

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 949 646**

51 Int. Cl.:

G01N 27/02 (2006.01)

G01N 27/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2018** **PCT/IB2018/058373**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2019** **WO19097333**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2018** **E 18807408 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.12.2021** **EP 3710817**

54 Título: **Procedimiento para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido y sensor de detección y medición que lo implementa**

30 Prioridad:

15.11.2017 IT 201700130254

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

02.10.2023

73 Titular/es:

POLITECNICO DI MILANO (50.0%)

Piazza Leonardo da Vinci 32

20133 Milano, IT y

**FONDAZIONE CASSA DI RISPARMIO DELLE
PROVINCE LOMBARDE (50.0%)**

72 Inventor/es:

CARMINATI, MARCO;

TUROLLA, ANDREA y

ANTONELLI, MANUELA

74 Agente/Representante:

MOHAMMADIAN SANTANDER, Darío

ES 2 949 646 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

Procedimiento para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido y sensor de detección y medición que lo implementa

CAMPO TÉCNICO

- 5 La presente invención se refiere en general a un procedimiento para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido, por ejemplo la superficie de una tubería y/o de un depósito, y a un sensor de detección y medición que implementa el procedimiento. Específicamente, la presente invención está dirigida a aplicaciones en las que se pueden formar capas de depósito de diferentes naturalezas, por ejemplo inorgánicas y/o biológicas, pudiendo discernir entre el tipo particular de depósito.
- 10 A modo de ejemplo, la presente invención encuentra una aplicación preferente en el ámbito de las conducciones de agua para detectar los depósitos que se estratifican internamente en las tuberías que componen la red de captación, tratamiento y distribución, desde el punto de captación, hasta el punto de vertido en la red y luego hasta el usuario final.
- 15 En conjunto y equivalentemente, la invención encuentra una aplicación preferente en el ámbito industrial, en particular en las instalaciones que hacen uso de intercambiadores de calor, calderas, depósitos, y demás, para el tratamiento de líquidos.
- 20 Pero, además, la invención se encuentra preferentemente en el ámbito de los aparatos eléctricos, domésticos o no, que hacen uso del agua, como lavadoras de ropa, lavavajillas, cafeteras y demás, para medir el espesor de las capas de sarro y/o biofilm que se depositan en las tuberías de entrada y/o salida de agua y/o en los depósitos de tratamiento y/o acumulación.
- En el ámbito de la presente descripción y en las siguientes reivindicaciones, la expresión "biofilm" significa una capa de células eucariotas y/o procariotas ancladas a una superficie sólida y anidadas en una matriz orgánica de origen biológico.

ANTECEDENTES

- 25 Hasta la fecha, se conocen varias metodologías para identificar la presencia y medir el grosor de las capas de depósito en una superficie expuesta al contacto con líquidos, cada una de ellas generalmente específica para un tipo particular de depósito.
- 30 Por ejemplo, el documento EP 1376112 divulga el uso, para identificar la presencia y para medir una capa de cal, de un sensor eléctrico compuesto por electrodos interdigitados que monitoriza el estado de limpieza de las tuberías en el ámbito de la alimentación.
- En la presente descripción y en las reivindicaciones siguientes, la expresión "electrodos interdigitados" significa un par de electrodos en forma de peine dispuestos mutuamente de manera que los dientes de un primer electrodo del par están intercalados a los dientes de un segundo electrodo del par en ausencia de contacto mutuo.
- 35 La operación de medición se realiza midiendo la capacitancia entre los electrodos, es decir, detectando la variación de la constante dieléctrica entre el depósito y el líquido circundante, inducida por el crecimiento de una capa que retira el líquido de los electrodos. Sin embargo, este procedimiento no es adecuado para discernir entre una capa de sarro y otro tipo de capa, ya que la medición de la capacitancia no se ve influida de forma distintiva según la naturaleza de la capa. En ambos casos, la capacitancia disminuye a medida que aumenta el espesor de la capa.
- 40 El documento US 6,891,606 describe un instrumento óptico para la medición en tiempo real de una capa de incrustación en tuberías de petróleo. La detección y la medición del espesor se llevan a cabo midiendo el índice de refracción de la superficie sujeta a cambios en función de la formación de incrustaciones. Este procedimiento, además de poder aplicarse únicamente mediante una costosa instrumentación, es también inadecuado para discernir entre una capa de incrustación o una capa de otro tipo, ya que la medición del índice de refracción no influye de forma específica y distintiva en función de la naturaleza orgánica o inorgánica de la capa.
- 45 El documento US 2011/0286492 describe un sensor basado en el cambio de las propiedades de conductividad térmica de un elemento sensible recubierto por escamas. El procedimiento para detectar y medir el grosor basado en la medición de un cambio en la conductividad térmica tampoco es adecuado para discernir entre una capa de sarro y otro tipo de capa.

El documento WO 2016/097316 describe un sensor para medir la tasa de crecimiento de la biopelícula en fluidos de medios de cultivo, en el que se mide la parte reactiva de la impedancia entre los electrodos, operando específicamente a bajas frecuencias para detectar el cambio de la parte capacitiva. Este sensor no es adecuado para el crecimiento de una capa directamente en contacto con el electrodo, por lo que es difícil de utilizar en entornos dinámicos en los que el medio líquido fluye en la superficie. Además, como se indica con referencia al instrumento descrito en el documento EP 1376112, la medición capacitiva no permite discernir entre una capa de escamas o una capa de otro tipo, no siendo la medición capacitiva repetible e influyendo de manera significativamente diferente según la naturaleza de la capa.

OBJETO Y SUMARIO DE LA INVENCION

A la luz de lo anterior, el problema en el que se basa la presente invención es superar los inconvenientes de la técnica anterior y, en particular, idear un procedimiento para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido que sea capaz de discernir entre diferentes tipos de capa de depósito.

Dentro de esta problemática, un propósito de la presente invención es proporcionar un procedimiento de detección y medición de una capa depositada sobre una superficie en contacto con un medio líquido que permita intervenir de forma dirigida para contrastar o, en su caso, promover, el depósito de una capa de cada tipo.

Según un primer aspecto, la invención se refiere así a un procedimiento de detección y medición de una capa depositada sobre una superficie en contacto con un medio líquido que comprende las etapas que consisten en:

- colocar al menos un par de electrodos dispuestos a una distancia mutua D en la superficie en contacto con un medio líquido;
- enviar una señal con una frecuencia f al al menos un par de electrodos; y
- detectar la impedancia entre el al menos un par de electrodos,

caracterizado porque la frecuencia de la señal se elige de forma que se mide la parte resistiva de la impedancia, siendo la frecuencia de la señal mayor o igual que la frecuencia cero dada por la capacitancia de doble capa y por la resistencia del medio líquido en el que se realiza la medición.

El Solicitante observó que la realización de las mediciones a una frecuencia que cae dentro del rango específico de frecuencias en el que predomina el componente resistivo de la impedancia medida, permite no sólo detectar y medir el depósito de la capa inorgánica (por ejemplo, el sarro) o la capa biológica (por ejemplo, el biofilm), sino que al mismo tiempo hace posible discernir el tipo de depósito.

En concreto, el Solicitante descubrió sorprendentemente que la resistividad inducida por una capa biológica tiene un comportamiento inverso con respecto al comportamiento de una capa inorgánica.

El Solicitante observó que a medida que el grosor de la capa inorgánica aumenta, incrementa su resistividad, mientras que a medida que el grosor de la capa biológica aumenta, incrementa la conductividad de la matriz orgánica relacionada, determinando así una disminución general de la resistividad.

El Solicitante consideró entonces realizar las mediciones a una frecuencia de medición adecuadamente seleccionada, posibilitando la medición de la resistencia del medio líquido y de esta manera investigar el contraste entre la conductividad del líquido y la del depósito.

En particular, el Solicitante encontró el vínculo entre el rango de frecuencias adecuado para llevar a cabo la medición resistiva y la configuración de medición particular, determinada tanto por la geometría del instrumento de medición, como por las características electroquímicas de la interfaz entre los electrodos y el medio líquido en el que tiene lugar la medición.

Este rango de frecuencias permite realizar medidas de la componente resistiva de la impedancia y así, a través de un único instrumento, tanto medir el espesor de la capa, como determinar, en función del signo de la medida, si dicha capa es inorgánica o biológica.

De este modo, es posible identificar ventajosamente la naturaleza del depósito, lo que permite intervenir de forma dirigida.

La presente invención puede tener al menos una de las características preferidas que se indican a continuación, las cuales pueden combinarse a voluntad para satisfacer requisitos de aplicación específicos.

Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un sensor para la detección y medición de una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido que comprende al menos un par de electrodos dispuestos a una distancia mutua y una unidad de procesamiento electrónico a la que se conecta el al menos un par de electrodos, comprendiendo la unidad de procesamiento electrónico medios de procesamiento electrónico configurados para implementar el procedimiento de detección y medición descrito anteriormente.

Ventajosamente, el sensor de detección y medición según la invención logra los efectos técnicos descritos anteriormente en relación con el procedimiento de detección y medición.

Preferentemente, la frecuencia de la señal f es mayor en al menos un factor k que la frecuencia cero f_0 , siendo el factor k mayor o igual a 8.

Aún más preferentemente, el factor k es mayor o igual a 10.

El Solicitante ha identificado ventajosamente que para frecuencias de señal superiores a la frecuencia cero por un factor de al menos 8 o, preferiblemente, de al menos 10, se asegura de forma fiable una medición precisa y correcta de la parte resistiva de la impedancia.

Preferiblemente, los electrodos del al menos un par de electrodos están dispuestos con caras planas y paralelas separadas por una distancia D y la frecuencia de la señal f es igual a:

$$f = \frac{k}{2\pi\rho DC_0}$$

siendo ρ igual a la resistividad eléctrica del medio líquido en el que se realiza la medición y C_0 igual a la capacidad específica de la interfaz electroquímica entre los electrodos y el medio líquido.

Preferiblemente, al menos una primera y una segunda medición de la componente resistiva de la impedancia Z son de rendimiento, siendo la primera medición de la componente resistiva una medición de referencia.

De este modo es posible reconocer ventajosamente si se está acumulando un depósito en los electrodos y de qué tipo. Si, en ausencia de otras intervenciones, se observa una diferencia positiva entre el valor de referencia y el valor de medición, hay una acumulación de capa inorgánica. En caso contrario, un cambio negativo es una indicación de una acumulación de capa biológica.

Más preferentemente, también se incluyen las etapas que consisten en:

- activar el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de las capas inorgánicas cuando la segunda medición del componente resistivo sea mayor que la medición de referencia del componente resistivo;
- activar el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de capas biológicas cuando la segunda medición del componente resistivo es menor que la medición de referencia del componente resistivo.

Ventajosamente, la información sobre la naturaleza de la capa de depósito permite impulsar la liberación de un agente químico en lugar de otro. Por ejemplo, si se requiere reducir el grosor de la capa de depósito, la liberación de ácido se impulsa para los depósitos inorgánicos, mientras que el desinfectante se libera para los depósitos de naturaleza biológica.

Aún más preferentemente, el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de capas inorgánicas y/o biológicas comprende:

- detectar el espesor de una capa de depósito inorgánico y/o de una capa de depósito biológico mediante una medición resistiva del medio líquido;
- controlar la liberación de agentes químicos en función del espesor detectado.

La medición del espesor de la capa de depósito, además de la información sobre el tipo de depósito, permite ventajosamente implementar una serie de lógicas de control dirigidas, según el caso, a mantener el espesor de la capa por debajo o por encima de los respectivos valores umbral.

Preferentemente, el al menos un par de electrodos comprende una pluralidad de pares de electrodos, estando los electrodos de cada par de electrodos dispuestos a una distancia mutua diferente de los otros pares de electrodos.

5 Esta peculiar configuración de los electrodos permite ventajosamente realizar la medición de una pluralidad de rangos de espesores de la capa de depósito, ampliando el espectro de aplicabilidad del sensor, manteniendo un alto grado de precisión en la medición.

Preferiblemente, se proporciona además al menos un par de electrodos de referencia tratados para evitar el crecimiento de depósitos en los mismos.

Ventajosamente, el par de electrodos de referencia permite realizar una medición de referencia en base a la cual se comparan las mediciones reales para reconocer la naturaleza del depósito.

10 Preferentemente, el al menos un par de electrodos está colocado sobre un sustrato de material eléctricamente aislante, preferentemente del tipo flexible.

De manera totalmente ventajosa, el sustrato aislante y flexible permite aplicar el sensor sustancialmente sobre cualquier tipo de superficie, ya sea lisa, curva, conductora o de otro tipo.

Preferentemente, el al menos un par de electrodos es del tipo con electrodos interdigitados.

15 Con esta geometría, el Solicitante observó ventajosamente que la relación entre el cambio en la resistencia iónica y el espesor del depósito es lineal, permitiendo así también una medición cuantitativa del espesor.

Con esta geometría, el cambio en la distancia entre los electrodos permite ajustar el sensor al espesor del depósito a medir, asegurando siempre una adecuada precisión de la medición. En particular, el Solicitante verificó la capacidad de detectar capas de depósito de unos pocos micrómetros de espesor con una distancia entre los electrodos de 10 y 5 micras.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se evidencian otras características y ventajas de la presente invención a partir de la siguiente descripción detallada de ciertas realizaciones preferidas de la misma hechas con referencia a los dibujos adjuntos.

25 Las diferentes características de las configuraciones individuales pueden combinarse entre sí según se desee de acuerdo con la descripción anterior, en caso de que haya ventajas que resulten específicamente de una combinación concreta.

En dichos dibujos,

- 30 – La FIG. 1 es una vista esquemática de un sensor configurado para aplicar el procedimiento de detección y medición de una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido según la presente invención;
- La FIG. 2 es una vista en sección transversal parcial y esquemática del sensor de la FIG. 1;
- La FIG. 3 es un gráfico que muestra la impedancia en función de la frecuencia de la señal;
- Las FIGs. 4a y 4b son gráficos de la componente resistiva de la impedancia en función de la capa de depósito en el caso de un depósito inorgánico y biológico, respectivamente;
- 35 – La FIG. 5 es una representación esquemática de una primera realización preferida de los electrodos utilizados en un sensor configurado para aplicar el procedimiento según la presente invención;
- La FIG. 6 es una representación esquemática de una segunda realización preferida de los electrodos utilizados en un sensor configurado para aplicar el procedimiento según la presente invención;
- 40 – La FIG. 7 es una representación esquemática de una tercera realización preferida de los electrodos utilizados en un sensor configurado para aplicar el procedimiento según la presente invención;
- La FIG. 8 es una representación esquemática de una cuarta realización preferida de los electrodos utilizados en un sensor configurado para aplicar el procedimiento según la presente invención;

- La FIG. 9 es un diagrama de flujo del procedimiento para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 Para ilustrar los dibujos, en la siguiente descripción se utilizan números o símbolos idénticos para indicar elementos de construcción con la misma función. Además, para mayor claridad de la ilustración, algunas referencias pueden no repetirse en todos los dibujos.

10 Mientras que la invención es susceptible de varias modificaciones y construcciones alternativas, ciertas realizaciones preferidas se muestran en los dibujos y se describen a continuación en detalle. Sin embargo, debe entenderse que no hay intención de limitar la invención a la realización específica ilustrada, sino que, por el contrario, la invención pretende cubrir todas las modificaciones, construcciones alternativas y equivalentes que caen dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones.

El uso de "por ejemplo", "etc.", "o" indica alternativas no exclusivas sin limitación, a menos que se indique lo contrario. El uso de "comprende" e "incluye" significa "comprende o incluye, pero no se limita a", a menos que se indique lo contrario.

15 Con referencia a la FIG. 1, se muestra una primera realización preferida de un sensor configurado para implementar el procedimiento de detección y medición de una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido según la presente invención, designado en su totalidad con el número 10.

20 El sensor 10 de detección y medición comprende al menos un par de electrodos 11 colocados sobre un sustrato 12 de material eléctricamente aislante. Los electrodos 11 están conectados a una unidad de procesamiento electrónico 13 que comprende medios de procesamiento 14 configurados para implementar el procedimiento de detección y medición según la invención.

El conjunto formado por el sustrato 12 y los electrodos 11 está construido de manera que permite el depósito sobre él de una capa 20, ya sea, por ejemplo, un biofilm o una capa de sarro.

25 La unidad de procesamiento electrónico 13 está configurada convencionalmente para la medición de la impedancia Z entre los electrodos 11.

Específicamente en la realización preferida, la unidad de procesamiento electrónico 13 comprende un demodulador vectorial "lock-in" (no ilustrado en detalle).

30 También se proporciona un generador de voltaje sinusoidal (no mostrado) para conducir un primer electrodo 11, cuya amplitud se selecciona adecuadamente para evitar fenómenos electroquímicos no deseados en la interfaz entre el electrodo 11 y la solución (típicamente 20-100 mV).

Por último, se proporciona un circuito de lectura de la corriente (no mostrado), conectado al segundo electrodo 11. Además, un circuito de transimpedancia (no representado) convierte la corriente en tensión. Dicha tensión se aplica al circuito de demodulación que extrae la parte real de la admitancia detectada ($Y = 1/Z$).

35 Los medios de procesamiento 14 están configurados para generar una señal de medición que tiene una frecuencia f , que se transmite a los electrodos 11 para detectar la impedancia Z generada por el medio líquido y por la capa 20 a la frecuencia de medición f determinada.

40 En general, la impedancia de la capa 20 de depósito puede representarse mediante el circuito equivalente mostrado en la FIG. 2. Comprende al menos una parte capacitiva C y una parte resistiva R , lo que da lugar a una impedancia total que varía en función de la frecuencia de medición f , de la distancia relativa D entre los electrodos, así como de las características electroquímicas de la interfaz entre los electrodos y el medio líquido en el que tiene lugar la medición.

45 La FIG. 3 muestra un patrón típico de la impedancia Z en función de la frecuencia de medida f a igualdad de condiciones de medida restantes. Como puede deducirse de dicho gráfico, la componente capacitiva de la impedancia Z prevalece a bajas frecuencias, mientras que más allá de una determinada frecuencia llamada cero f_0 , prevalece la componente resistiva R de la impedancia Z .

Por lo tanto, para realizar una medición de la componente resistiva R de la impedancia Z es necesario operar a una frecuencia superior o igual a la frecuencia cero f_0 .

La frecuencia cero f_0 viene dada por la capacitancia de doble capa (C_{DL}) y por la resistencia del medio líquido en el que se realiza la medición (R_{SOL}).

La capacitancia de doble capa (C_{DL}) es igual al producto de la superficie de los electrodos 11 por la capacitancia específica C_0 de la interfaz electroquímica que depende del tipo de metal del que están hechos los electrodos 11 y de la concentración de iones en el medio líquido.

Para obtener una medición aún más precisa, es ventajoso operar a una frecuencia que sea mayor en al menos un factor k que la frecuencia cero f_0 , con $k \geq 8$, o preferiblemente, con $k \geq 10$.

Para realizar una medición de la parte resistiva R de la impedancia Z , la frecuencia de medición f debe por tanto satisfacer el siguiente algoritmo:

$$f = \frac{k}{2\pi R_{SOL} C_{DL}} \gg f_0 = \frac{1}{2\pi R_{SOL} C_{DL}}$$

En el caso de electrodos dispuestos, como en las FIGs. 1 y 2, con caras planas y paralelas separadas por una distancia D , la frecuencia de la señal adecuada para asegurar una medición de la parte resistiva de la impedancia es igual a:

$$f = \frac{k}{2\pi \rho D C_0}$$

En el caso de electrodos con geometría diferente, la resistencia R_{SOL} se estima mediante la constante de célula $b(D)$, es decir, un factor que depende de la geometría y que relaciona linealmente la resistencia con la resistividad: $R_{SOL} = \rho \cdot b(D)$. Por lo tanto, la frecuencia de la señal se determina mediante el siguiente algoritmo:

$$f = \frac{k}{2\pi \rho b(D) C_{DL}}$$

En todos los casos, a medida que D crece, la resistencia R_{SOL} aumenta y, por tanto, la frecuencia de la señal f adecuada para detectar la parte resistiva R de la impedancia Z disminuye.

En el caso de los electrodos coplanares, como los de las FIGs. 1 y 2, se selecciona D de longitud comparable con el espesor de la suciedad que se va a medir porque el 95% de las líneas de campo se extienden verticalmente dentro de un espesor igual a D .

La constante de la célula puede estimarse mediante mapas de conformación. Por ejemplo, en el caso del agua potable, indicativamente $\rho = 750 \mu S/cm$, de los cuales la frecuencia cero f_0 es aproximadamente 10^5 kHz, como se muestra en la FIG. 3, y la frecuencia de la señal f se selecciona preferentemente $f \geq 1 MHz$.

Aumentando D , la frecuencia de la señal f que asegura la detección de la parte resistiva R de la impedancia Z se reduce correspondientemente, permaneciendo sin embargo típicamente entre 10kHz y 10MHz.

El Solicitante descubrió sorprendentemente que realizando mediciones con una frecuencia de señal f que satisface el algoritmo anterior, y detectando así la parte resistiva de la impedancia Z , es posible detectar comportamientos opuestos dependiendo de si la capa de depósito es biológica (biofilm) o inorgánica (sarro).

Este descubrimiento fue validado mediante la siguiente experimentación.

Se hizo crecer a las bacterias en un reactor hecho específicamente para acelerar y controlar el crecimiento de la biomasa en una solución en la que los electrodos 11 también estaban sumergidos.

Con respecto al ensuciamiento como resultado de la formación de sarro en los electrodos 11, se definió un protocolo para la deposición controlada de carbonato de calcio, aplicado a las soluciones en las que se sumergían los electrodos 11.

Se utilizaron electrodos coplanares, microfabricados por litografía de oro sobre sustrato de vidrio, caracterizados por una distancia $D = 10$ micras, una superficie sensible total de aproximadamente 1cm^2 , con una frecuencia cero f_0 igual a aproximadamente 70kHz (FIG. 3) en agua potable (con una resistividad de aproximadamente $750\mu\text{S/cm}$).

En este caso, la frecuencia de medición adoptada es $f = 2\text{ Mhz}$ (por lo tanto con $k = 28$).

- 5 El espesor de la biopelícula crecida en los electrodos 11 o de la capa de sarro depositada se midió con un microscopio de fuerza atómica (AFM). De esta manera fue posible correlacionar el cambio en la resistencia medida de la solución con el espesor del depósito.

10 Como se muestra en las FIGs. 4a y 4b, dicha correlación es lineal en ambos casos, para espesores entre 3 y 8 micras. Para el sarro (FIG. 4a), la derivada es positiva: a medida que aumenta la capa de incrustación, aumenta la resistencia que dificulta el movimiento de los iones.

15 En cambio, sorprendentemente, en el caso de la biopelícula (FIG. 4b), la derivada es negativa: a medida que aumenta el grosor, disminuye la resistencia. Este efecto fue atribuido por el Solicitante a la presencia de una matriz extracelular compuesta por polímeros orgánicos (conocidos por el acrónimo EPS) que rodea a las bacterias permitiendo la formación de una colonia estructurada; dicha matriz está enriquecida con un elevado número de iones que producen un aumento local de la conductividad.

El efecto diferente del crecimiento de las capas de naturaleza biológica o química sobre la resistencia medida permite, por tanto, no sólo medir el espesor de la capa de depósito, sino también discernir su naturaleza.

20 La FIG. 5 muestra una forma de realización preferida de los electrodos 11 del sensor de detección y medición 10, realizados como electrodos interdigitados. Los electrodos interdigitados 11 están soportados en un sustrato flexible 12, de modo que pueden aplicarse a una superficie curva, por ejemplo la superficie interior de una tubería 30, como se muestra en la FIG. 5.

La FIG. 6 muestra una realización preferida adicional de los electrodos 11 del sensor 10 de detección y medición, realizados como electrodos interdigitados también en este caso.

25 En particular, se proporcionan ventajosamente cuatro pares de electrodos 11, colocados respectivamente a diferentes distancias mutuas D , para poder realizar la medición de una pluralidad de intervalos de espesores de la capa de depósito.

La FIG. 7 muestra otra realización preferida de los electrodos 11 del sensor 10 de detección y medición, del tipo de par en espiral.

30 Según esta realización, los dos electrodos se desarrollan en paralelo, separados por una distancia D , delineando cada uno una espiral que cubre el área de sensibilidad.

La FIG. 8 muestra otra realización preferida de los electrodos 11 del sensor 10 de detección y medición.

35 En la realización de la FIG. 8, ventajosamente, se proporcionan dos grupos de electrodos 11, de los cuales un primer grupo 15 es tratado para evitar el crecimiento de depósitos en el mismo (por ejemplo, a través de una limpieza constante) y sirve como referencia, mientras que un segundo grupo de electrodos 11 es tal que permite el crecimiento de depósitos en el mismo.

La medición realizada a través del primer grupo 15 de electrodos proporciona un valor de referencia que permite interpretar directamente la medición del segundo grupo de electrodos, sin necesidad de realizar una medición diferencial tomada en dos momentos diferentes.

40 El procedimiento 100 para detectar y medir una capa depositada en una superficie en contacto con un medio líquido según la presente invención se ilustra en la FIG. 9 y, en términos generales, comprende:

- una primera etapa 110 en la que se mide la parte resistiva de la impedancia de una solución, en la que puede haberse formado una capa de depósito, ya sea inorgánica o biológica;
- una segunda etapa 120 en la que, sobre la base de las mediciones efectuadas, se determina el tipo y/o el espesor de una capa de depósito presente en la solución;
- 45 – una tercera etapa 130 (opcional), en la que, en función del tipo de capa de depósito y del espesor medido, se controla la liberación de agentes químicos adecuados.

La primera etapa de medición 110 comprende generalmente las etapas que consisten en:

- colocar al menos un par de electrodos dispuestos a una distancia mutua D en la superficie en contacto con un medio líquido;
- enviar a los electrodos una señal con una frecuencia f ;
- 5 – detectar la impedancia entre el al menos un par de electrodos 11.

Según la invención, la frecuencia de la señal f se selecciona de manera que sea mayor en al menos un factor k que la frecuencia cero f_0 dada por la capacitancia de doble capa (C_{DL}) y por la resistencia del medio líquido en el que se realiza la medición (R_{SOL}), con $k \geq 10$.

10 La segunda etapa 120 de interpretación de las mediciones efectuadas en la etapa de medición anterior 110 se basa en el hecho de que, si al efectuar, por ejemplo, una pluralidad de mediciones a diferentes intervalos de tiempo, se detecta un cambio de resistividad, es posible reconocer qué tipo de depósito se está acumulando en los electrodos sobre la base del signo de la variación. En ausencia de otras intervenciones, si el signo de la variación es positivo, se trata de una acumulación de capa inorgánica. En caso contrario, una variación negativa es una indicación de una acumulación de capa biológica.

15 En el caso de los electrodos 11 incorporados como en la FIG. 6, a cada par de electrodos se le alimenta una señal que tiene una frecuencia de señal f que satisface el algoritmo indicado. En particular, los pares de electrodos 11 más distantes entre sí se alimentan con frecuencias de señal correspondientemente más bajas para garantizar que siempre se detecte la parte resistiva de la impedancia.

20 En el caso de los electrodos 11 realizados como en la FIG. 8, la medición obtenida del primer grupo de electrodos 11 tratados para evitar que el depósito crezca en ellos sirve de referencia, permitiendo entender con una sola medición si se trata de una capa de depósito biológico o inorgánico.

La tercera etapa 130 de control de la liberación de agentes químicos en función de las mediciones obtenidas y de las aplicaciones específicas puede variar según las aplicaciones.

25 En el caso de un depósito inorgánico que sirve como capa protectora de la superficie sobre la que crece, por ejemplo para las tuberías de cemento de amianto con el fin de evitar la liberación de fibras de amianto o para inhibir la corrosión de las superficies metálicas, se regula la liberación de sustancias químicas que promueven el crecimiento del depósito.

30 Si el espesor del depósito disminuye por debajo de un valor mínimo, se aumenta la liberación de las sustancias químicas que promueven el crecimiento. De lo contrario, si el espesor supera un valor máximo, la liberación de sustancias químicas se reduce o se interrumpe para limitar los costes de funcionamiento de la instalación.

En caso de depósitos inorgánicos y/u orgánicos que puedan, por ejemplo, comprometer el buen funcionamiento de una red de suministro de agua o corroer una superficie metálica, la liberación de sustancias de lavado (por ejemplo, ácido) y/o de sustancias desinfectantes se regula en función del tipo de depósito.

35 En las aplicaciones típicas de tuberías de agua, la liberación de sustancias químicas también se regula en función del espesor medido del depósito en relación con un valor umbral máximo.

Si se identifica un crecimiento de la capa biológica por encima de un valor umbral máximo determinado, se inicia la liberación de desinfectante. Si, por el contrario, se identifica un crecimiento de la capa inorgánica (sarro) por encima de un umbral determinado, se inicia la liberación de ácido.

40 En las aplicaciones industriales, la liberación puede ser continua o discontinua, según la aplicación particular. En el caso de las liberaciones discontinuas para las limpiezas periódicas de los circuitos en los que fluye el líquido, al final de la liberación de sustancias químicas, sigue una etapa de enjuague del circuito; las dosis de sustancias químicas, la duración de las etapas de dosificación (limpieza) y de enjuague posterior se encuentran en función de la consecución de un valor umbral del espesor del depósito.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para detectar y medir una capa depositada sobre una superficie en contacto con un medio líquido, comprendiendo las etapas de:

- colocar al menos un par de electrodos (11) sobre una superficie en contacto con un medio líquido, estando los electrodos (11) dispuestos a una distancia mutua (D);
- enviar, al al menos un par de electrodos (11), una señal que tiene una frecuencia (f); y
- detectar la impedancia (Z) entre el al menos un par de electrodos (11)

caracterizado porque la frecuencia (f) de la señal se elige para medir la parte resistiva de la impedancia (Z), siendo la frecuencia (f) de la señal mayor o igual a la frecuencia cero (f_0) dada por la capacitancia de doble capa (C_{DL}) y por la resistencia (R_{SOL}) del medio líquido en el que se realiza la medición.

2. Procedimiento (100) para detectar y medir según la reivindicación 1, en el que la frecuencia (f) de la señal es mayor al menos por un factor (k) que la frecuencia cero (f_0), siendo el factor (k) mayor o igual a 8.

3. Procedimiento (100) para detectar y medir según la reivindicación 2, donde el factor (k) es mayor o igual a 10.

4. Procedimiento (100) para detectar y medir según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde los electrodos (11) del al menos un par de electrodos (11) están dispuestos con caras planas y paralelas separadas por una distancia (D) y la frecuencia (f) de la señal es igual a:

$$f = \frac{k}{2\pi\rho DC_0}$$

con ρ igual a la resistividad eléctrica del medio líquido en el que se realiza la medición y C_0 igual a la capacitancia específica de la interfaz electroquímica entre los electrodos y el medio líquido.

5. Procedimiento (100) para detectar y medir según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde se realizan al menos una primera y una segunda medición de la componente resistiva de la impedancia (Z), siendo la primera medición de la componente resistiva una medición de referencia.

6. Procedimiento (100) para detectar y medir según la reivindicación 5, comprendiendo adicionalmente las etapas de:

- activar el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de las capas inorgánicas cuando la segunda medición del componente resistivo es mayor que la medición de referencia del componente resistivo;
- activar el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de capas biológicas cuando la segunda medición del componente resistivo es menor que la medición de referencia del componente resistivo.

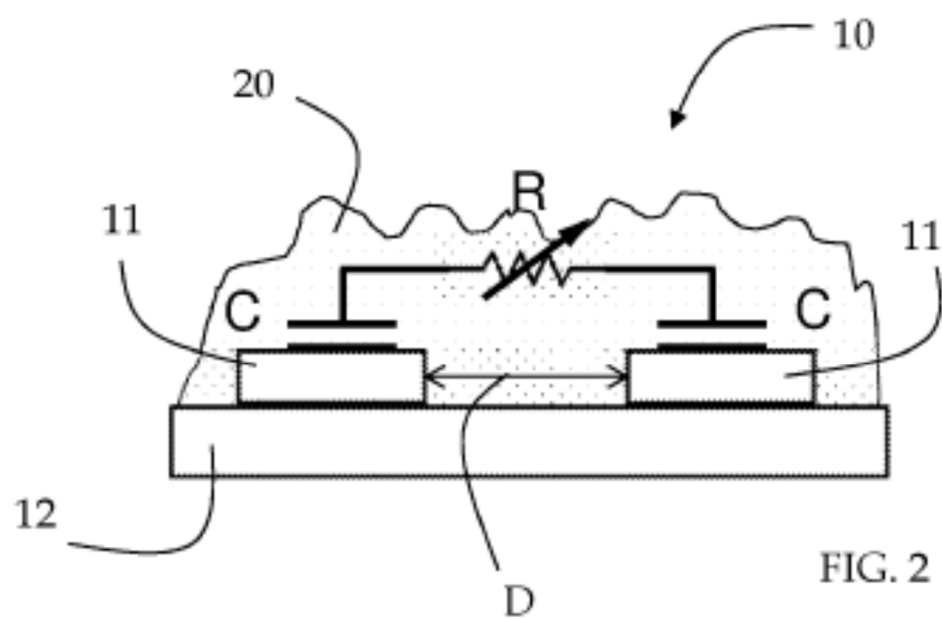
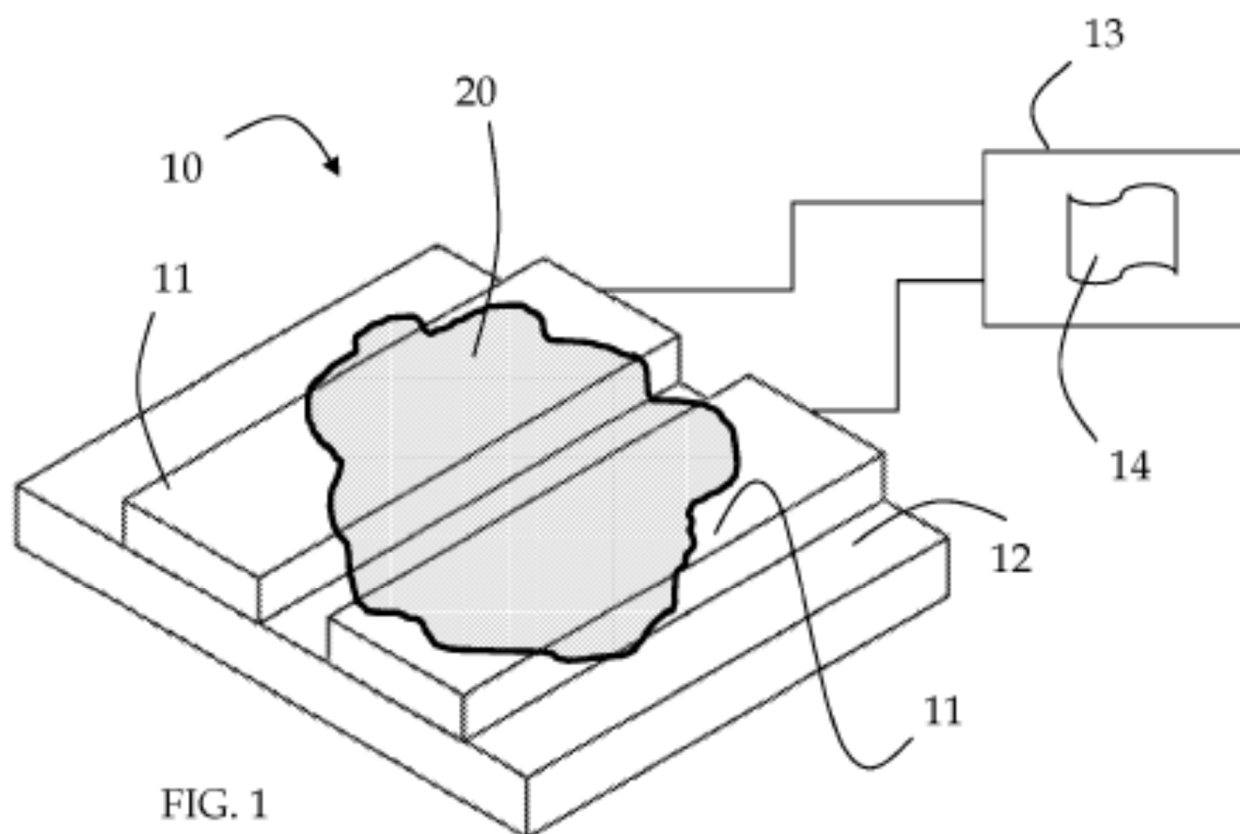
7. Procedimiento (100) para detectar y medir según la reivindicación 6, donde el control de liberación de agentes químicos para el tratamiento de capas inorgánicas y/u orgánicas comprende:

- detectar el espesor de una capa de depósito inorgánico y/o de una capa de depósito biológico mediante una medición resistiva del medio líquido;
- controlar la liberación de agentes químicos en función del espesor detectado.

8. Sensor (10) para la detección y medición de una capa depositada sobre una superficie en contacto con un medio líquido, que comprende al menos un par de electrodos (11) dispuestos a una distancia mutua (D) y una unidad de procesamiento electrónico (13) a la que se conecta el al menos un par de electrodos (11), comprendiendo la unidad de procesamiento electrónico (13) medios de procesamiento electrónico (14)

configurados para implementar el procedimiento de detección y medición según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

- 5 9. Sensor (10) de detección y medición según la reivindicación 8, en el que el al menos un par de electrodos (11) comprende una pluralidad de pares de electrodos (11), estando los electrodos de cada par de electrodos (11) dispuestos a una distancia mutua diferente de los otros pares de electrodos (11).
10. Sensor (10) de detección y medición según la reivindicación 8 o 9, comprendiendo adicionalmente al menos un par de electrodos de referencia (15) tratados para evitar el crecimiento de un depósito sobre los mismos (15).
- 10 11. Sensor (10) de detección y medición según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el al menos un par de electrodos (11) está dispuesto sobre un sustrato (12) de material eléctricamente aislante, preferentemente del tipo flexible.
12. Sensor (10) de detección y medición según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el al menos un par de electrodos (11) es del tipo con electrodos coplanares interdigitados o en espiral.



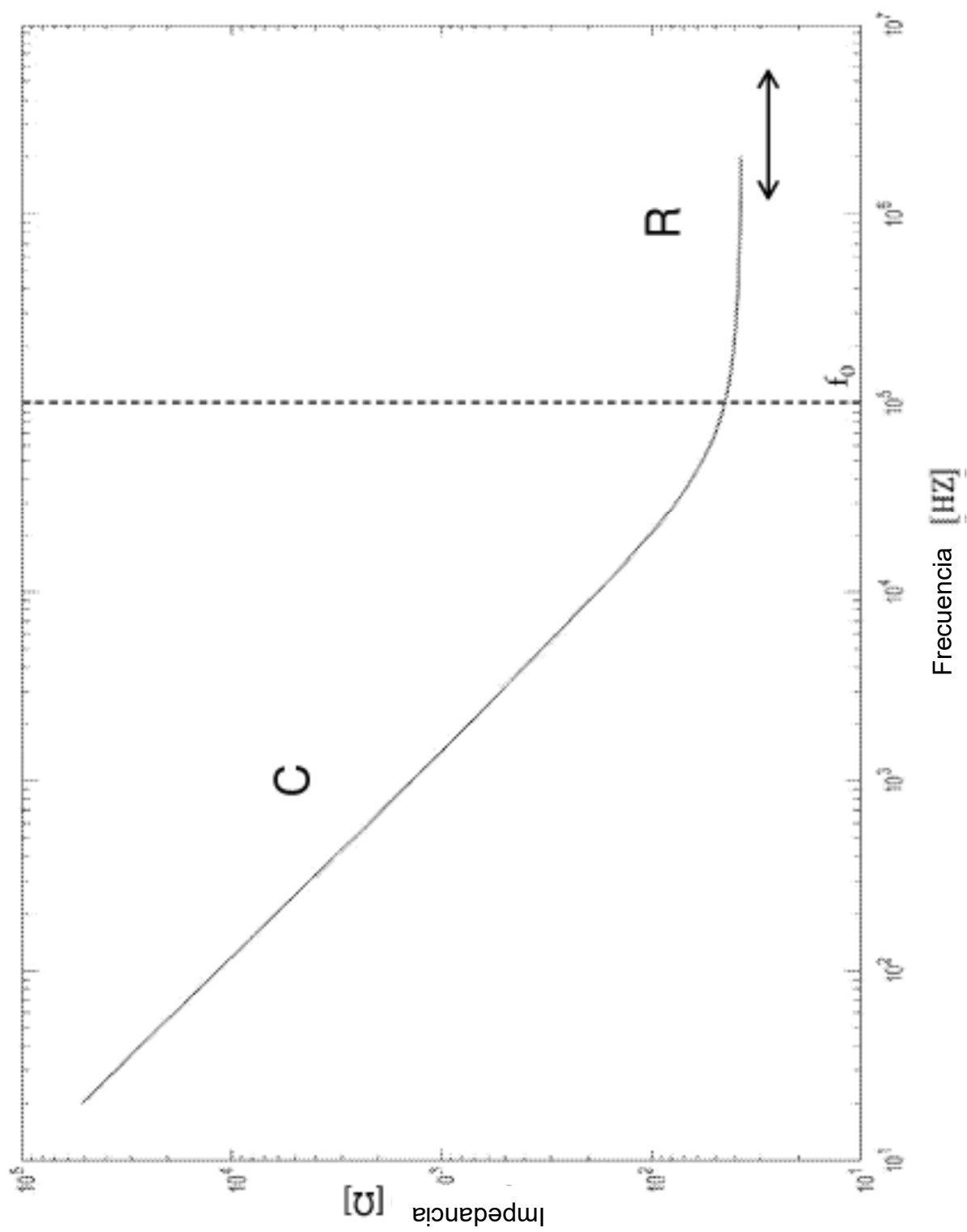


FIG. 3

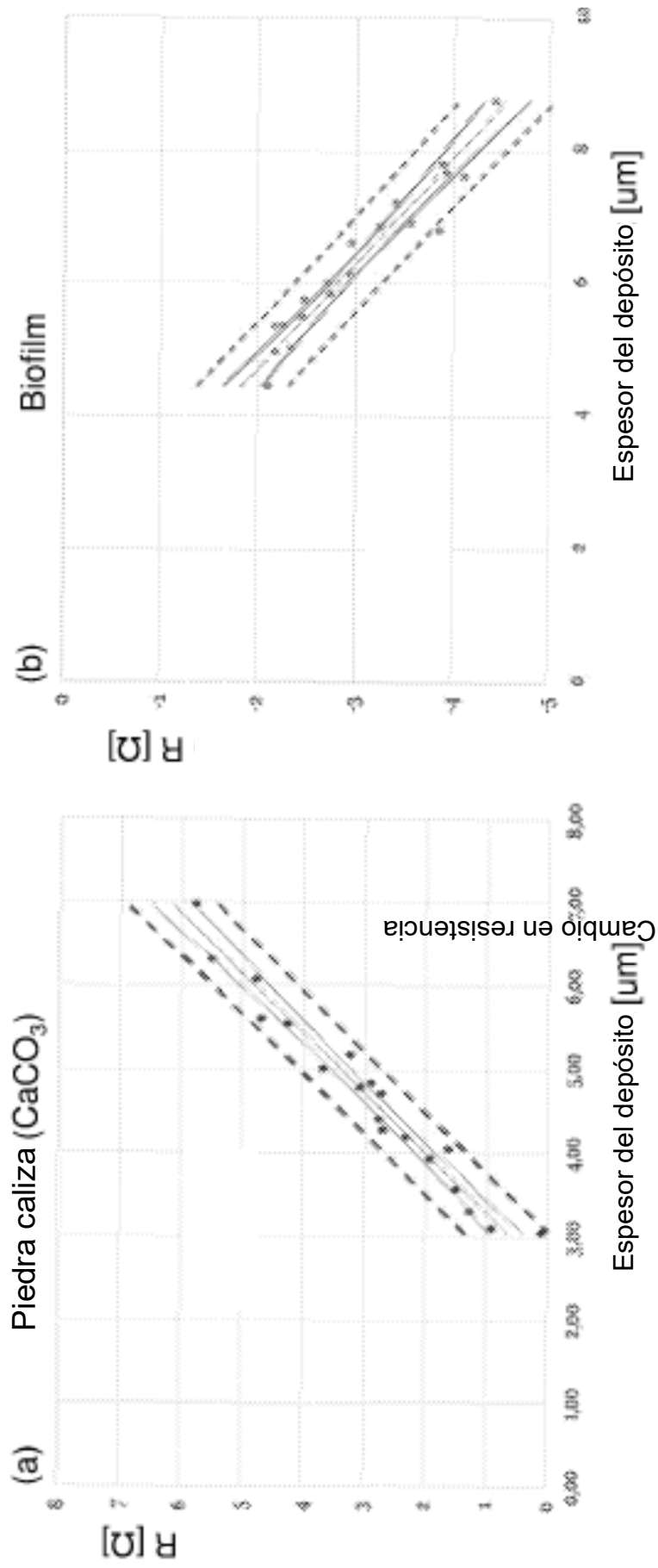


FIG. 4a

FIG. 4b

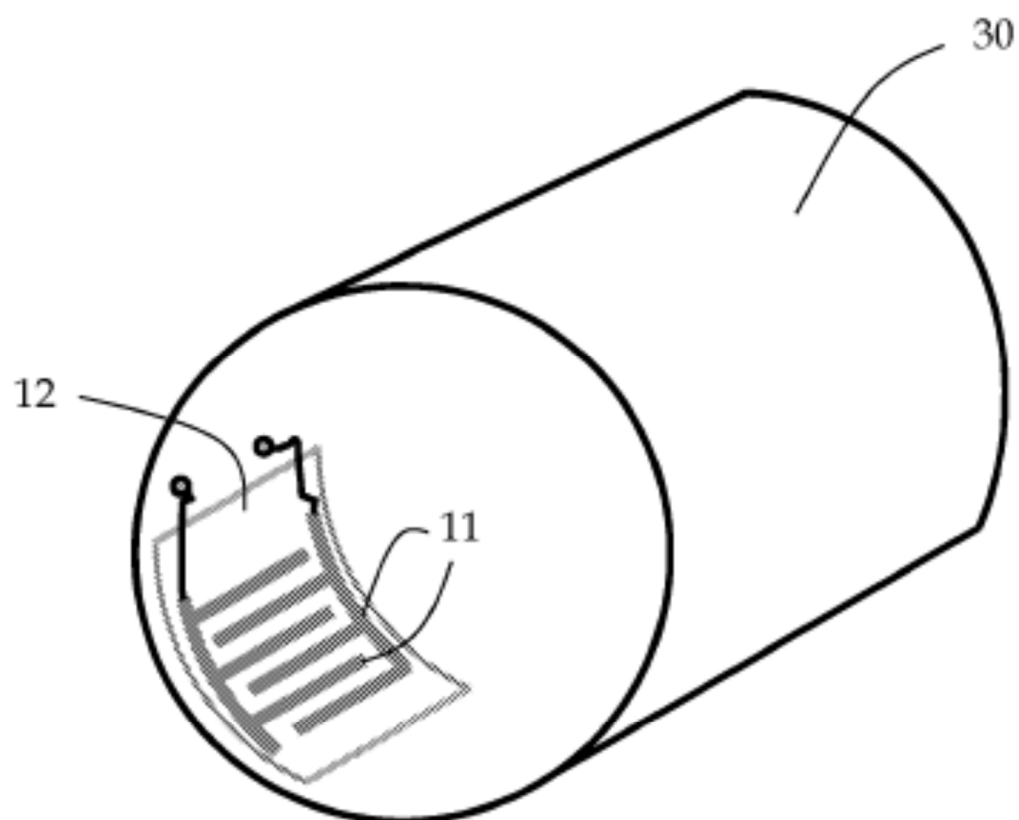


FIG. 5

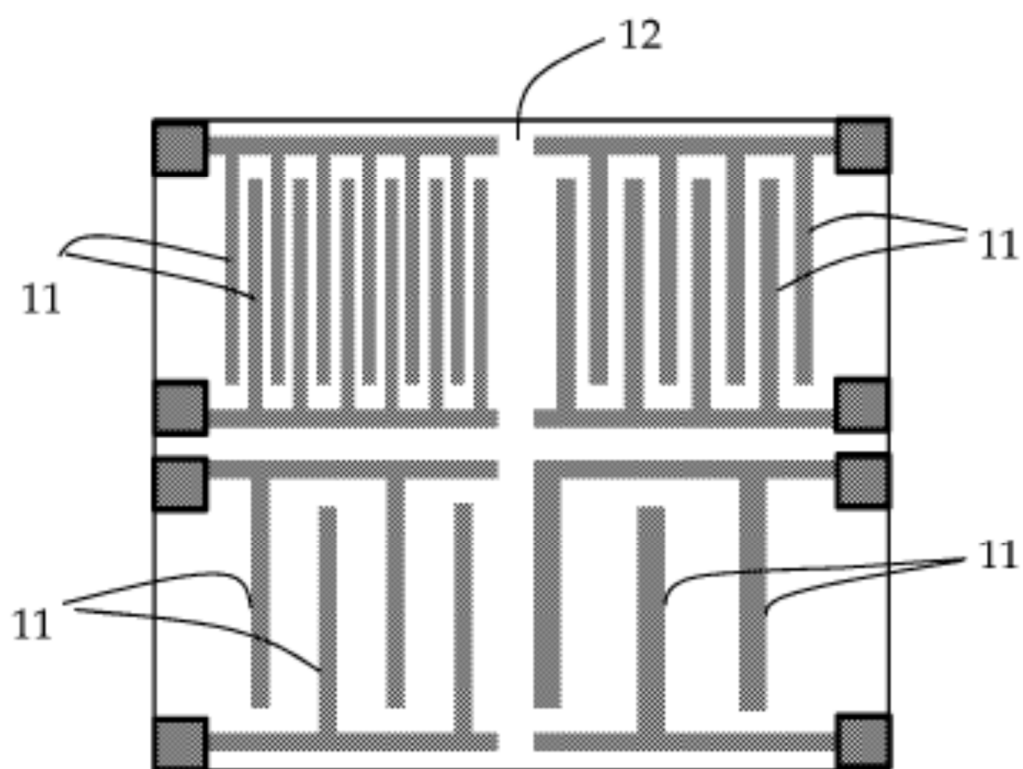


FIG. 6

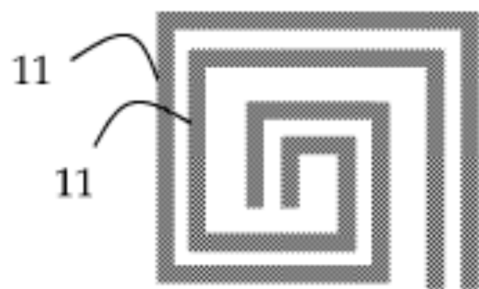


FIG. 7

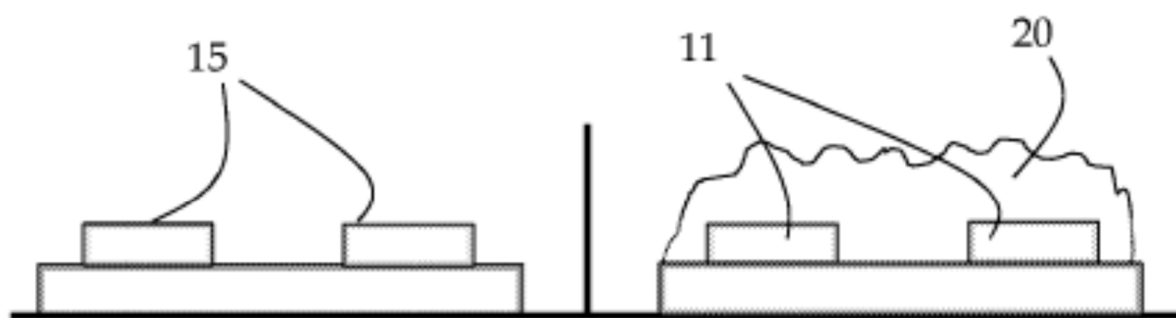


FIG. 8

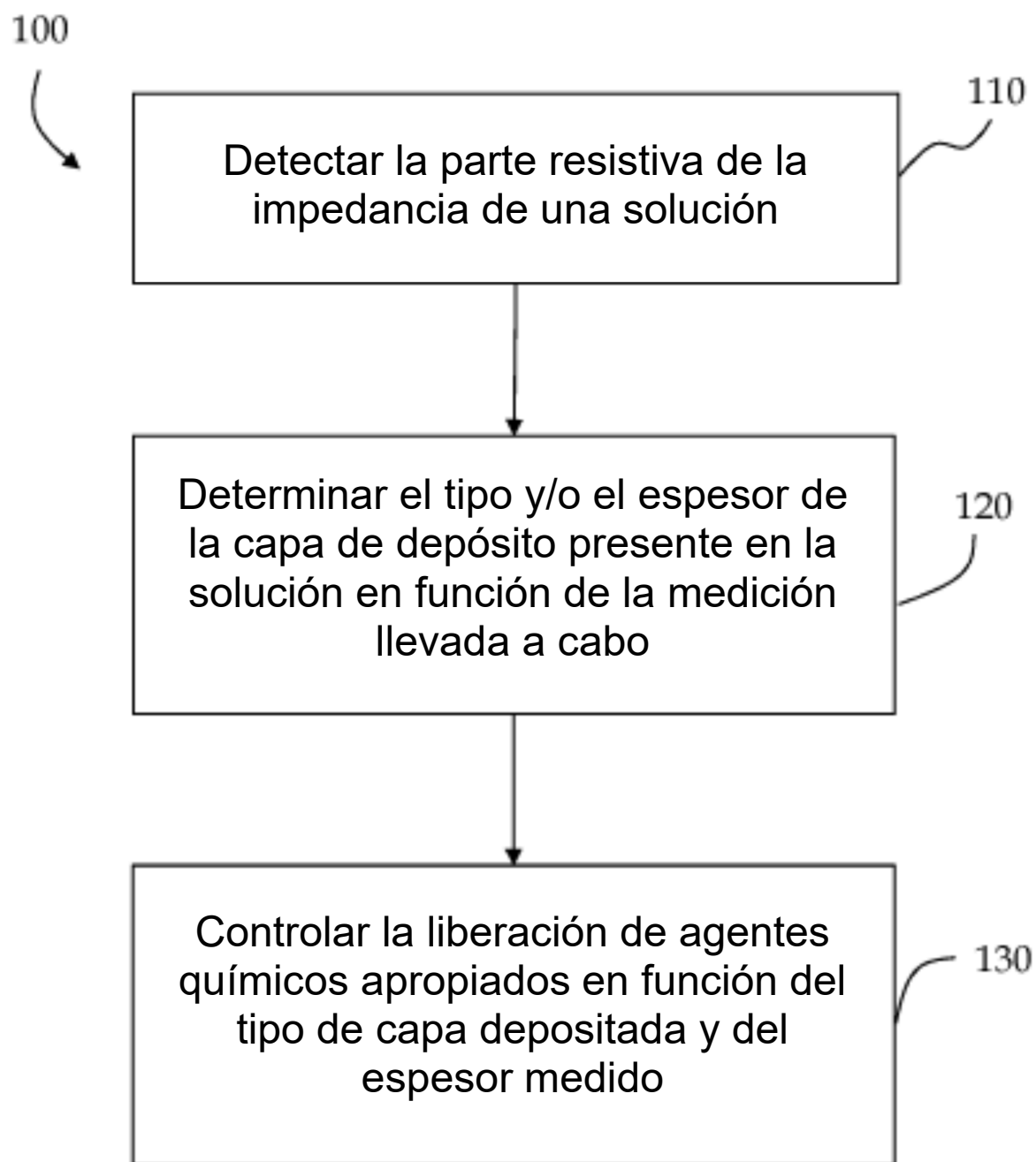


FIG. 9