corriente desde el líquido, representada en parte por el condensador C2 830, a tierra en lugar de al líquido en análisis. Esto podría la corriente perdida a tierra a través del líquido que fluye a través del sistema. En un circuito detector que utiliza un amplificador operacional o similar como fuente de energía 804, se apreciará que algo de corriente o señal, o retroalimentación, debe retornarse a la entrada del amplificador operacional representado por la línea de retroalimentación 844. La resistencia  $R_{\text{derivada}}$  842 representa el error de la fuente de corriente que surge de esta retroalimentación en estos circuitos detectores particulares. La resistencia  $R_{\text{cortocircuito}}$  848 representa cualquier corriente que pueda ponerse en cortocircuito a través del resto del sistema de líquido, a través de un acceso de cubeta hasta el acceso de cubeta opuesto. Cada una de estas pérdidas de corriente, representadas por las resistencias  $R_{\text{carga}}$  840,  $R_{\text{derivación}}$  842 y  $R_{\text{cortocircuito}}$  848, se aplican a o dirigen a través del nodo 850 y/o nodo 852, que representan el acoplamiento entre el primer anillo de excitación y el líquido y el segundo anillo de excitación y el líquido, respectivamente. En este aspecto de la divulgación, la corriente parasitaria y la filtración representada por las resistencias  $R_{\text{carga}}$  840,  $R_{\text{derivación}}$  842 y  $R_{\text{cortocircuito}}$  848 se eliminan o reducen para mejorar la precisión de la cubeta de conductividad.

Una solución mecánica al problema de la filtración de corriente y las corrientes parasitarias es aislar físicamente el líquido que fluye a la cubeta de conductividad del resto del líquido en el sistema mediante el uso de cámaras de goteo. El sistema de cámaras de goteo 900 se representa en general en la fig. 12. En este diseño, el líquido del proceso analítico se dirige a una primera cámara de goteo 910 que puede ser de cualquier tamaño o volumen. El líquido entra a través del conducto de entrada 912 que incluye un orificio de entrada con el tamaño adecuado para que el líquido solamente gotee en el interior de la primera cámara de goteo 910. El líquido de goteo puede recogerse en el fondo de la primera cámara de goteo 910 y, debido a la presión inducida por la gravedad, puede dirigirse desde el fondo de la primera cámara de goteo a la cubeta de conductividad 902 mediante una primera línea de cubeta 914. La cubeta de conductividad 914 puede incluir cualquiera de las configuraciones C4D mencionadas anteriormente y puede emplear el método de medición de la resistencia de cuatro cables mencionado anteriormente. El líquido entra en el extremo inferior de la cubeta de conductividad 902 y se dirige hacia la parte superior a través de la cubeta hasta una salida en la parte superior que comunica con una segunda línea de cubeta 922. La segunda línea de cubeta 922 dirige el líquido a una segunda cámara de goteo 920 en que el líquido gotea a través de un orificio de entrada del tamaño adecuado. Se permite la recogida del líquido en el fondo de la segunda cámara de goteo 920 y puede retornarse al proceso mediante la línea de retorno 924.

Debido a que el líquido entra tanto a la primera cámara de goteo 910 como a la segunda cámara de goteo 920 como gotas diferenciadas, el líquido dirigido a través de la cubeta de conductividad 902 está aislado eléctricamente del resto del líquido en el sistema. El líquido de goteo está en contraste con una corriente continua que podría formar un conductor cerrado desde la cubeta de conductividad hasta el otro líquido en el sistema. Las cámaras de goteo 910, 920 de ese modo reducen la presencia de filtración de la corriente y corrientes parasitarias en el líquido que entra y sale de la cubeta de conductividad 902. Para facilitar el flujo continuo a través de la cubeta de conductividad 902, la primera cámara de goteo 910 está elevada por encima tanto de la cubeta de conductividad y de la segunda línea 922 como de la entrada a la segunda cámara de goteo 920. La recogida de líquido en la primera cámara de goteo 910 de ese modo proporciona presión hidrostática para impulsarse a sí mismo a través de la cubeta de conductividad 902 en la segunda cámara de goteo 920. Para promover la presión hidrostática, los interiores de la primera y segunda cámara de goteo 910, 920 pueden ventilarse a la presión atmosférica mediante la primera y segunda válvula de ventilación 916, 926 respectivamente. Para restringir el flujo de volumen y promover la formación de gotas que entran en las cámaras de goteo, las líneas de comunicación fluida pueden tener todas un diámetro de orificio estrecho. El uso de tubos de orificio estrecho a y desde la cubeta de conductividad también se ha observado que proporciona alguna medida de aislamiento eléctrico de la cubeta de conductividad del sistema.

65 Con referencia a la fig. 13, se ilustra otra realización del sistema 1000 de cámaras de goteo. El sistema 1000 incluye

una primera cámara de goteo 1010 y una segunda cámara de goteo 1020 colocada anterior y posterior, respectivamente, de la cubeta de conductividad 1002. Para establecer comunicación fluida, una primera línea de cubeta 1014 se dirige desde la primera cámara de goteo 1010 hasta la cubeta de conductividad 1002 y una segunda línea de cubeta 1022 se dirige desde la cubeta de conductividad hasta la segunda cámara de goteo 1020. El sistema 1000 también incluye una línea secundaria 1030 que redirige el líquido desde una línea de entrada 1012 alrededor de la primera cámara de goteo 1010 y la cubeta de conductividad 1002 hasta la segunda cámara de goteo 1020. Debido a la línea secundaria 1030, al menos una parte del líquido esquiva la cubeta de conductividad 1002 y se someterá a análisis eléctrico. La línea secundaria 1030 de ese modo ayuda a aislar y/o reducir adicionalmente las corrientes parasitarias y la filtración de corriente. La línea secundaria permite que un mayor volumen de líquido fluya a través del sistema de lo que podría conseguirse de lo contrario usando solamente las cámaras de goteo. Otro rasgo distintivo del sistema es que la primera y segunda cámara de goteo 1010, 1020 se conectan mediante una línea de presión 1032 de modo que ambas cámaras estén a la misma presión interna. Mantener ambas cámaras de goteo a la misma presión interna facilita un flujo de líquido continuo y constante a través del sistema. En otras realizaciones, las cámaras de goteo pueden presurizarse o pueden ventilarse a la presión atmosférica.

Un segundo método de aislamiento eléctrico de la cubeta de conductividad se ilustra en la fig. 14 en que se añaden nuevos elementos al circuito detector 1100. La fig. 14 ilustra una fuente de energía tal como un amplificador operacional 1104 conectado eléctricamente al líquido en la cubeta de conductividad representada por la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1102. Para el acoplamiento capacitivo de la fuente de energía 1104 a la cubeta de conductividad 1102, el circuito detector incluye un condensador C2 1130 y condensador C3 1132 que pueden diseñarse como anillos de excitación que rodean la cubeta de conductividad como se describe anteriormente. El voltímetro 1109 se acopla a la cubeta de conductividad mediante un primer y segundo hilo del voltímetro 1106, 1008 que conectan con el condensador C5 1134 y condensador C6 1136 que representan los anillos de detección. Como se describe con respecto a la fig. 11, tres resistencias  $R_{\text{Carga}}$  1140,  $R_{\text{Derivación}}$  1142 y  $R_{\text{Cortocircuito}}$  1148 se ilustran, que representan la filtración de corriente o corrientes parasitarias en el sistema, que típicamente son el resultado del acoplamiento físico entre los anillos de excitación y el líquido en la cubeta de conductividad.

Una segunda fuente de energía, tal como un amplificador operacional 1160 se incluye con el circuito detector 1100 para eliminar las corrientes parasitarias. Específicamente, el segundo amplificador operacional 1160 se acopla al circuito detector 1100 mediante los condensadores C1 1162, C4 1164 y C7 1166. Físicamente, los condensadores C1 1162, C4 1164 y C7 1166 pueden formarse como anillos de electrodo como se describe anteriormente que se acoplan de forma capacitiva al líquido en la cubeta de conductividad. Para establecer ese acoplamiento capacitivo, los condensadores C1 1162, C4 1164 y C7 1166 pueden disponerse alrededor de la cubeta de conductividad, disponerse alrededor de las líneas de líquido que se dirigen dentro y fuera de la cubeta de conductividad o pueden incluirse con una segunda cámara de líquido en comunicación fluida con la primera cámara de líquido de la cubeta. Estos condensadores pueden formarse mediante anillos, el líquido y el material dieléctrico de la cámara de líquido de la misma manera que los anillos de detección y excitación. Como se indica en la fig. 14, el segundo amplificador operacional 1160 se comunica con el primer y segundo nodo 1150, 1152 que representan el acoplamiento entre los anillos de excitación y el líquido. La trayectoria conductora entre el segundo amplificador operacional 1160 y el primer y segundo nodo 1150, 1152 incluye una pluralidad de resistencias R12 1170, R13 1172 y R14 1174, que representan la resistencia eléctrica del líquido con el que los condensadores C1 1162, C4 1164 y C7 1166 se acoplan.

El segundo amplificador operacional 1160 puede aplicar una tensión al nodo 1182, dispuesto entre las corrientes parasitarias representadas por  $R_{\text{Carga}}$  1140,  $R_{\text{Derivación}}$  1142 y  $R_{\text{Cortocircuito}}$  1148 y la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1102 que representa el líquido en la cubeta de conductividad. En particular, la tensión aplicada por el segundo amplificador operacional 1160 al nodo 1182 mediante el condensador C7 1166 y la resistencia R14 1174 puede ser tal que haga que la tensión a través de la resistencia R13 1172 llegue a ser igual a cero, lo que significa que no pasa corriente a través del nodo. Las corrientes parasitarias representadas por  $R_{\text{Carga}}$  1140,  $R_{\text{Derivación}}$  1142 y  $R_{\text{Cortocircuito}}$  1148 de ese modo se aíslan eléctricamente de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1102 que representa la cubeta de conductividad y tiene poco efecto sobre el circuito detector. La misma técnica puede aplicarse a los componentes en el lado opuesto de la fig. 14.

Con referencia a las fig. 15 y 16, se ilustra otra realización de un método de aislamiento eléctrico de líquido que fluye a la cubeta de conductividad de otra EMI en el sistema que puede crear errores con las lecturas de la cubeta de conductividad. En esta realización, en que los componentes físicos se representan por componentes eléctricos, la fuente de energía 1204, una EMI u otra fuente de ruido, se acopla eléctricamente a la cubeta de conductividad 1202 mediante el líquido. Las resistencias R1 1210 y R2 1212 representan longitudes de tubos de orificio estrecho que dirigen el líquido desde el proceso hasta la cubeta de conductividad 1202. Las resistencias R1 1210 y R2 1212 también representan trayectorias de filtración desde la cubeta de conductividad 1202 a tierra, mediante las que la corriente se desvía o deriva desde la cubeta de conductividad. Para reducir el error causado por las trayectorias de filtración representadas por las resistencias R1 1210 y R2 1212, puede conectarse un nuevo componente eléctrico tal como un condensador o una resistencia que proporciona un aislante pasivo 1220 al circuito como se ilustra. Por ejemplo, si se usa un condensador para el aislante pasivo 1220, puede construirse de acuerdo con el diseño de anillo de electrodo divulgado anteriormente. Como se ilustra en la fig. 16, si se usa una resistencia para el aislante pasivo 1220, puede conectarse directamente a tierra. Un ejemplo sería una longitud de tubos de acero inoxidable

conectados a tierra, en cuyo caso, R 1220 es muy pequeña, haciendo que el aislante sea muy eficaz. Se ha observado que incluir el aislante pasivo 1220 ayuda a reducir el error en las mediciones de la cubeta de conductividad que surge de la presencia de otra EMI en el sistema.

## 5 AUTOCALIBRACIÓN DEL CIRCUITO DETECTOR

Para reducir adicionalmente los errores y mejorar la precisión de detección de la conductividad, se ilustra en la fig. 17 una realización de un circuito detector 1300 configurado para al menos calibrarse por sí mismo parcialmente. El circuito detector 1300 incluye un líquido de conductividad desconocida dispuesto en una cubeta de conductividad representada como una resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302. Para aportar corriente para medir la conductividad de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302, se acopla una fuente de energía 1304 al líquido en la cubeta de conductividad mediante electrodos de excitación representados como las capacitancias C2 1330 y C3 1332. Las resistencias R2 1312 y R3 1314 representan la resistencia asociada con los hilos y electrodos que conectan la fuente de energía 1304 a la cubeta de conductividad y las resistencias R7 1340 y R8 1342 representan la resistencia asociada con el líquido entre los anillos de excitación y detección. Un voltímetro 1309 puede acoplarse selectivamente a la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 que representa la cubeta de conductividad mediante electrodos de detección representados como las capacitancias C5 1334 y C6 1336 y las resistencias R5 1322 y R6 1324 que representan la resistencia asociada con los hilos y los electrodos. Para posibilitar el acoplamiento selectivo del voltímetro 1309 y la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302, se dispone un primer conmutador o regulador 1370 a lo largo de la primera línea del voltímetro 1306 y se dispone un segundo conmutador o regulador 1372 a lo largo de la segunda línea del voltímetro 1308. Se incluye un tercer regulador 1374 en el circuito a lo largo de la línea de retorno 1344 desde la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 para facilitar el acoplamiento selectivo con la fuente de energía 1304. Abrir y cerrar los reguladores 1370, 1372 establece comunicación entre la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 y el resto del circuito detector 1300. Podría usarse cualquier tipo adecuado de fuente de corriente y emplearse cualquier método de selección de la fuente de corriente.

Para proporcionar una referencia frente a la que calibrar el circuito detector 1300 por sí mismo, el sistema de circuitos básico se duplica en gran parte hacia la mitad superior de la fig. 17 mediante una parte de calibración 1350. La parte de calibración 1350 del circuito detector 1300 incluye una resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352 de un valor predeterminado y que está dispuesta en el circuito para replicar aproximadamente la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302. La resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352 también puede conectarse a la fuente de energía 1304 por el condensador C1 1360 y el condensador C2 1362. Los hilos 1368, 1369 desde la fuente de energía 1304 hasta la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352 esquivan la parte del circuito detector que incluye las resistencias y capacitancias asociadas con la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302. Para representar la resistencia asociada con los hilos y terminales a la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352, las resistencias R9 1364 y R10 1366 se muestran en serie con los condensadores C1 1360 y C2 1362 respectivamente. La resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1350 puede acoplarse selectivamente con los hilos de medición 1306, 1308 al voltímetro 1309 mediante comunicación a través del condensador C7 1380 y el condensador C8 1382 y la resistencia R11 1384 y la resistencia R12 1386. Para posibilitar el acoplamiento selectivo de la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1350, se disponen un cuarto y quinto conmutador o regulador 1390, 1392 en serie entre la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  y el voltímetro. También se dispone un sexto regulador 1394 a lo largo de la línea de retorno 1396 a la fuente de energía 1304 para acoplar selectivamente la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352 con la fuente de energía. Puede usarse cualquier tipo adecuado de fuente de corriente con el circuito y cualquier método adecuado para seleccionar la fuente de corriente está dentro del alcance de la divulgación. En determinados casos, puede ser ventajoso accionar tanto la cubeta detectora como la parte de referencia para reducir las diferencias de tensión relativas a través de contactos de conmutador o regulador para reducir las corrientes parasitarias.

En funcionamiento, el primer, segundo y tercer regulador 1370, 1372, 1374 pueden abrirse y cerrarse de una manera alternativa con respecto al cuarto, quinto y sexto regulador 1390, 1392, 1394 para acoplar selectivamente la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 o la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1350 con el suministro de energía 1304 y el voltímetro 1309. Por tanto, el voltímetro 1309 puede recibir alternativamente señales de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 o la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352. Comparando la señal de la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 correspondiente al líquido en la cubeta de conductividad con la señal de la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1350, el circuito detector 1300 puede descartar determinados errores y discrepancias. Por ejemplo, la fuente de energía 1304 puede desarrollar errores o desplazarse a lo largo del tiempo debido al envejecimiento, efectos de la temperatura u otras razones. El voltímetro 1309 puede desarrollar problemas similares. Los errores en el sistema de circuitos pueden descartarse por referencia alternativa a la resistencia desconocida  $R_{\text{Desconocida}}$  1302 y la resistencia de referencia  $R_{\text{ref}}$  1352. La razón para la parte de referencia 1350 es, por tanto, emular esa respuesta eléctrica de la cubeta de conductividad real, que tiende, por tanto, a inducir los mismos errores y magnitud de error en la fuente de energía y el circuito de medición. El circuito detector 1300 de ese modo proporcionar una función de autocalibrado que posibilita que se corrija a sí mismo periódicamente. Otro equipo analítico que funciona conjuntamente con el voltímetro 1309 también puede utilizar la función de calibración. Aunque en la presente realización, la parte de calibración del circuito detector 1300 se describe provista de componentes eléctricos, se apreciará que en otras realizaciones la parte de calibración puede incluir, en su lugar, una cubeta de conductividad como se describe anteriormente en que se dispone un líquido de referencia de una conductividad desconocida.

La divulgación proporciona, en una realización, un detector de conductividad para medir la conductividad de un líquido. El detector de conductividad incluye una cámara de líquido hueca y alargada (502) que delimita un canal interior (504), incluyendo la cámara hueca (502) un primer extremo (506) y un segundo extremo (508), estando abierto el primer extremo para recibir un líquido en el canal interior (504). Se dispone un primer electrodo de excitación (510) próximo al primer extremo (506) de la cámara hueca (502) y se dispone un segundo electrodo de excitación (512) próximo al segundo extremo (508) de la cámara hueca (502). El detector de conductividad también incluye un primer electrodo de detección (514) y un segundo electrodo de detección (516). El primer y segundo electrodo de detección (514, 516) se disponen entre el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512). Una fuente de energía se comunica con el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) y un medidor se comunica con el primer y segundo electrodo de detección (514, 516). La corriente desde la fuente de energía aplicada al primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) induce corriente en el líquido recibido en el canal interior (504) mediante acoplamiento capacitivo con el líquido. La corriente inducida se detecta por el primer y segundo electrodo de detección (514, 516) mediante acoplamiento capacitivo del primer y segundo electrodo de detección (514, 516) con el líquido.

En una realización adicional del detector de conductividad, la cámara de líquido (502) en general es cilíndrica y delimita una línea de eje (518). En otra realización del detector de conductividad, el primer electrodo de detección (514) y el segundo electrodo de detección (516) están espaciados axialmente entre sí por una primera distancia (528). En otra realización del detector de conductividad, el primer electrodo de excitación (510) y el segundo electrodo de excitación (512) están espaciados axialmente entre sí por una segunda distancia (530), la segunda distancia (530) más grande que la primera distancia (528).

En una realización adicional más del detector de conductividad, el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) son respectivamente el primer y segundo anillo de excitación que tienen una forma anular, y el primer y segundo electrodo de detección (514, 516) son respectivamente el primer y segundo anillo de detección que tienen una forma anular.

En una realización adicional más del detector de conductividad, la cámara de líquido (502) es un componente desechable. La cámara de líquido (502) puede recibirse de forma deslizable a través del primer y segundo anillo de excitación de forma anular (510, 512) y el primer y segundo anillo de detección de forma anular (514, 516). En una realización adicional, el detector de conductividad también puede una carcasa (700) en la que la cámara de líquido (780) se acomoda de forma extraíble en la carcasa (700). La carcasa (700) puede incluir una cavidad dispuesta en la misma que tiene una forma correspondiente a la cámara de líquido (780). En una realización adicional, la cámara de líquido (780) tiene una característica flexible, y la cavidad y la cámara de líquido (780) forman un ajuste por interferencia para moldear la cámara de líquido (780) a la cavidad.

En una realización adicional más del detector de conductividad, el primer y segundo electrodo de excitación (720, 722) y el primer y segundo electrodo de detección (724, 726) se fijan en cuanto a la ubicación con respecto a la cámara de líquido (780) por la carcasa (700). La carcasa (700) puede incluir aislantes (732) para separar por un espacio y aislar eléctricamente el primer y segundo anillo de excitación (720, 722) y el primer y segundo anillo de detección (724, 726). En una realización adicional, la carcasa (700) incluye una primera mitad (706) y una segunda mitad (708) móviles conjuntamente para cerrar y abrir la carcasa (700), para retirar y desechar la cámara de líquido (780). En otra realización, la carcasa (700) incluye una ventana (750) dispuesta en la misma para la medición térmica de infrarrojos del líquido.

En una realización adicional más del detector de conductividad, el primer y segundo electrodo de excitación (410, 412) están dispuestos en la cámara de líquido (402) y expuestos al canal interior (404), y el primer y segundo electrodo de detección (414, 416) están dispuestos en la cámara de líquido (402) y expuestos al canal interior (404).

En una realización adicional más, el detector de conductividad puede incluir una primera cámara de goteo (910) ubicada anterior a la cámara de líquido y una segunda cámara de goteo (920) ubicada posterior a la cámara de líquido. En otra realización, el detector de conductividad puede incluir una parte de calibración (1350) que incluye una resistencia de referencia (1352) que puede acoplarse selectivamente a la fuente de energía y el medidor.

De acuerdo con otra realización, la divulgación describe un método de medición de la conductividad de un líquido. El método proporciona una cámara de líquido hueca alargada (502) que tiene un primer extremo (506) y un segundo extremo (508). El método introduce un líquido a analizar en la cámara de líquido (502). El método también induce una corriente en el líquido entre un primer electrodo de excitación (510) dispuestos a lo largo de la cámara de líquido (502) próximo al primer extremo (506) y un segundo electrodo de excitación (512) dispuesto a lo largo de la cámara de líquido (502) próximo al segundo extremo (508) mediante acoplamiento capacitivo del primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) con el líquido a través de la pared de la cámara de líquido (502). El método detecta la corriente inducida mediante un primer electrodo de detección (514) y un segundo electrodo de detección (516) dispuesto a lo largo de la cámara de líquido (502) entre el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) mediante acoplamiento capacitivo del primer y segundo electrodo de detección (514, 516) con el líquido a través de la pared de la cámara de líquido (502).

- En una realización adicional del método, el primer electrodo de detección (514) y el segundo electrodo de detección (516) están espaciados por una primera distancia (528). En una realización adicional más, el método puede medir una caída de tensión en el líquido entre el primer y segundo electrodo de detección (514, 516) detectando la corriente inducida. En otra realización, el método puede dirigir de forma continua líquido a través de la cámara de líquido (502) desde el primer extremo (506) hasta el segundo extremo (508). En otra realización, el método puede aislar el líquido en la cámara de líquido con una primera cámara de goteo (910) anterior al primer extremo y una segunda cámara de goteo (920) posterior al segundo extremo. En otra realización más, el método puede medir una temperatura de la cámara de líquido (502) dirigiendo radiación infrarroja a y desde la cámara de líquido.
- En una realización adicional más del método, la cámara de líquido (502) es un componente desechable extraíble del primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) y el primer y segundo electrodo de detección (514, 516). En otra realización, el método acomoda la cámara de líquido (780) en una carcasa (700). En una realización adicional, el método fija el primer y segundo electrodo de excitación (720, 722) en ubicaciones predeterminadas a lo largo de la cámara de líquido (780); y fija el primer y segundo electrodo de detección (724, 726) en ubicaciones predeterminadas a lo largo de la cámara de líquido (780). En otra realización, el método moldea la cámara de líquido desechable (780) acomodándola en una cavidad de la carcasa (700).
- De acuerdo con otra realización, la divulgación proporciona un circuito detector para medir la conductividad eléctrica de un líquido en una cubeta de conductividad. El circuito detector incluye una primera capacitancia que representa un electrodo (510) acoplado al líquido anterior en la cubeta de conductividad, una segunda capacitancia que representa un electrodo (512) acoplado al líquido posterior en la cubeta de conductividad, y una tercera capacitancia y una cuarta capacitancia que representa el tercer y cuarto electrodo respectivos (514, 516) acoplados al líquido entre el primer y segundo electrodo (510, 512). El circuito detector también incluye una resistencia desconocida que representa la conductividad eléctrica del líquido.
- En una realización adicional del circuito detector, el primer y segundo electrodo (510, 512) se acoplan a una fuente de energía y el tercer y cuarto electrodo (514, 516) se acoplan a un medidor que mide la conductividad eléctrica del líquido. En otra realización del circuito detector, la conductividad eléctrica se mide midiendo una caída de tensión en el líquido entre el tercer y cuarto electrodo (514, 516). En otra realización más del circuito detector, la fuente de energía induce una corriente en el líquido entre el primer y segundo electrodo (510, 512) cargando y descargando la primera y segunda capacitancia, el tercer y cuarto electrodo (514, 516) detectan la corriente inducida cargando y descargando la tercera y cuarta capacitancia, y una corriente resultante aplicada al medidor es más pequeña que una corriente aplicada desde la fuente de energía.
- En una realización adicional más del circuito detector, el tercer y cuarto electrodo (514, 516) están espaciados por una primera distancia (528), y la cubeta de conductividad incluye un canal interior (504) para el paso de líquido. En otra realización del circuito detector, la cubeta de conductividad incluye una constante de celda que es una función de la primera distancia (528) y el área de sección transversal del canal interior (504).
- En una realización adicional más, el circuito detector incluye una parte de calibración (1350) que incluye una resistencia de referencia (1352) que puede acoplarse selectivamente a la fuente de energía y el medidor. En otra realización del circuito detector, la resistencia desconocida y la parte de calibración (1350) se acoplan alternativamente a la fuente de energía y el medidor.
- De acuerdo con otra realización, la divulgación proporciona una cubeta de conductividad para medir la conductividad de un líquido. La cubeta de conductividad incluye una cámara de líquido desechable alargada (502) que tiene un primer extremo (506) y un segundo extremo (508), siendo la cámara de líquido (502) hueca y delimitando un canal interior (504) para recibir el líquido. Un primer anillo de excitación (510) dispuesto alrededor del exterior de la cámara de líquido (502) próximo al primer extremo (506) está configurado para el acoplamiento capacitivo con el líquido recibido en el canal interior (504) y un segundo anillo de excitación (512) dispuesto alrededor del exterior de la cámara de líquido (502) próximo al segundo extremo (508) está configurado para el acoplamiento capacitivo con el líquido recibido en el canal interior (504). La cubeta de conductividad también incluye un primer anillo de detección (514) y un segundo anillo de detección (516) dispuestos alrededor del exterior de la cámara de líquido (502) entre el primer y segundo anillo de excitación (510, 512), estando configurados el primer y segundo anillo de detección (514, 516) para el acoplamiento capacitivo con el líquido recibido en el canal interior (504). La cámara de líquido (502) es extraíble del primer y segundo anillo de excitación (510, 512) y el primer y segundo anillo de detección (514, 516) para desecharla y reemplazarla.
- En una realización adicional de la cubeta de conductividad, la cámara de líquido (502) es cilíndrica y el primer y segundo anillo de excitación (510, 512) y el primer y segundo anillo de detección (514, 516) son anulares. En otra realización de la cubeta de conductividad, la cámara de líquido (502) comprende poli(cloruro de vinilo).

**REIVINDICACIONES**

1. Un detector de conductividad para medir la conductividad de un líquido, que comprende:  
una cámara de líquido hueca alargada (502) que delimita un canal interior (504), incluyendo la cámara hueca (502)  
5 un primer extremo (506) y un segundo extremo (508), estando abierto el primer extremo para recibir un líquido en el canal interior (504);  
un primer electrodo de excitación (510) dispuesto próximo al primer extremo (506) de la cámara hueca (502) y un  
segundo electrodo de excitación (512) dispuesto próximo al segundo extremo (508) de la cámara hueca (502);  
un primer electrodo de detección (514) y un segundo electrodo de detección (516), dispuestos el primer y segundo  
10 electrodo de detección (514, 516) entre el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512);  
una fuente de energía que comunica con el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512); y  
un medidor que comunica con el primer y segundo electrodo de detección (514, 516);  
en el que la corriente desde la fuente de energía aplicada al primer y segundo electrodo de excitación (510, 512)  
induce corriente en el líquido recibido en el canal interior (504) mediante acoplamiento capacitivo con el líquido,  
15 siendo la corriente inducida detectada por el primer y segundo electrodo de detección (514, 516) mediante  
acoplamiento capacitivo del primer y segundo electrodo de detección (514, 516) con el líquido; y en el que  
la cámara de líquido (502) es un componente desechable;  
el primer y segundo electrodo de excitación (510, 512) son el primer y segundo anillo de excitación respectivos que  
20 tienen una forma anular, y el primer y segundo electrodo de detección (514, 516) son el primer y segundo anillo de  
detección respectivos que tienen una forma anular; y  
la cámara de líquido (502) se recibe de forma deslizable a través del primer y segundo anillo de excitación de forma  
anular (510, 512) y el primer y segundo anillo de detección de forma anular (514, 516).
2. El detector de conductividad de la reivindicación 1, en el que la cámara de líquido (502) en general es cilíndrica y  
25 delimita una línea de eje (518).
3. El detector de conductividad de la reivindicación 2, en el que el primer electrodo de detección (514) y el segundo  
electrodo de detección (516) están espaciados axialmente entre sí por una primera distancia (528).
- 30 4. El detector de conductividad de la reivindicación 3, en el que el primer electrodo de excitación (510) y el segundo  
electrodo de excitación (512) están espaciados axialmente entre sí por una segunda distancia (530), la segunda  
distancia (530) más grande que la primera distancia (528).
5. El detector de conductividad de la reivindicación 1, que comprende además una carcasa (700), estando la cámara  
35 de líquido (780) acomodada de forma extraíble en la carcasa (700).
6. El detector de conductividad de la reivindicación 5, en el que la carcasa (700) incluye una cavidad dispuesta en la  
misma, teniendo la cavidad una forma correspondiente a la cámara de líquido (780).
- 40 7. El detector de conductividad de la reivindicación 6, en el que la cámara de líquido (780) tiene una característica  
flexible, y la cavidad y la cámara de líquido (780) forman un ajuste por interferencia para moldear la cámara de  
líquido (780) a la cavidad.
8. El detector de conductividad de la reivindicación 5, en el que el primer y segundo electrodo de excitación (720,  
45 722) y el primer y segundo electrodo de detección (724, 726) se fijan en cuanto a la ubicación con respecto a la  
cámara de líquido (780) por la carcasa (700).
9. El detector de conductividad de la reivindicación 8, en el que la carcasa (700) incluye aislantes (732) para separar  
50 y aislar eléctricamente el primer y segundo anillo de excitación (720, 722) y el primer y segundo anillo de detección  
(724, 726).
10. El detector de conductividad de la reivindicación 5, en el que la carcasa (700) incluye una primera mitad (706) y  
una segunda mitad (708) móviles conjuntamente para cerrar y abrir la carcasa (700), para retirar y desechar la  
cámara de líquido (780).
- 55 11. El detector de conductividad de la reivindicación 5, en el que la carcasa (700) incluye una ventana (750)  
dispuesta en la misma para la medición térmica de infrarrojos del líquido.

FIG. 1

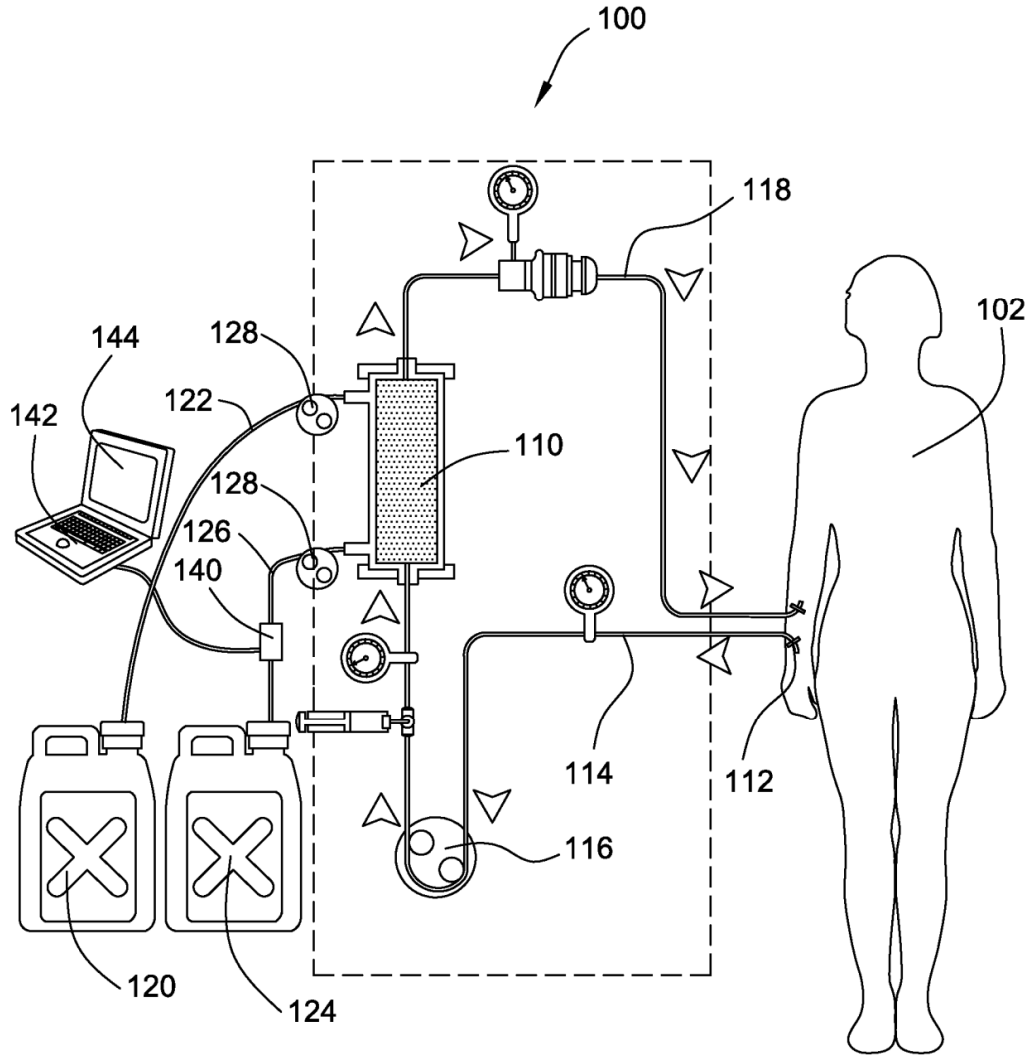
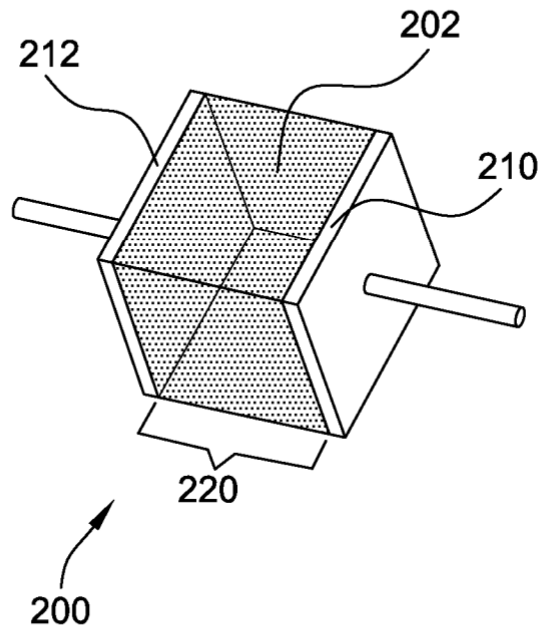


FIG. 2



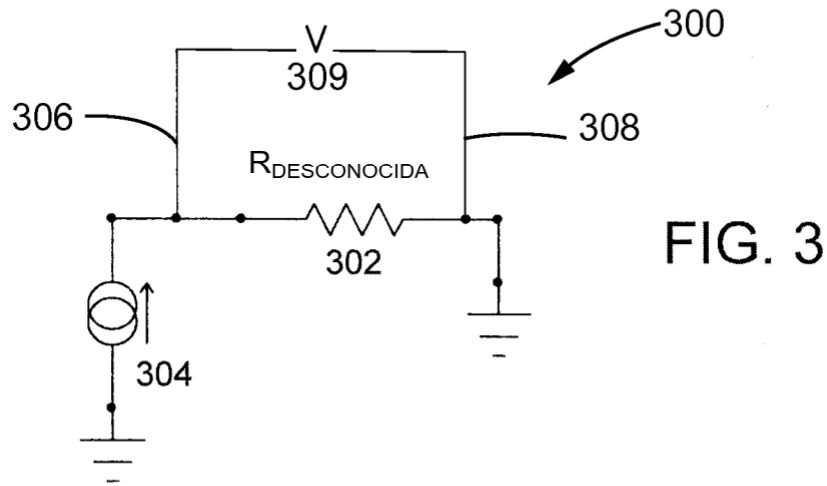


FIG. 3

FIG. 4

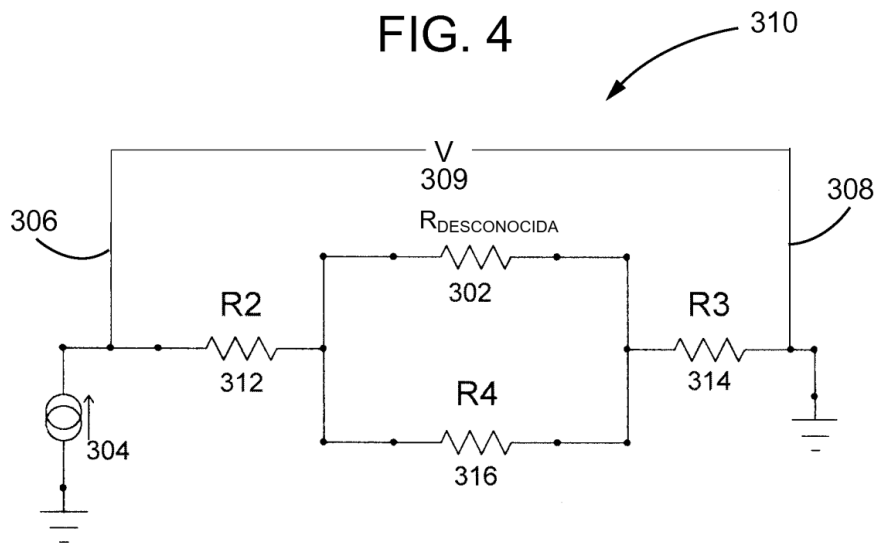
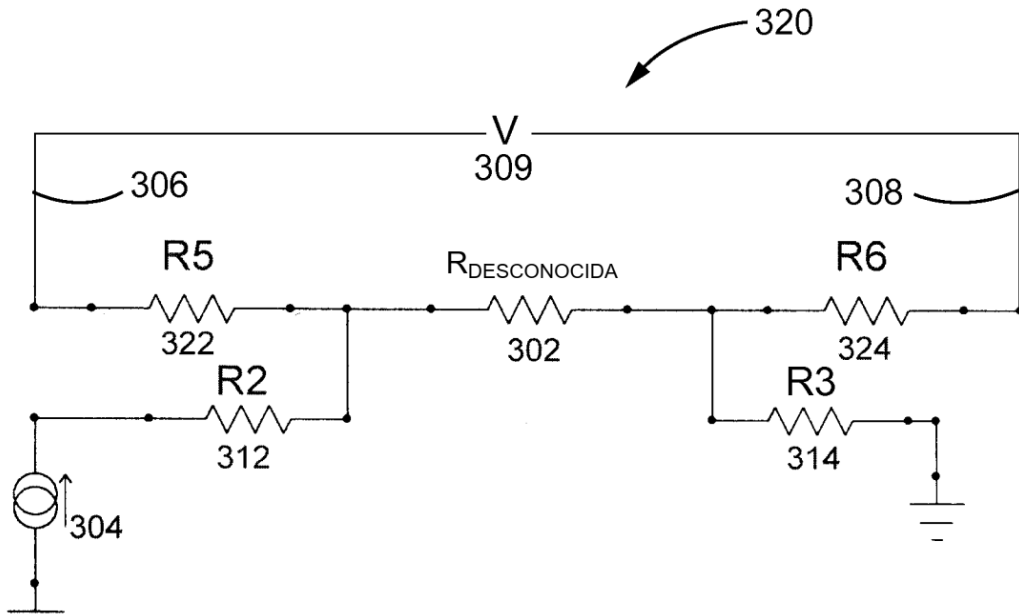


FIG. 5



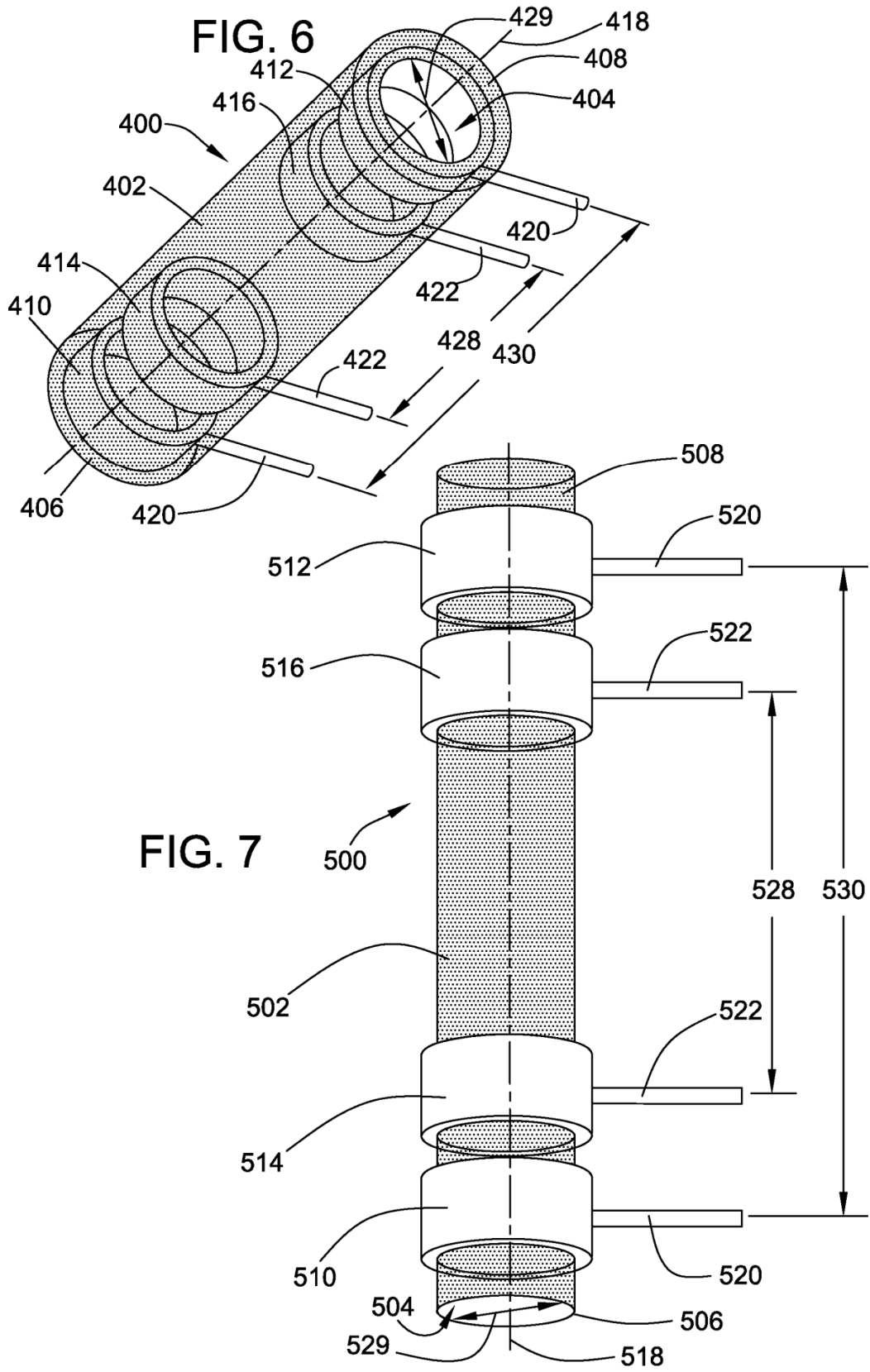


FIG. 8

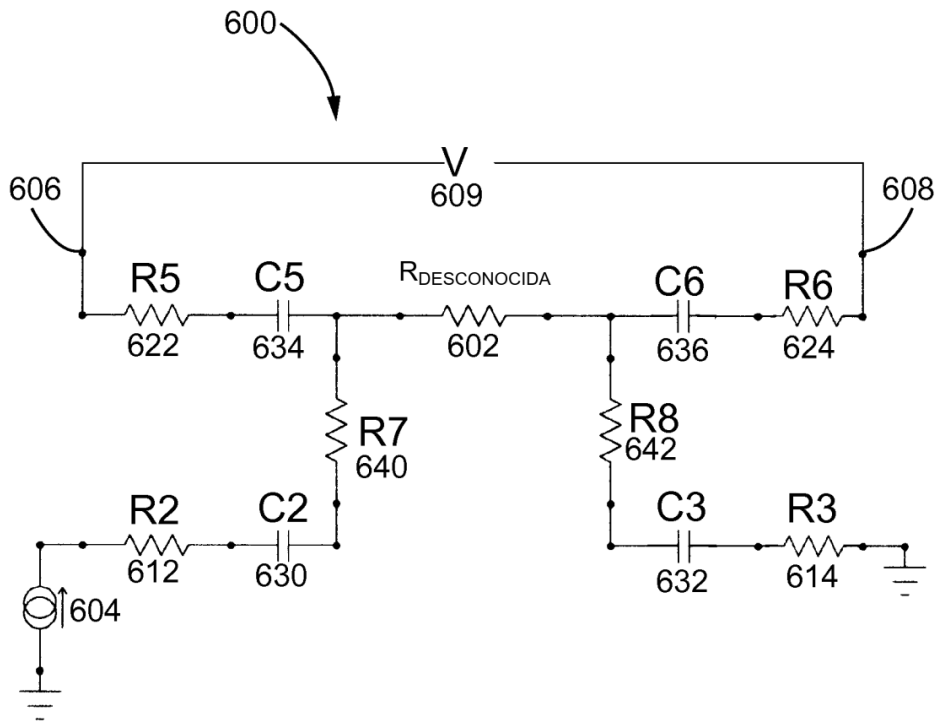


FIG. 9

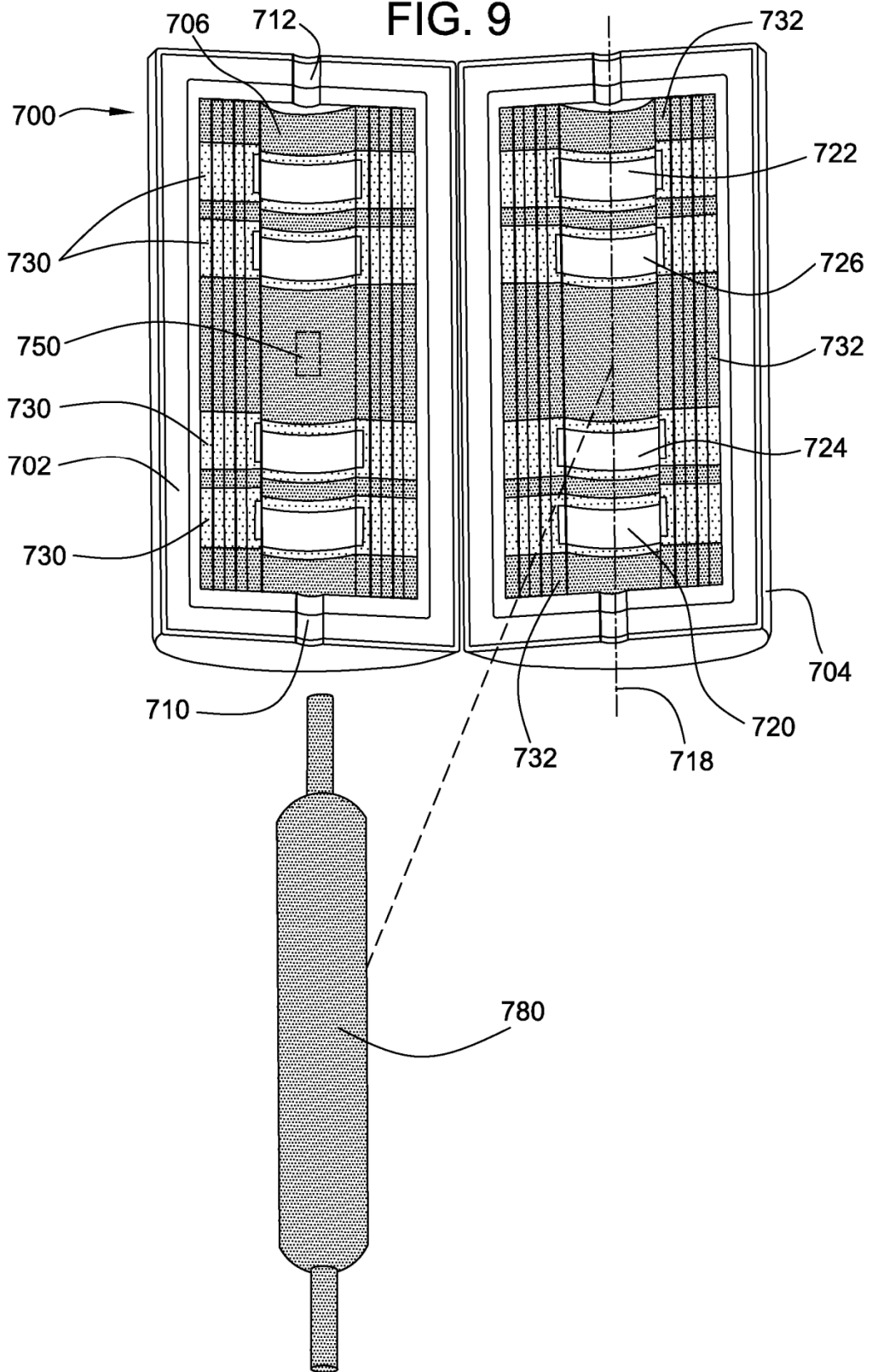


FIG. 10

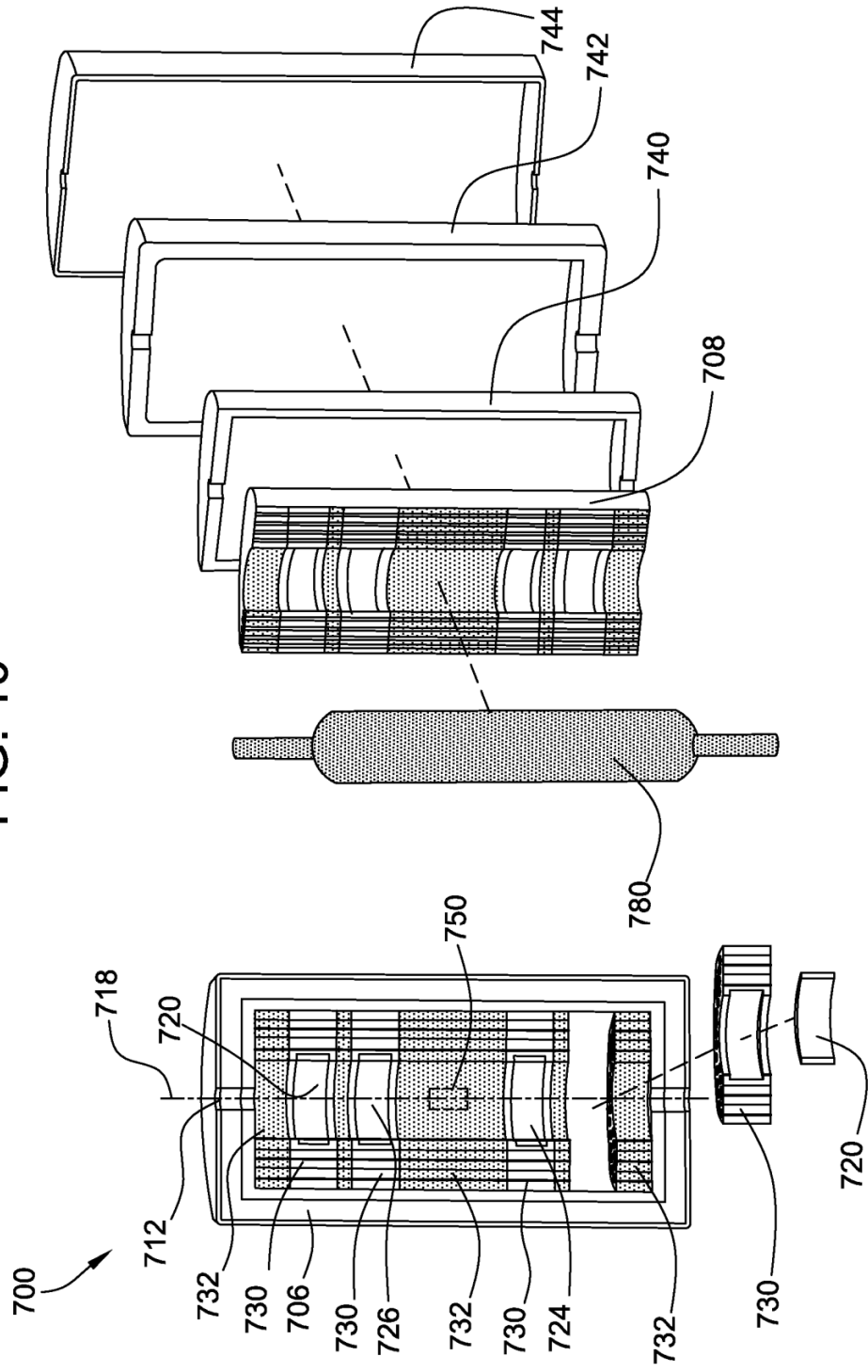


FIG. 11

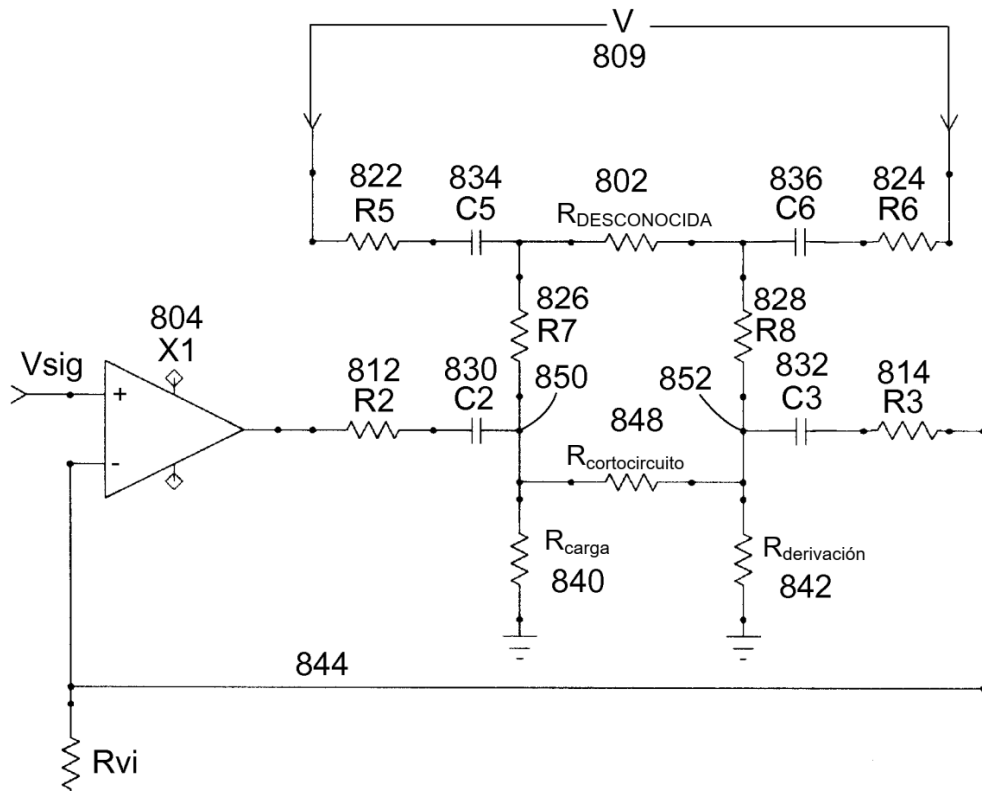


FIG. 12

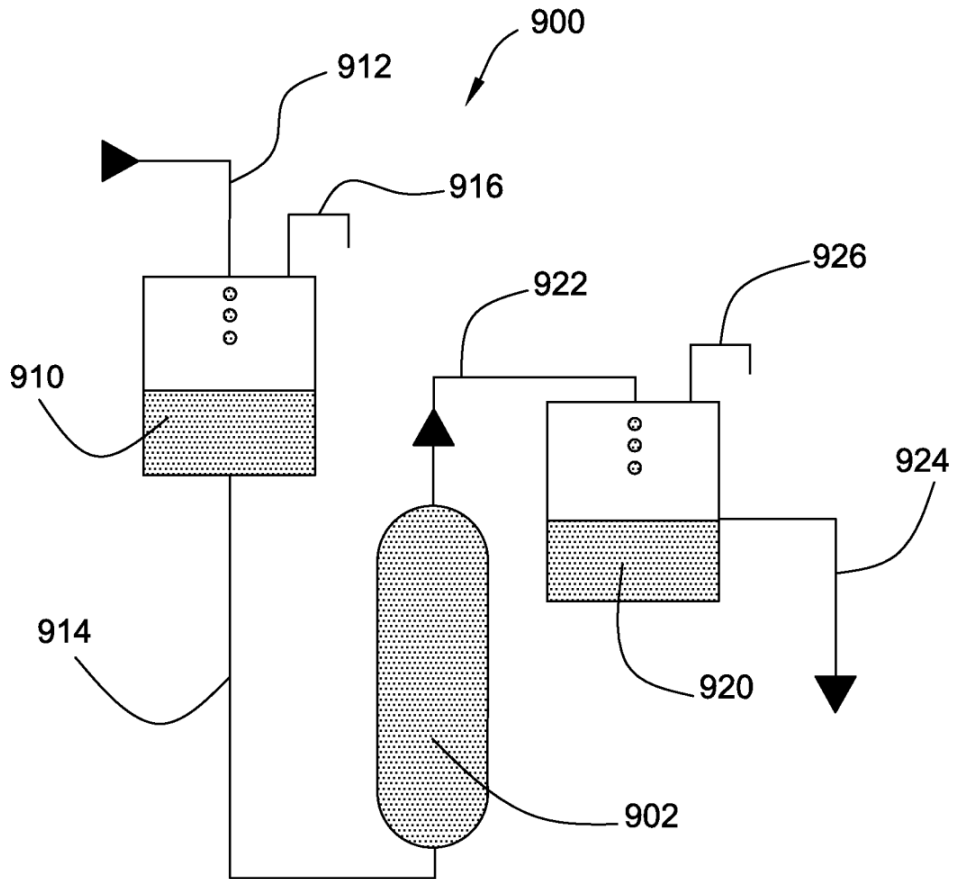


FIG. 13

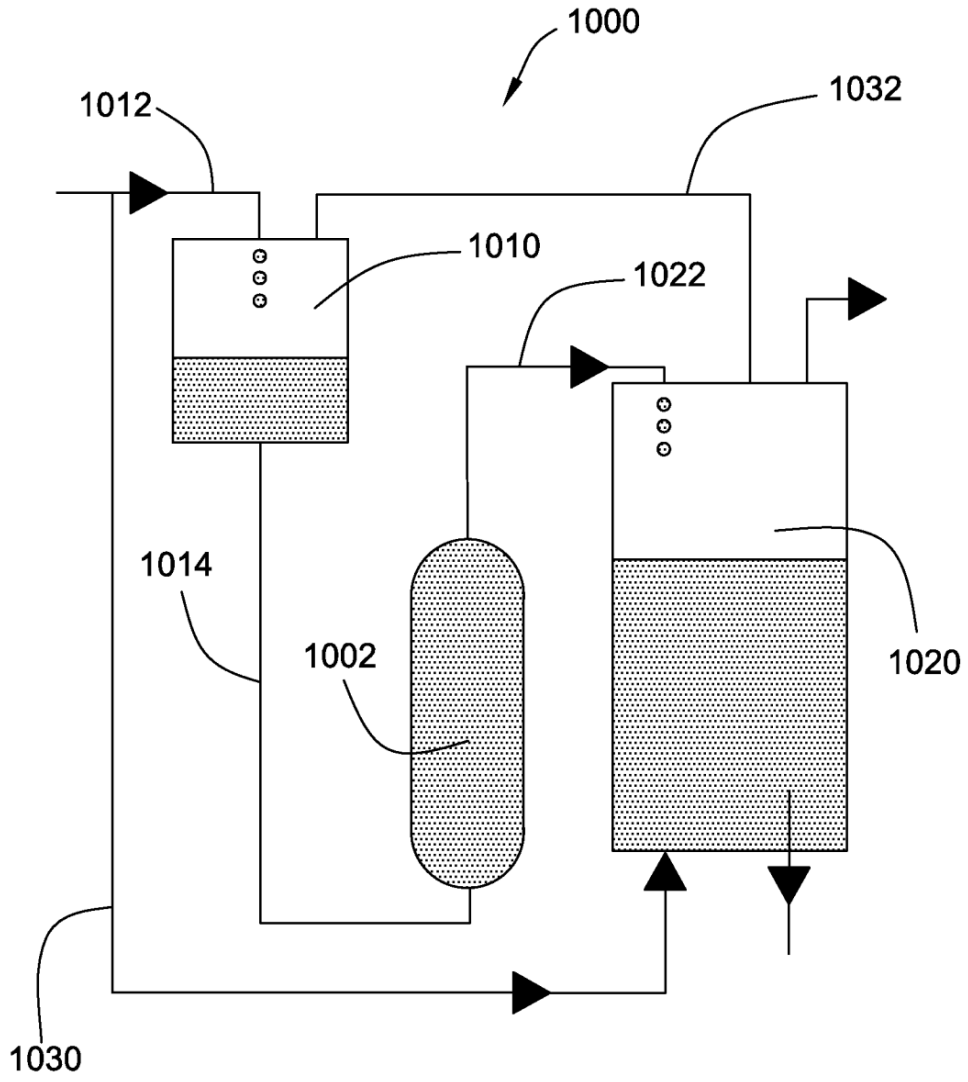


FIG. 14

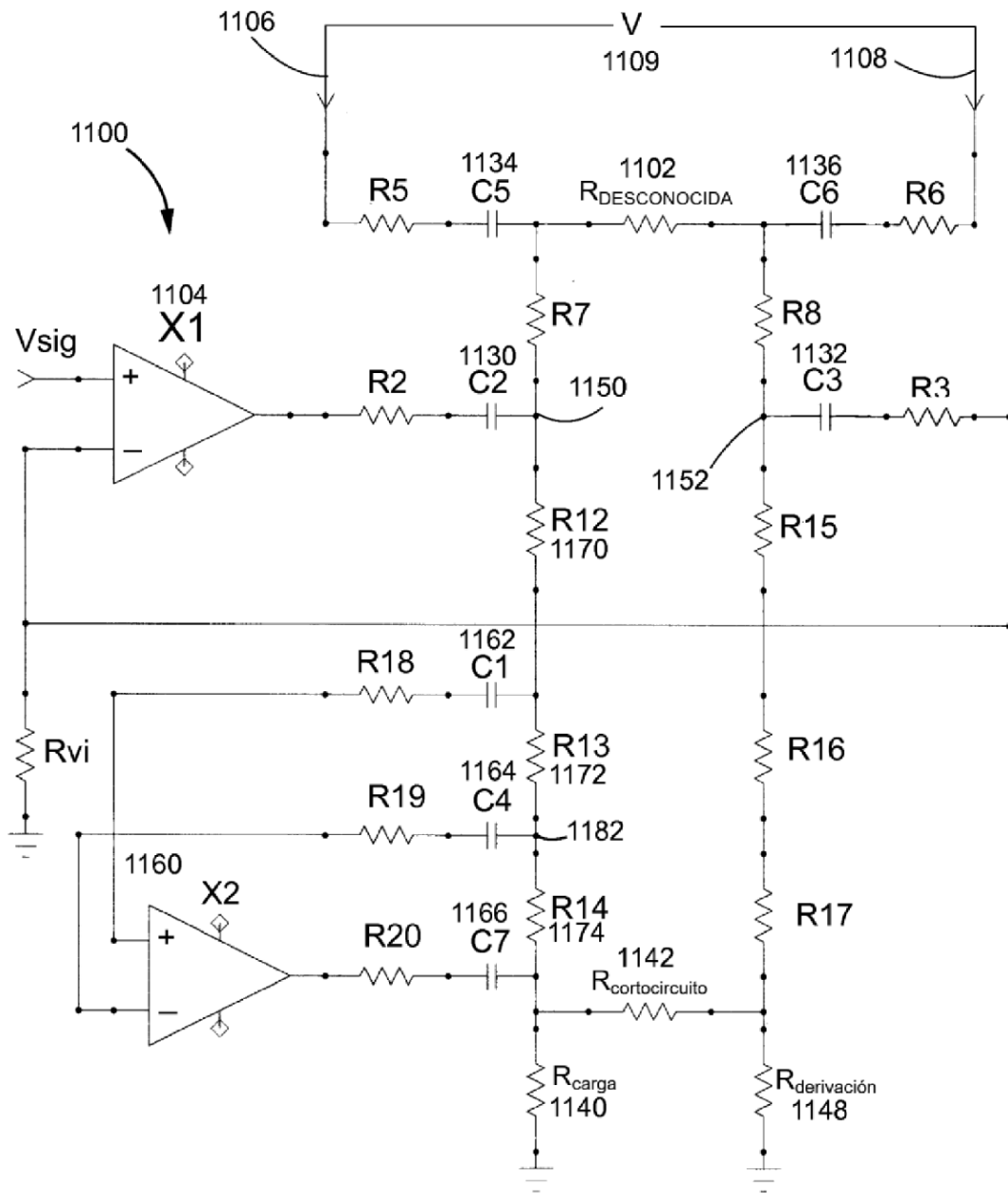


FIG. 15

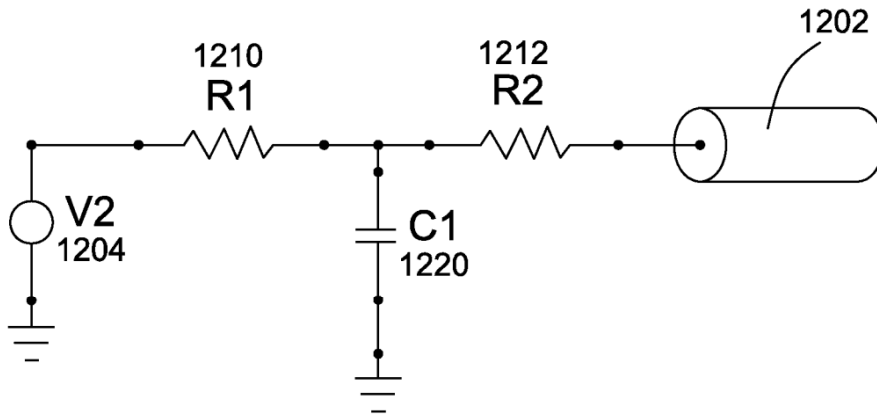


FIG. 16

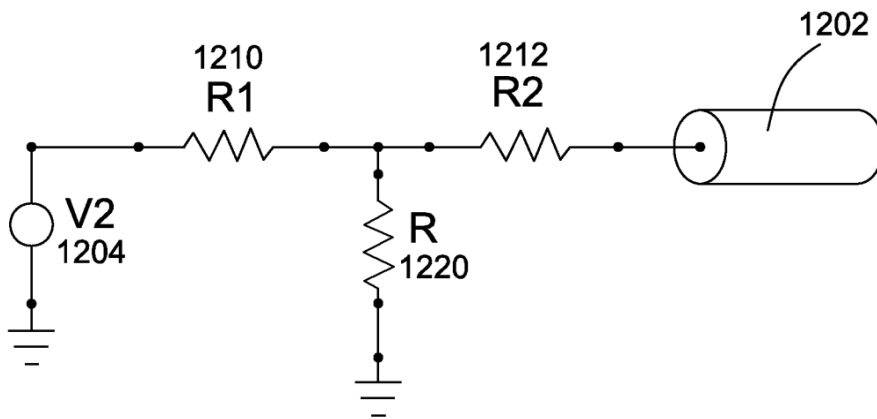


FIG. 17

