(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 683 618**

(51) Int. Cl.:

G01N 33/38 (2006.01)
G01N 17/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2015** **E 15306128 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018** **EP 3115781**

(54) Título: **Sistema para evaluar la concentración de cloruro y el correspondiente método y sensor**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2018

(73) Titular/es:

UNIVERSITE DE NANTES (33.3%)
1, quai de Tourville,
44000 Nantes, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (33.3%) y
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (33.3%)

(72) Inventor/es:

TORRES LUQUE, MAGDA MARCELA;
OSMA CRUZ, JOHANN FACCELO;
SANCHEZ SILVA, MAURICIO;
BASTIDAS ARTEAGA, EMILIO y
SCHOEFS, FRANCK

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 683 618 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema para evaluar la concentración de cloruro y el correspondiente método y sensor

1. Campo técnico

La presente invención se refiere en general al campo de la durabilidad del material y más específicamente a la evaluación de la concentración de cloruro en materiales porosos y compuestos, tales como hormigón armado, hormigón pretensado o estructuras mixtas de acero y hormigón. La invención se refiere más particularmente a un sistema y a un método para evaluar la concentración de cloruro en un área predeterminada de un material poroso o compuesto y a un sensor usado en este sistema y método.

2. Antecedentes de la técnica

La penetración de cloruro es uno de los principales factores del deterioro del hormigón armado (HA) que afecta a la capacidad de servicio estructural y la seguridad. Los iones cloruro son aceleradores de los procesos de corrosión en las superficies de las barras de refuerzo, lo que reduce la vida útil de las estructuras. En otros materiales, la detección de cloruros es un indicador de la impermeabilidad contra el agua de mar o la durabilidad del material.

La corrosión inducida por cloruros comienza cuando la concentración de cloruro en las barras de acero alcanza un valor umbral que destruye una delgada capa pasiva de productos de corrosión (causada por la alta alcalinidad del hormigón al final de la construcción), que protege las barras de acero contra la corrosión. Después del inicio de la corrosión, hay un deterioro prematuro causado por varios mecanismos: pérdida de la sección de refuerzo, pérdida de la unión acero-hormigón, agrietamiento y deslaminación del hormigón armado. Después de que comienza la corrosión del acero, las propiedades físicas y mecánicas del HA disminuyen a un ritmo que depende de las condiciones ambientales. Este proceso de deterioro genera mayores costos de reparación y mantenimiento con un impacto severo en la durabilidad y el rendimiento del ciclo de vida.

La medición del contenido de cloruro en la cubierta de hormigón podría usarse para estimar el riesgo de inicio de la corrosión y, por lo tanto, para optimizar los costos de reparación y mantenimiento.

El fenómeno de penetración de los iones cloruro en el hormigón es muy complejo ya que depende de muchos parámetros, especialmente de la composición del hormigón, su estado de agrietamiento y el clima al que está expuesto.

En los últimos 30 años, se han desarrollado diferentes técnicas para medir el cloruro, algunas de ellas destructivas e invasivas, otras no destructivas. Algunas de ellas incluso pueden usarse *in situ*. Estas últimas son técnicas deseables para el mantenimiento y la predicción de la durabilidad de las estructuras de HA.

Las técnicas más populares son los métodos potenciométricos y de Volhard. Estas miden cloruros libres y totales en núcleos de hormigón extraídos de las estructuras en servicio. Sin embargo, estas técnicas son en su mayoría semi-destructivas, lentas y costosas. Además, su naturaleza destructiva genera costos indirectos adicionales, como la demora en el tránsito, la gestión del tráfico, el cierre de carreteras y la pérdida de productividad, lo que aumenta aún más los costos. Además, la naturaleza destructiva hace imposible una medida de la evolución en el mismo lugar o en el sitio o en la misma muestra en el laboratorio.

También existen técnicas no destructivas (TND). Estas implican métodos que no cambian el entorno y la utilidad futura del material donde se toma la medida. Estas técnicas funcionan, por ejemplo, con equipos externos o integrados. Los métodos generales más estudiados y desarrollados podrían clasificarse en tres tipos:

(i) electrodos selectivos de iones (ISE),

(ii) resistividad eléctrica (ER), y

(iii) sensor de fibra óptica (OFS).

Estos tres tipos de TND se revisan en “Non-destructive methods for measuring chloride ingress into concrete: Sate-of-the-art and future challenges”, M.Torres-Luque, E. Bastidas-Arteaga, F.Schoefs, M.Sanchez-Silva, J.F.Osma, Construction and Building Material, Volumen 68, págs. 68-81, 2014

Las técnicas ISE, ER y OFS han mostrado algunas ventajas: la técnica ISE muestra una buena estabilidad química en entornos agresivos, la técnica ER es sensible a la presencia de cloruro y la técnica OFS muestra una mejor sensibilidad a los cloruros que los demás. Sin embargo, hay algunos problemas que aún no se han resuelto. Por ejemplo, la mayoría de estos métodos son muy sensibles a los cambios en las condiciones dentro de la estructura de hormigón (por ejemplo, cambios de temperatura, humedad relativa, pH) y algunos de ellos requieren un proceso de calibración cuidadoso.

Más específicamente, la técnica ISE es muy sensible a la posición de los electrodos y a la alcalinidad y la temperatura. Además, la durabilidad del electrodo de referencia no se adapta a la vida útil de la estructura de hormigón. La técnica ER es muy sensible al contenido de agua del hormigón, la presencia de barras de acero, la carbonatación y la presencia de campos electromagnéticos. Finalmente, la técnica OFS está teóricamente adaptada para medir valores bajos y se ve menos afectada por factores ambientales, pero la fibra óptica es frágil y necesita una cubierta adicional para aislarse del hormigón que es un medio corrosivo.

3. Sumario de la invención

Por lo tanto, existe la necesidad de un método de medición que no sea destructivo y que alivie al menos parcialmente los inconvenientes de las técnicas de la técnica anterior y de las TND.

Según la invención, se propone utilizar un nuevo tipo de sensor incrustado en el material poroso o compuesto (por ejemplo, la estructura de hormigón armado), este sensor comprende una capa de aluminato de calcio adaptada para recoger, detectar y medir los iones cloruro libres procedentes del material poroso o compuesto. La recogida de iones cloruro libres por la capa mencionada anteriormente provoca cambios en las propiedades eléctricas de la capa, especialmente la impedancia y la permitividad relativa de la capa. Por lo tanto, la concentración de cloruro del material poroso o compuesto en la proximidad del sensor puede evaluarse basándose en la impedancia y los cambios relativos de permitividad de la capa del sensor. Este sensor está incrustado en un sistema configurado para medir estos cambios de impedancia y de permitividad relativa de la capa y para calcular basándose en estos cambios una evaluación de la concentración de cloruro del material poroso o compuesto en las proximidades del sensor.

Más específicamente, la invención se refiere a un sistema para evaluar la concentración de cloruro en un área predeterminada de un material poroso o compuesto tal como una estructura de hormigón armado, que comprende

- un sensor incrustado en el área predeterminada,
- un analizador conectado al sensor, y
- un módulo de procesamiento conectado al analizador,

en el que el sensor comprende dos electrodos enfrentados o coplanares, llamados electrodos, una capa intermedia dispuesta entre dichos electrodos, estando dicha capa intermedia en contacto con el material de la primera área y que comprende aluminatos de calcio,
en el que el analizador está configurado para aplicar una corriente alterna entre los electrodos y dar un valor de impedancia o valor de capacitancia de la capa intermedia, y
en el que el módulo de procesamiento está configurado para calcular una evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada en función del valor de la impedancia o del valor de capacitancia dados por el analizador.

En una primera realización, los electrodos son electrodos enfrentados y el analizador está configurado para dar un valor de capacitancia. Para calcular la evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada, el módulo de procesamiento está configurado para calcular un valor de permitividad relativa de la capa intermedia entre los electrodos a partir del valor de capacitancia dado por el analizador y para calcular la evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada basándose en el valor de la permitividad relativa calculada.

En esta realización, la frecuencia de la corriente alterna está comprendida preferiblemente entre [100 Hz, 5 MHz].

En una segunda realización, el analizador está configurado para medir un valor de impedancia entre los electrodos coplanares, aplicando una corriente alterna entre estos electrodos y el módulo de procesamiento está configurado para calcular la evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada en función del valor de impedancia medido.

En esta realización, los electrodos son preferiblemente electrodos coplanares. Además, la frecuencia de la corriente alterna está comprendida en el intervalo de frecuencia [100 Hz, 100 kHz] y preferiblemente en uno de los siguientes grupos de intervalos de frecuencia: [16 kHz, 37,5 kHz]; [52 kHz, 65 kHz]; [81 kHz, 99 kHz].

La invención también se refiere a un método para evaluar la concentración de cloruro en un área predeterminada de un material poroso o compuesto tal como una estructura de hormigón armado, usando un sensor incrustado en el área predeterminada, comprendiendo dicho sensor dos electrodos planos enfrentados o coplanares, llamados electrodos, una capa intermedia dispuesta entre dichos dos primeros electrodos, estando dicha capa intermedia en contacto con el material del área predeterminada y que comprende aluminatos de calcio, comprendiendo dicho método las etapas de:

- medir un valor de capacitancia o un valor de impedancia de la capa intermedia aplicando una corriente alterna entre los electrodos; y

- calcular una evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada en función del valor de impedancia o el valor de capacitancia medido.

En una primera realización, los electrodos son electrodos enfrentados y el valor medido es un valor de capacitancia de la capa intermedia entre estos electrodos enfrentados, y la evaluación de la concentración de cloruro se calcula:

- calculando un valor de permitividad relativa de la capa intermedia entre los electrodos, y
- calculando la evaluación de la concentración de cloruro en el área predeterminada en función del valor de la permitividad relativa calculada.

En esta realización, la frecuencia de la corriente alterna está comprendida preferiblemente entre [100 Hz, 5 MHz].

En una segunda realización, el valor medido es un valor de impedancia de la capa intermedia entre los electrodos, y la evaluación de la concentración de cloruro se calcula en función del valor de impedancia medido.

En esta realización, los electrodos son preferiblemente electrodos coplanares. Además, la frecuencia de la corriente alterna está comprendida en el intervalo de frecuencia [100 Hz, 100 kHz] y preferiblemente en uno de los siguientes grupos de intervalos de frecuencia: [16 kHz, 37,5 kHz]; [52 kHz, 65 kHz]; [81 kHz, 99 kHz].

Por último, la invención también se refiere a un sensor de cloruro que está incrustado en un área predeterminada de un material poroso o compuesto tal como una estructura de hormigón armado, que comprende:

- una carcasa,
- al menos dos electrodos planos enfrentados o coplanares, llamados electrodos, dentro de la carcasa,
- una capa intermedia dispuesta entre los electrodos dentro de la carcasa, estando dicha capa intermedia en contacto, a través de al menos un orificio en la carcasa, con el material de la zona predeterminada y que comprende aluminatos de calcio, y
- conectores pin conectados a los electrodos a través de líneas conductivas y dispuestos para conectar los primeros electrodos a un dispositivo externo.

En una realización particular, el sensor comprende una pluralidad de pares de electrodos desplazados uno con respecto al otro a lo largo de un eje del sensor y conectados a una pluralidad de conectores de clavija, estando dispuesta una capa intermedia entre los electrodos de cada par de electrodos y al menos un orificio está dispuesto en la carcasa en la proximidad de cada par de electrodos y que se abre en la capa intermedia.

En una realización particular, los aluminatos de calcio se seleccionan entre CA (=$CaO.Al_2O_3$), C_3A (=3 (CaO). Al_2O_3) y $C_{12}A_7$ (= 12 (CaO) .7 ($Al2O_3$)).

En una realización particular, el material de la carcasa es fibra de vidrio o baquelita o cerámica o teflón.

4. Breve descripción de los dibujos

La invención puede entenderse mejor con referencia a la siguiente descripción y dibujos, dados a modo de ejemplo y sin limitar el alcance de la protección, y en los que:

- La figura 1 es una vista en perspectiva de una realización de un sensor de cloruro según la invención.

- La figura 2 es una vista en perspectiva parcial del sensor de la figura 1;

- La figura 3 es una vista en despiece del sensor de la figura 1;

- La figura 4 es una vista en sección transversal vertical a lo largo del eje IV-IV de la figura 1;

- La figura 5 es una vista ampliada de un detalle A de la figura 2;

- La figura 6 es una vista esquemática de un sistema de acuerdo con la invención;

- La figura 7 es un diagrama de flujo de las etapas sucesivas del primer método según la invención.

- La figura 8 muestra curvas que ilustran, para diferentes frecuencias, la permitividad relativa de una capa CA frente al tiempo cuando se añaden soluciones de NaCl 0,7 M a la capa CA a tiempos regulares;

- La figura 9 muestra curvas que ilustran, para diferentes concentraciones de soluciones de NaCl, la permitividad relativa de una capa CA frente al tiempo;

- La figura 10 muestra curvas que ilustran la permitividad relativa de una capa CA para diferentes concentraciones de soluciones de NaCl y diferentes tiempos;

- La figura 11 muestra curvas que ilustran la permitividad relativa de una capa CA frente a la concentración de cloruro;

- La figura 12 es un diagrama de flujo de las etapas sucesivas del segundo método según la invención.

- Las figuras 13 y 14 muestran curvas que ilustran la magnitud de la impedancia y el ángulo de fase frente al tiempo de la capa CA expuesta a 0,50 % en peso de Cl^-/peso de la solución total entre dos electrodos coplanares;

- Las figuras 15 y 16 muestran curvas que ilustran respectivamente la magnitud de la impedancia |Z| y el ángulo de fase frente al tiempo de la capa CA expuesta a 0,50 % en peso de Cl^-/peso de la solución total entre los electrodos de un primer par de electrodos enfrentados;

- Las figuras 17 y 18 muestran curvas que ilustran respectivamente la magnitud de la impedancia |Z| y el ángulo de fase frente al tiempo de la capa CA expuesta a 0,50 % en peso de Cl^-/peso de la solución total entre los electrodos de un segundo par de electrodos enfrentados;

- La figura 19 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia ΔZ entre capas de CA secas y CA expuestas a diferentes soluciones de NaCl, medida entre dos electrodos coplanares, frente a la frecuencia;

- La figura 20 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [16 kHz; 37,5 kHz] en dos momentos diferentes t1 y t13;

- La figura 21 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia promedio en el tiempo ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencias [16 kHz; 37,5 kHz];

- La figura 22 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [52 kHz; 65 kHz] en dos momentos diferentes t1 y t13;

- La figura 23 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia promedio en el tiempo ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [52 kHz; 65 kHz];

- La figura 24 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [81 kHz; 99 kHz] en dos momentos diferentes t1 y t13; y

- La figura 25 muestra curvas que ilustran la diferencia de impedancia media en el tiempo ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [81 kHz; 99 kHz].

5. Descripción de las realizaciones

La invención se describirá a continuación para una estructura de hormigón, tal como un acero-hormigón armado, pretensado o mixto. Por supuesto, la invención se puede aplicar a otros materiales porosos o compuestos.

Aunque los ejemplos de realizaciones ejemplares son capaces de diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones de las mismas se muestran a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en la presente memoria en detalle. Sin embargo, debe entenderse que no hay intención de limitar los ejemplos de realizaciones a las formas particulares divulgadas, sino que, por el contrario, los ejemplos de realizaciones deben cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que entren dentro del alcance de las reivindicaciones. Los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción de las figuras.

Antes de describir realizaciones de ejemplo con más detalle, se observa que algunos ejemplos de realizaciones se describen como procesos o métodos representados como diagramas de flujo. Aunque los diagramas de flujo describen las operaciones como procesos secuenciales, muchas de las operaciones pueden realizarse en paralelo, concurrentemente o simultáneamente. Además, el orden de las operaciones puede ser reorganizado. Los procesos pueden finalizar cuando se completan sus operaciones, pero también pueden tener etapas adicionales no incluidas en las figuras. Los procesos pueden corresponder a métodos, funciones, procedimientos, subrutinas, subprogramas, etc.

Los métodos que se describen a continuación, algunos de los cuales se ilustran mediante diagramas de flujo, pueden implementarse mediante hardware, software, firmware, middleware, microcódigo, idiomas de descripción de hardware o cualquier combinación de los mismos. Cuando se implementa en software, firmware, middleware o microcódigo, el código del programa o segmentos de código para realizar las tareas necesarias pueden almacenarse

en una máquina o en un medio legible por ordenador, como un medio de almacenamiento. Un procesador(es) puede realizar las tareas necesarias. Los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en la presente memoria son meramente representativos a los efectos de describir realizaciones de ejemplo de la presente invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse en muchas formas alternativas y no debe interpretarse como limitada solo a las realizaciones expuestas en la presente memoria.

La terminología utilizada en la presente memoria tiene el propósito de describir realizaciones particulares solamente y no pretende limitar los ejemplos de realizaciones. Como se usa en la presente memoria, las formas singulares “un”, “una” y “el” pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos “comprende”, “que comprende”, “incluye” y/o “que incluye”, cuando se usan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos. Del mismo modo, debe tenerse en cuenta que el término “acoplado” no se debe interpretar como restringido solo a las conexiones directas.

Por lo tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo A acoplado a un dispositivo B” no debería estar limitado a dispositivos o sistemas en los que una salida del dispositivo A esté directamente conectada a una entrada del dispositivo B. Esto significa que existe una ruta entre un dispositivo salida del dispositivo A y una entrada del dispositivo B que puede ser una ruta que incluye otros dispositivos o medios. A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluidos los términos técnicos y científicos) usados en la presente memoria tienen el mismo significado que entiende habitualmente un experto habitual en la técnica a la que pertenecen las realizaciones de ejemplo. Se entenderá además que los términos, por ejemplo, los definidos en los diccionarios de uso común, deben interpretarse como que tienen un significado que es coherente con su significado en el contexto de la técnica pertinente y no se interpretarán en un sentido idealizado o excesivamente formal a menos que expresamente así se defina en la presente memoria.

De acuerdo con la invención, se propone un nuevo sensor incrustado que comprende una capa específica que reacciona con iones cloruro libres procedentes de la estructura del hormigón, provocando esta reacción modificaciones en las propiedades eléctricas (impedancia, conductividad y permitividad relativa) de la capa. La cantidad de cloruro que entra en el sensor se puede, por lo tanto, estimar a través de los cambios de las propiedades eléctricas. De acuerdo con la invención, la capa específica incluye aluminato de calcio.

Las figuras 1 a 5 ilustran una realización del sensor de acuerdo con la invención.

El Sensor de cloruro 1 comprende una carcasa 10 constituida por tres partes 10a, 10b y 10c. Dado que el sensor se considera incrustado en el hormigón, debe ser capaz de hacer frente al entorno dentro del hormigón (temperatura, humedad, fuerzas internas residuales del hormigón). Se requieren materiales fuertes que puedan soportar las condiciones ambientales para la carcasa. En una realización preferida, la carcasa 10 tiene una matriz de fibra de vidrio que, en general, muestra buenas propiedades físicas y químicas. Se pueden usar otros materiales como baquelita o teflón.

Más específicamente, la carcasa 10 comprende una parte inferior 10a, una parte intermedia 10b y una parte superior 10c. Las partes inferior y superior 10a y 10c son placas de circuito impreso (PCB). Los electrodos conductivos 11, en material de cobre u oro, están impresos en la superficie inferior de la parte superior 10c y en la superficie superior de la parte inferior 10a. Los orificios 12 están practicados en la parte intermedia 10b y están rellenos con un polvo de aluminato de calcio que forma una capa de aluminato de calcio 13. En esta realización, la forma de los electrodos 11 y los orificios 12 es rectangular.

Los electrodos 11 y los orificios 12 están posicionados uno con respecto al otro de manera que, cuando las tres partes se ensamblan juntas, cada electrodo 11 de la parte superior 10c se enfrenta a un electrodo 11 de la parte inferior 10b, estando colocada la capa de aluminato de calcio de un orificio 12 entre los dos electrodos.

En la realización ilustrada por las figuras 1 a 5, el sensor comprende ocho pares de electrodos enfrentados 11 y cuatro orificios rellenos de una capa de aluminato cálcico. Los ocho pares de electrodos enfrentados se distribuyen en cuatro filas de dos pares de electrodos enfrentados y dos columnas de cuatro pares de electrodos enfrentados, un orificio 12 (formando una cámara) rellena de una capa de aluminato de calcio que se asocia a cada fila de pares de electrodos enfrentados.

En estas figuras, dos pares de electrodos enfrentados 11 están asociados al mismo orificio 12 (o cámara) de manera que una misma capa de aluminato de calcio 13, denominada capa intermedia, está presente entre los electrodos de estos dos pares de electrodos.

Los orificios 14 están practicados en la parte superior 10c y/o la parte inferior 10a de manera que, cuando el sensor está incrustado en la estructura de hormigón, la capa intermedia 13 está en contacto con el hormigón a través de los orificios 14. En la realización ilustrada, un orificio 14 en la parte superior 10c y un orificio 14 en la parte inferior 10a están practicados para cada fila de electrodos enfrentados y se abren en un orificio 12 de la parte intermedia. En

cada parte 10a o 10c, los orificios 14 están desplazados horizontalmente uno con respecto a otro para estar en contacto con áreas escalonadas del hormigón. Cada orificio 14 está centrado entre los electrodos coplanares 11. Además, cada electrodo 11 de la parte superior y la parte inferior está conectado a un conector 15 de clavija a través de una línea conductora 16. Se considera que estos conectadores de clavija conectan los electrodos 11 a dispositivos externos.

Como se mencionó anteriormente, cada orificio 12 se llena con un polvo que comprende aluminatos de calcio. El polvo es, por ejemplo, un polvo que incluye aluminatos monocálcicos CA (= $CaO.Al_2O_3$) o aluminatos tricálcicos C_3A (= 3 (CaO) .Al_2O_3) o $C_{12}A_7$ o un polvo que incluye una mezcla de aluminatos de calcio.

La figura 5 es una vista que ilustra el tamaño de diferentes elementos del sensor que se probarán más adelante en la presente descripción. El tamaño del orificio 12 rectangular en la parte intermedia es *c*d* y el tamaño de los electrodos rectangulares es *a*b*. Solo una parte *a*b* del electrodo 11a está expuesto a la capa intermedia presente en el orificio 12. El orificio 14 es circular y su diámetro es de 6 Angströms (10^{-10} m). Este diámetro es mayor que el diámetro de una molécula de agua (unos pocos Angströms), el diámetro de los iones cloruro (unos pocos Angströms) y el diámetro de los poros del hormigón (aproximadamente 1000 Angströms). Por lo tanto, las moléculas de agua y los iones cloruro pueden ir dentro del sensor o alcanzar la capa intermedia a través del orificio 14.

Como se puede ver en la figura 6, este sensor 1 está destinado a ser incrustado en una estructura de hormigón armado HA que comprende una barra de acero BA. El sensor 1 está incrustado verticalmente en la estructura DE HA, perpendicularmente a la pared externa de la estructura de HA, para medir las concentraciones cloruro a diferentes profundidades en la estructura de HA. En una variante, puede colocarse horizontalmente para medir el contenido de cloruro en una profundidad específica.

Estas medidas se llevan a cabo conectando el sensor 1 a un analizador 2 a través de las líneas de conexión 3. El analizador 2 está conectado a un módulo de procesamiento 4.

En una primera realización de la invención, la evaluación de la concentración de cloruro se calcula basándose en la capacitancia de la capa intermedia entre dos electrodos enfrentados. En esta realización, el analizador 2 es un analizador de capacitancia.

En una segunda realización de la invención, la evaluación de la concentración de cloruro se calcula en función del valor de impedancia de la capa intermedia entre dos electrodos enfrentados o coplanares. En esta segunda realización, el analizador 2 es un analizador de impedancia.

Estas dos realizaciones se describirán con más detalle a continuación.

<u>Primera realización</u>

En esta realización, el método para evaluar la concentración de cloruro usando el sensor descrito anteriormente se detalla en el diagrama de flujo de la figura 7.

En una primera etapa, S1, se mide el valor de capacitancia C entre cada par de electrodos enfrentados 11 del sensor 1. El valor de la capacitancia se mide aplicando una corriente alterna entre los electrodos. Este valor de capacitancia es medido por el analizador 2.

En una segunda etapa, S2, un valor de permitividad relativa ε_r se calcula a partir del valor de capacitancia C con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot C \cdot \frac{d}{S} \qquad (1)$$

en la que:

- ε_0 es la permitividad al vacío (ε_0=8,85×10^{-12} F/m);
- d es la distancia entre los dos electrodos, y
- S es el área de los electrodos expuestos a la capa de aluminato de calcio (S = a'*b).

Este valor relativo de permitividad ε_r es calculado por el analizador 2 y/o el módulo de procesamiento 4.

En una tercera etapa, S3, la evaluación de la concentración de cloruro se calcula mediante el módulo de procesamiento 4 en función del valor de la permitividad relativa ε_r.

En esta realización, el analizador 2 es, por ejemplo, el analizador Agilent 4294A acoplado a la fijación de texto dieléctrico 16451B. Para este dispositivo específico, la capacitancia se puede medir directamente, aplicando una corriente alterna en el intervalo de frecuencia de 100 Hz – 5 MHz, con una tensión máxima de 0,5V.

Este método se ha experimentado usando un sensor como se ilustra en las figuras 1 a 5. El área S de los electrodos expuestos a la capa intermedia 13 es de 1,13 x 10^{-3} m^2. Los experimentos se realizan a una temperatura de 19 °C ± 1 °C. La capa intermedia 13 se obtiene poniendo 6,6 g de polvo de aluminato monocálcico (CA) en cada orificio (cámara) 12 y apisonando con un apisonador durante 120 segundos hasta que alcanza un grosor entre 1,84 x 10^{-3} m y 2,27 x 10^{-3} m.

Se usaron soluciones de agua desionizada (0M) y tres soluciones de NaCl con tres concentraciones diferentes de NaCl para probar el comportamiento dieléctrico de la capa de aluminato monocálcico (capa CA): 0,5 M, 0,7 M y 1,0 M.

La Tabla 1 enumera el nombre y las características de cada prueba.

Tabla 1

Nombre de la muestra	Concentración de NaCl (M – molar)	Concentración de NaCl (% en peso de Cl^-/peso de la solución total)
CA	0 (Seca)	0
CAH	0 (Hidratada)	0
CAC10,5	0,5	0,0257
CAC10,7	0,7	0,0357
CAC11	1,0	0,0486

Además, las mediciones se realizaron 1 minuto después de añadir 1 ml (mililitro) de solución de NaCl al CA y cada 10 minutos durante 1 hora para determinar la dependencia del tiempo. Cada experimento se realizó por triplicado. Las soluciones de NaCl se introdujeron en el sensor por los orificios 14.

La figura 8 muestra diagramas que representan la permitividad relativa calculada frente al tiempo de una capa CA cuando se añade 1 ml de solución de NaCl 0,7 M cada 10 minutos y para diferentes frecuencias de corriente alterna. Al principio, la capa CA está seca.

Todos estos diagramas muestran la misma tendencia. En los primeros 10 minutos de cada experimento, la permitividad relativa alcanza un valor constante y permanece aproximadamente en este valor hasta el final del período de medición. Estos diagramas sugieren que la permitividad relativa no depende ni del tiempo ni de la frecuencia en este intervalo de frecuencia.

La figura 9 muestra el cambio en la permitividad relativa a medida que aumenta la concentración de la solución de cloruro. El efecto de las soluciones cloruro es aumentar la permitividad relativa medida. Esto significa que la capacitancia entre los electrodos surge debido a la entrada de iones Cl y Na que causaron una polarización iónica dentro del material.

Las figuras 10 y 11 muestran que la permitividad relativa ε_r de la capa CA es proporcional a su concentración de cloruro a través de la siguiente relación:

$$\varepsilon_r = 2,438 + 1,391X \qquad (1)$$

en la que ε_r es la permitividad relativa y X es la concentración de cloruro molar.

Más específicamente, la figura 10 muestra el efecto del contenido de cloruro sobre la permitividad relativa medida para la capa CA seca y para la capa CA expuesta a soluciones de NaCl 0 M, 0,5 M, 0,7 M y 1 M y la figura 11 muestra la correlación entre la concentración de cloruro y la permitividad relativa.

Esto significa que la polarización iónica de NaCl y la polarización molecular de H_2O conduce a valores más altos de la constante dieléctrica que permite aumentar la carga almacenada en la capa CA. Además, la penetración iónica en el material hace que disminuya la resistividad eléctrica y, por supuesto, aumenta la conductividad.

Segunda realización

En esta realización, el método para evaluar la concentración de cloruro usando el sensor descrito anteriormente se detalla en el diagrama de flujo de la figura 12.

En una primera etapa, S'1, se mide un valor de impedancia entre cada par de electrodos enfrentados o coplanares 11 del sensor 1. El valor de la impedancia se mide aplicando una corriente alterna entre los dos electrodos. Este valor de impedancia es medido por el analizador 2.

En una segunda etapa, S'2, la evaluación de la concentración de cloruro se calcula mediante el módulo de procesamiento 4 en función del valor de impedancia medido.

En esta realización, el analizador 2 es, por ejemplo, el analizador Agilent 4294A acoplado al clip Kelvin 16089A. Este instrumento funciona en el intervalo de frecuencia de 100 Hz - 100 kHz, a una tensión de 0,5V. Esta reducción en la frecuencia es posible debido al estado estable que CA mostró en la figura 8.

Este método se ha experimentado usando el mismo sensor que para la primera realización.

Durante los experimentos, se midieron los valores de impedancia entre los electrodos enfrentados y los electrodos coplanares de dos pares adyacentes de electrodos enfrentados 11 en contacto con la capa CA en un mismo orificio 12, esto implica 4 mediciones:

- 1 medición entre los electrodos del primer par de electrodos enfrentados 11;
- 1 medición entre los electrodos del segundo par de electrodos enfrentados 11;
- 1 medición entre los electrodos del primer par de electrodos coplanares 11; y
- 1 medición entre los electrodos del segundo par de electrodos coplanares 11.

Para ambos pares de mediciones, la impedancia muestra un comportamiento inverso a la concentración de cloruro, es decir, el valor de impedancia disminuye a medida que aumenta la concentración de cloruro.

La Tabla 2 enumera los experimentos para el proceso de calibración, y la Tabla 3 muestra la aleatorización de esos experimentos. La concentración de soluciones varía entre 0 % y 6 % en peso de Cl^-/peso de la solución total, y uno de los sensores se vació (NCA) para demostrar la idoneidad del diseño. Las soluciones se aplicaron directamente a los orificios 14 utilizando tubos de caucho y jeringas, y se midieron dos condensadores paralelos (entre electrodos enfrentados) y solo un condensador coplanar (entre electrodos coplanares) en cada cámara (orificio 12 lleno con la capa CA) debido al tiempo de medición (20 segundos aprox.). Los principales objetivos de este diseño son determinar la linealidad, la respuesta temporal y la sensibilidad. Cada solución que se muestra en la Tabla 3 se realizó 4 veces. En total, usamos 22 dispositivos, 4 repeticiones y 13 mediciones a lo largo del tiempo. Además, al comienzo de los experimentos tomamos la impedancia de la CA seca.

Tabla 2. Diseño del experimento para la calibración

	t (min)	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50	60	90
[Cl-] (%)		t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13
NCA	C0													
0,00	C1	C1t1	C1t2	C1t3	C1t4	C1t5	C1t6	C1t7	C1t8	C1t9	C1t10	C1t11	C1t12	C1t13
0,01	C2	C2t1	C2t2	C2t3	C2t4	C2t5	C2t6	C2t7	C2t8	C2t9	C2t10	C2t11	C2t12	C2t13
0,02	C3	C3t1	C3t2	C3t3	C3t4	C3t5	C3t6	C3t7	C3t8	C3t9	C3t10	C3t11	C3t12	C3t13
0,03	C4	C4t1	C4t2	C4t3	C4t4	C4t5	C4t6	C4t7	C4t8	C4t9	C4t10	C4t11	C4t12	C4t13
0,04	C5	C5t1	C5t2	C5t3	C5t4	C5t5	C5t6	C5t7	C5t8	C5t9	C5t10	C5t11	C5t12	C5t13
0,05	C6	C6t1	C6t2	C6t3	C6t4	C6t5	C6t6	C6t7	C6t8	C6t9	C6t10	C6t11	C6t12	C6t13
0,06	C7	C7t1	C7t2	C7t3	C7t4	C7t5	C7t6	C7t7	C7t8	C7t9	C7t10	C7t11	C7t12	C7t13
0,07	C8	C8t1	C8t2	C8t3	C8t4	C8t5	C8t6	C8t7	C8t8	C8t9	C8t10	C8t11	C8t12	C8t13
0,08	C9	C9t1	C9t2	C9t3	C9t4	C9t5	C9t6	C9t7	C9t8	C9t9	C9t10	C9t11	C9t12	C9t13
0,09	C10	C10t1	C10t2	C10t3	C10t4	C10t5	C10t6	C10t7	C10t8	C10t9	C10t10	C10t11	C10t12	C10t13
0,10	C11	C11t1	C11t2	C11t3	C11t4	C11t5	C11t6	C11t7	C11t8	C11t9	C11t10	C11t11	C11t12	C11t13
0,20	C12	C12t1	C12t2	C12t3	C12t4	C12t5	C12t6	C12t7	C12t8	C12t9	C12t10	C12t11	C12t12	C12t13
0,30	C13	C13t1	C13t2	C13t3	C13t4	C13t5	C13t6	C13t7	C13t8	C13t9	C13t10	C13t11	C13t12	C13t13
0,40	C14	C14t1	C14t2	C14t3	C14t4	C14t5	C14t6	C14t7	C14t8	C14t9	C14t10	C14t11	C14t12	C14t13
0,50	C15	C15t1	C15t2	C15t3	C15t4	C15t5	C15t6	C15t7	C15t8	C15t9	C15t10	C15t11	C15t12	C15t13
1,00	C16	C16t1	C16t2	C16t3	C16t4	C16t5	C16t6	C16t7	C16t8	C16t9	C16t10	C16t11	C16t12	C16t13
1,50	C17	C17t1	C17t2	C17t3	C17t4	C17t5	C17t6	C17t7	C17t8	C17t9	C17t10	C17t11	C17t12	C17t13
2,00	C18	C18t1	C18t2	C18t3	C18t4	C18t5	C18t6	C18t7	C18t8	C18t9	C18t10	C18t11	C18t12	C18t13
2,50	C19	C19t1	C19t2	C19t3	C19t4	C19t5	C19t6	C19t7	C19t8	C19t9	C19t10	C19t11	C19t12	C19t13
3,00	C20	C20t1	C20t2	C20t3	C20t4	C20t5	C20t6	C20t7	C20t8	C20t9	C20t10	C20t11	C20t12	C20t13
6,00	C21	C21t1	C21t2	C21t3	C21t4	C21t5	C21t6	C21t7	C21t8	C21t9	C21t10	C21t11	C21t12	C21t13

Tabla 3. Aleatorización del experimento

	Aleat.	[Cl-] (% en peso de Cl^-/peso de la solución total)
C7	0,021	0,06
C10	0,075	0,09
C9	0,120	0,08

	Aleat.	[Cl-] (% en peso de Cl^-/peso de la solución total)
C12	0,141	0,20
C8	0,290	0,07
C6	0,305	0,05
C15	0,337	0,50
C17	0,439	1,50
C1	0,501	0,00
C18	0,525	2,00
C13	0,548	0,30
	Aleat.	[Cl-] (% en peso de Cl^-/peso de la solución total)
C14	0,551	0,40
C19	0,582	2,50
C16	0,584	1,00
C4	0,603	0,03
C2	0,671	0,01
C3	0,727	0,02
C5	0,730	0,04
C0	0,739	NCA
C20	0,766	3,00
C11	0,819	0,10
C21	0,941	6,00

La figura 13 muestra el comportamiento de la impedancia y el ángulo de fase de un sensor con una capa CA expuesta a 0,50 % en peso de Cl-/peso de la solución total, tomándose estos valores de medición entre electrodos coplanares. En el minuto 0, la capa CA estaba seca, y su ángulo de fase muestra su carácter capacitivo (≈90°). Sin embargo, cuando la solución interactúa con la capa de CA, su fase de ángulo cambia hasta que alcanza -5°. Esto significa que el aluminato de calcio ya no es un condensador puro, sino también una resistencia eléctrica.

Por otro lado, la magnitud de la impedancia muestra que su impedancia disminuye desde 10^8 a 10^3 Ω en orden de magnitud cuando la solución de cloruro reacciona con el aluminato. Estos resultados coinciden con los resultados del estudio divulgado en "Study of the dielectric properties in the NaNbO3-KNbO3-In2O3 system using CA impedance spectroscopy", E. Atamanik y V. Thangadurai, 2009, Materials Research Bulletin 44 (4): 931 - 936. En este estudio, se analiza el comportamiento de la capacitancia y la impedancia de diferentes materiales cerámicos. Al final, la permitividad dieléctrica se define mediante las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon'' \qquad (2)$$

$$\varepsilon' = \frac{Z''}{2\pi f \varepsilon_0 S d Z^2} \qquad (3)$$

$$\varepsilon'' = \frac{Z'}{2\pi f \varepsilon_0 S d Z^2} \qquad (4)$$

en las que

- ε' y ε" son partes reales e imaginarias de la permitividad dieléctrica;
- Z, Z' y Z" son la magnitud, las partes reales e imaginaria de la impedancia;
- *S* es el área expuesta al aluminato cálcico de los electrodos,
- *d* es la distancia entre los electrodos,
- *f* es la frecuencia, y
- ε_0 es la constante dieléctrica del vacío (8,8542 x 10^{-12} C^2/Nm^2)

Como demuestran las ecuaciones (3) y (4), la permitividad dieléctrica está inversamente relacionada con la impedancia, que es coherente con los resultados previos.

Por el contrario, los condensadores de placas paralelas (entre los electrodos enfrentados) de la misma cámara (el mismo orificio 12 lleno con la capa CA) muestran resultados diferentes ilustrados por las figuras 15 a 18.

La figura 15 y la figura 16 representan diagramas de Bode del valor de la impedancia |Z| y el ángulo de fase de un primer par de electrodos enfrentados separados por una capa CA expuesta al 0,50 % en peso de Cl^-/peso de la solución total (primer condensador paralelo). La figura 17 y la figura 18 representan los mismos diagramas para un segundo par de electrodos enfrentados separados por la misma capa CA expuesta a 0,50 % en peso de Cl^-/peso de la solución total (segundo condensador paralelo).

Incluso cuando ambos condensadores paralelos tienen los mismos cambios que el condensador coplanar (comportamiento resistivo para el condensador coplanar y comportamiento capacitivo para los condensadores paralelos), al final del experimento, los condensadores paralelos no alcanzan un comportamiento resistivo casi perfecto como el aluminato en el condensador de placa coplanar (ver figura 16 y figura 18). Además, la magnitud de la impedancia cambia con el tiempo en uno de los condensadores, mientras que en el otro la impedancia alcanza un estado estable durante el experimento (Figura 15 y Figura 17). Esta diferencia podría explicarse por las diferencias en el proceso de difusión.

Esta es la razón por la que en esta realización con medición de la impedancia, la impedancia se mide preferiblemente entre electrodos coplanares.

Los resultados preliminares muestran que la diferencia de impedancia (ΔZ) entre la capa CA seca inicial (Z_0) y la capa CA expuesta a soluciones (0,5, 1,5 y 6,0 % en peso de Cl^-/peso de solución total) alcanzan un estado estable después de 15 kHz como se ilustra en la figura 19 para electrodos coplanares. ΔZ se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta Z = Z - Z_0 \qquad (4)$$

Además, hay algunos intervalos donde la señal de respuesta muestra un ruido considerable: 37,6-52 kHz y 65,1-80,9 kHz. Estos intervalos se deben evitar para medir las impedancias. En consecuencia, las mediciones se realizan ventajosamente en los siguientes intervalos:

$$16\ \text{kHz} < f < 37{,}5\ \text{kHz}$$

$$52\ \text{kHz} < f < 65\ \text{kHz}$$

$$81\ \text{kHz} < f < 99\ \text{kHz}$$

Además, con respecto a la respuesta temporal, podemos observar que no hay una diferencia significativa entre la diferencia de impedancia final a los 90 min (t13) y la primera diferencia de impedancia a los 2 min (t1) como se ilustra en las figuras 20 a 25. La figura 20 representa la diferencia de impedancia ΔZ frente a la frecuencia en el intervalo de frecuencia [16 kHz; 37,5 kHz] para C15t1, C15t13, C17t1, C17t13, C21t1, C21t13, y la figura 21 representa el valor de la diferencia de impedancia promedio en el tiempo t1 a t13 para C15, C17 y C21. Las figuras 22-23 y las figuras 24-25 representan los mismos diagramas para los intervalos de frecuencia [52 kHz; 65 kHz] y [81 kHz; 99 kHz], respectivamente.

Estas curvas (Figuras 20 a 25) muestran que los intervalos de frecuencia varían [16 kHz; 37,5 kHz], [52 kHz; 65 kHz] y [81 kHz; 99 kHz] son los más apropiados para la corriente alterna cuando se mide la impedancia entre electrodos coplanares. La concentración de cloruro se puede evaluar a partir de la impedancia medición entre los electrodos coplanares en estos intervalos de frecuencia de la corriente alterna.

Las principales ventajas de los métodos y sistemas descritos anteriormente son:

- el sensor es químicamente estable (alcalinidad dentro del hormigón),
- el sensor puede soportar temperaturas y tensiones mecánicas,
- el sensor no necesita protección adicional, ya que la carcasa puede aislar el material interno del entorno corrosivo,
- el sensor se puede colocar en cualquier lugar, cerca de una esquina,
- las mediciones no se ven afectadas por la presencia de campos eléctricos,
- su construcción es barata.

Por supuesto, no es necesario que el sensor de cloruro 1 comprenda ambos electrodos enfrentados y electrodos coplanares para una misma cámara llena de aluminato cálcico. Si se utiliza el método basado en la medición de capacitancia, es suficiente un sensor con solo electrodos enfrentados en ambos lados de la cámara. Si se utiliza el método basado en la medición de la impedancia, es suficiente un sensor con solo electrodos enfrentados en ambos lados de la cámara o electrodos coplanares en un lado de la cámara.

REIVINDICACIONES

1. Método para evaluar la concentración de iones cloruro en un área predeterminada de un material poroso o compuesto tal como hormigón, usando un sensor incrustado en el área predeterminada, comprendiendo dicho sensor dos electrodos planos enfrentados o coplanares, denominados primeros electrodos, una capa intermedia dispuesta entre dichos dos primeros electrodos, estando dicha capa intermedia en contacto con el material del área predeterminada y que comprende aluminatos de calcio,
comprendiendo dicho método las etapas de:

- medir (S1; S'1) un valor de capacitancia o un valor de impedancia de la capa intermedia aplicando una corriente alterna entre los electrodos; y
- calcular (S2,S3; S'2) una evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada en función del valor de impedancia o el valor de capacitancia medido.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los electrodos son electrodos enfrentados y el valor medido es un valor de capacitancia de la capa intermedia entre los electrodos, y en el que la evaluación de la concentración de iones cloruro se calcula:

- calculando (S2) un valor de permitividad relativa de la capa intermedia entre los electrodos, y
- calculando (S3) la evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada en función del valor de la permitividad relativa calculada.

3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la frecuencia de la corriente alterna está comprendida entre [100 Hz, 5 MHz].

4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el valor medido es un valor de impedancia de la capa intermedia entre los electrodos, y en el que la evaluación de la concentración de iones cloruro se calcula en función del valor de impedancia medido.

5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que los electrodos son electrodos coplanares.

6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la frecuencia de la corriente alterna está comprendida en el siguiente grupo de intervalos de frecuencia:

- [100 Hz, 100 kHz];
- [16 kHz, 37,5 kHz];
- [52 kHz, 65 kHz];
- [81 kHz, 99 kHz].

7. Sensor de iones cloruro para ser incrustado en un área predeterminada de una estructura porosa o compuesta, tal como una estructura de hormigón, que comprende:

- una carcasa (10),
- al menos dos electrodos planos enfrentados o coplanares, llamados electrodos (11), dentro de la carcasa,
- una capa intermedia (13) dispuesta entre los electrodos dentro de la carcasa, estando dicha capa intermedia en contacto, a través de al menos un orificio en la carcasa, con el material del área predeterminada y que comprende aluminatos de calcio, y
- conectores de clavija (15) conectados a los electrodos a través de líneas conductoras y dispuestos (16) para conectar los primeros electrodos a un dispositivo externo.

8. Sensor de iones cloruro de acuerdo con la reivindicación 7, en el que éste comprende una pluralidad de pares de electrodos (11) desplazados uno con respecto al otro a lo largo de un eje del sensor y conectados a una pluralidad de conectores de clavija, estando dispuesta una capa intermedia (13) entre los electrodos de cada par de electrodos y estando al menos un orificio (14) dispuesto en la carcasa (10) en la proximidad de cada par de electrodos y que se abren en la capa intermedia.

9. Sensor de iones cloruro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en el que los aluminatos de calcio se seleccionan del grupo de:

- CA,
- C_3A,
- $C_{12}A_7$,

en la que C representa CaO y A representa Al_2O_3.

10. Sensor de iones cloruro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el material de la carcasa (10) es fibra de vidrio o baquelita o cerámica o teflón.

11. Sistema para evaluar la concentración de iones cloruro en un área predeterminada de un material poroso o compuesto, tal como material de hormigón, comprendiendo dicho sistema

- un sensor (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, estando dicho sensor incrustado en el área predeterminada del material,
- un analizador (2) conectado a los conectores de clavija (15) del sensor, y
- un módulo de procesamiento (4) conectado al analizador, en el que el analizador (2) está configurado para aplicar una corriente alterna entre los electrodos y dar un valor de impedancia o un valor de capacitancia de la capa intermedia, y

en el que el módulo de procesamiento (4) está configurado para calcular una evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada en función del valor de impedancia o el valor de capacitancia dados por el analizador.

12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el que los electrodos (11) son electrodos enfrentados y en el que el analizador está configurado para dar un valor de capacitancia y en el que, para calcular la evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada, el módulo de procesamiento (4) está configurado para calcular un valor de permitividad relativa de la capa intermedia entre los electrodos a partir del valor de capacitancia dado por el analizador y para calcular la evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada en función del valor de permitividad relativa calculado.

13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la frecuencia de la corriente alterna está comprendida entre [100 Hz, 5 MHz].

14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el analizador (2) está configurado para medir un valor de impedancia entre los electrodos, aplicando una corriente alterna entre los electrodos y el módulo de procesamiento (4) está configurado para calcular la evaluación de la concentración de iones cloruro en el área predeterminada en función del valor de impedancia medido.

15. Sistema de acuerdo con la reivindicación 14, en el que los electrodos son electrodos coplanares.

16. Sistema de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, en el que la frecuencia de la corriente alterna está comprendida en el siguiente grupo de intervalos de frecuencia:

- [100 Hz, 100 kHz];
- [16 kHz, 37,5 kHz];
- [52 kHz, 65 kHz];
- [81 kHz, 99 kHz].

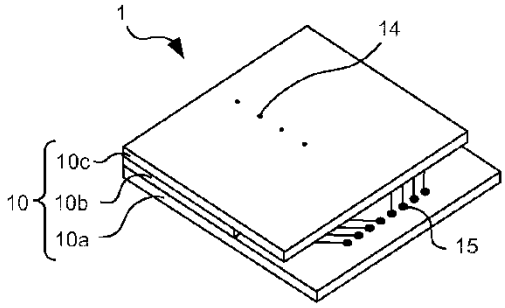

FIG.1

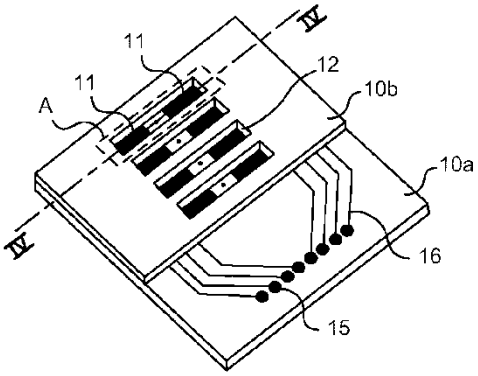

FIG.2

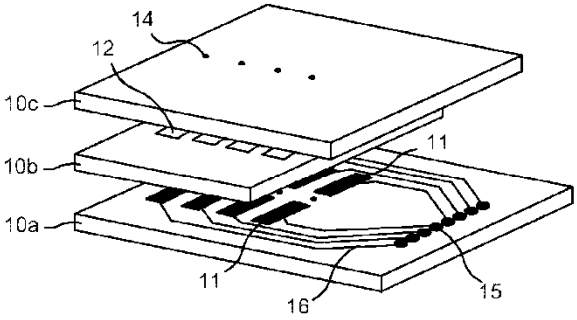

FIG.3

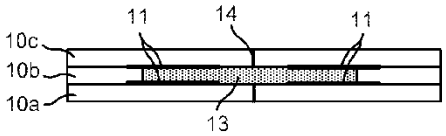

FIG.4

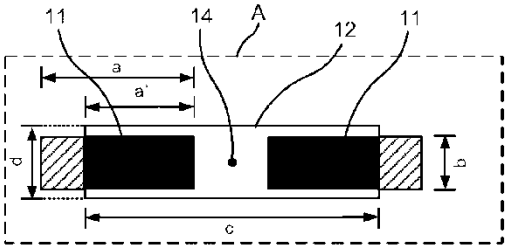

FIG.5

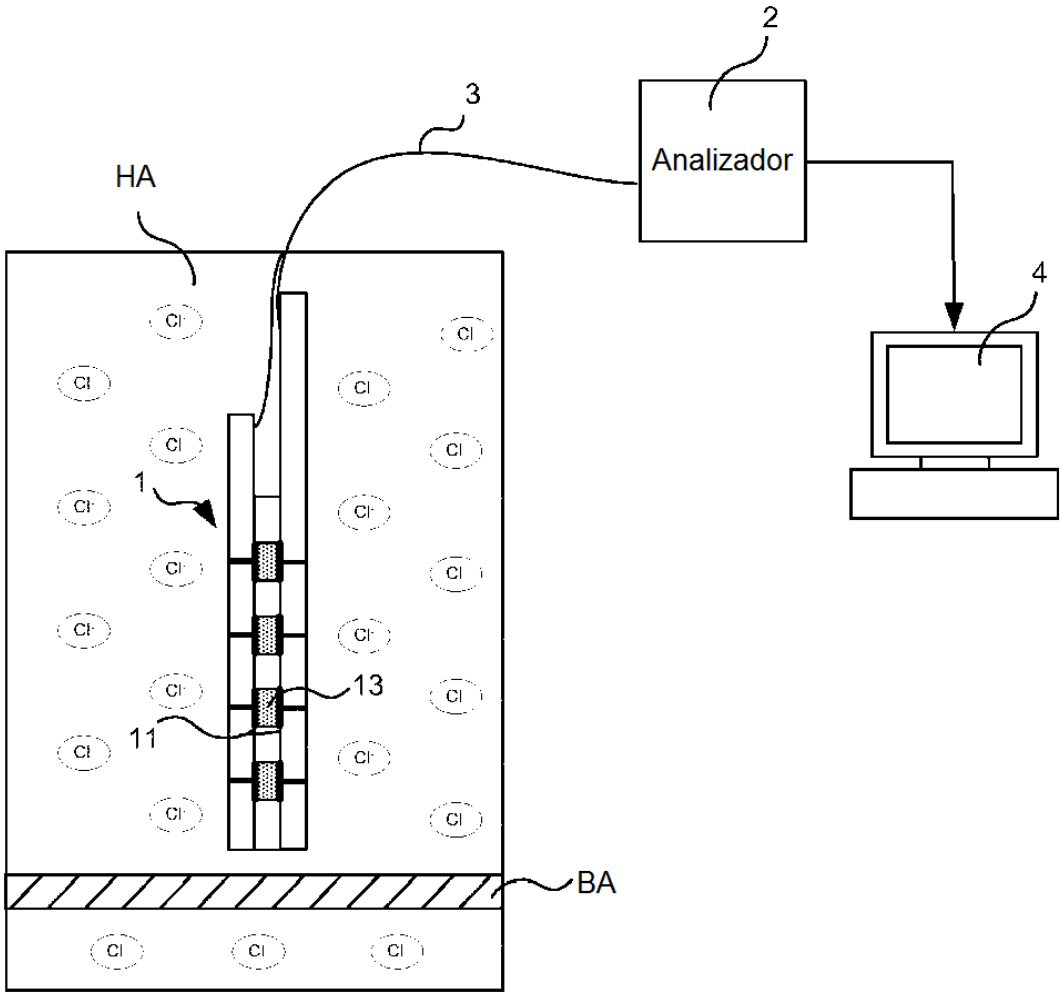

FIG.6

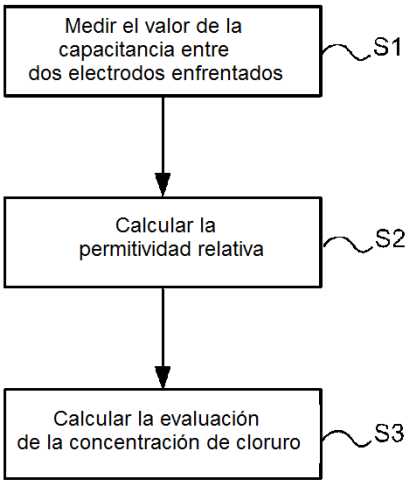

FIG.7

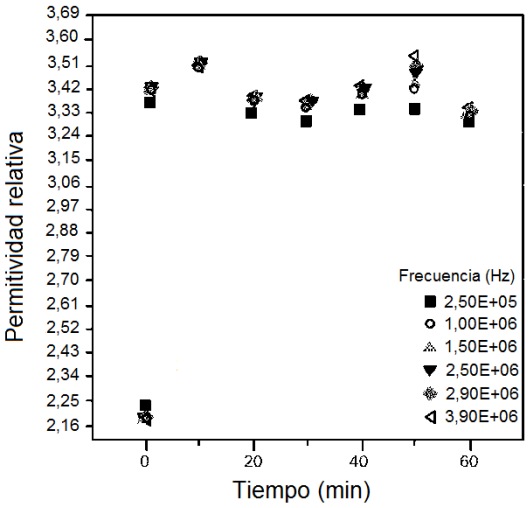

FIG.8

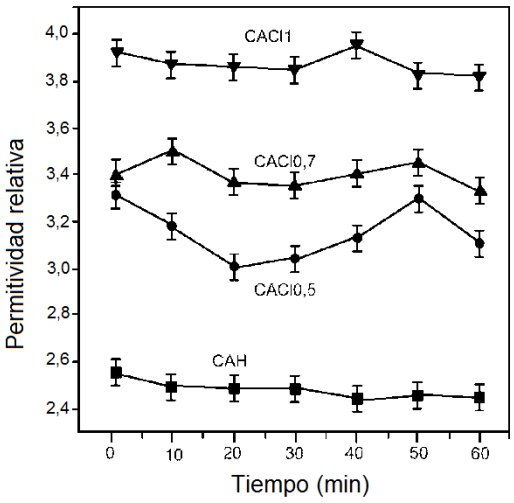

FIG.9

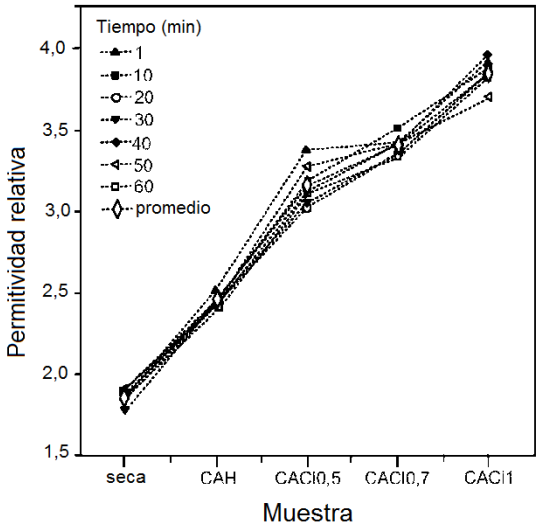

FIG.10

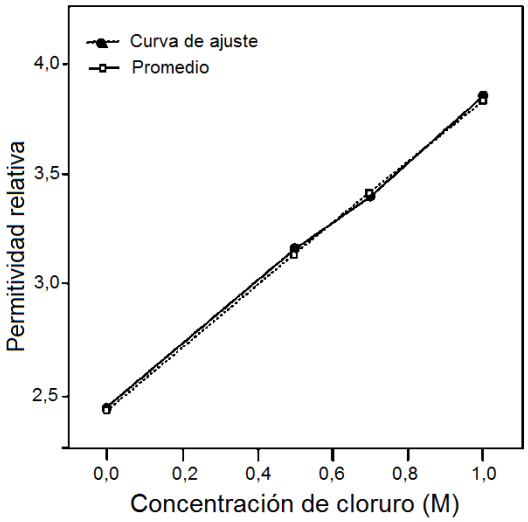

FIG.11

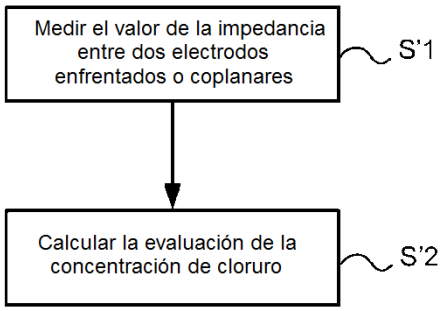

FIG.12

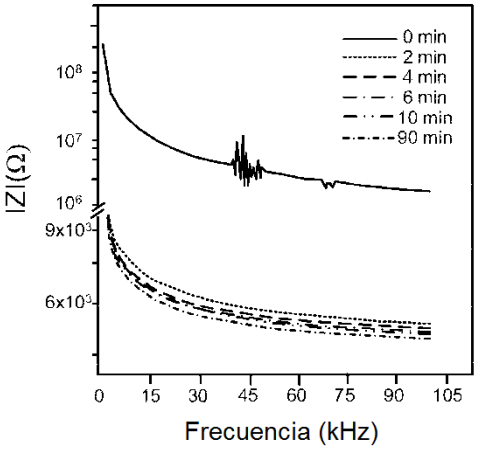

FIG.13

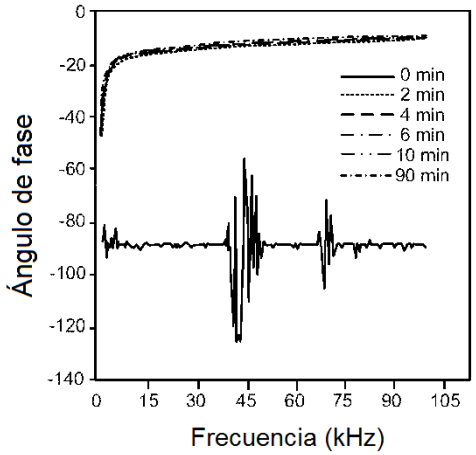

FIG.14

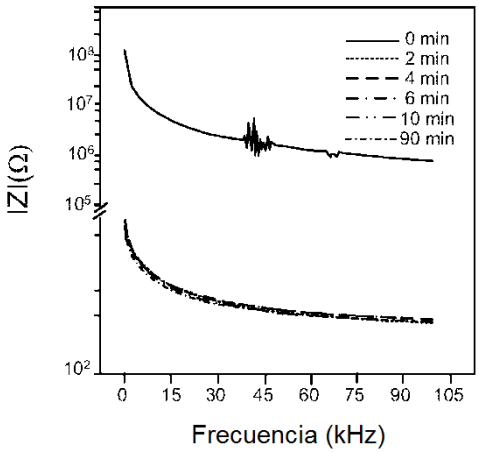

FIG.15

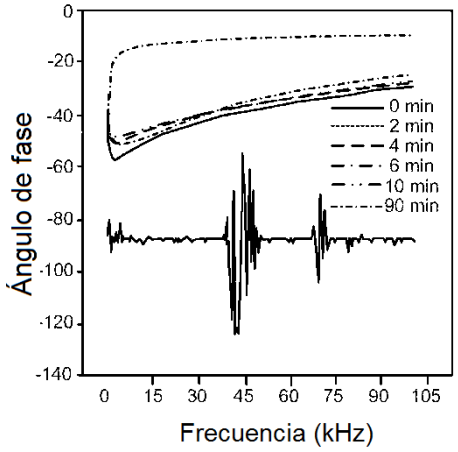

FIG.16

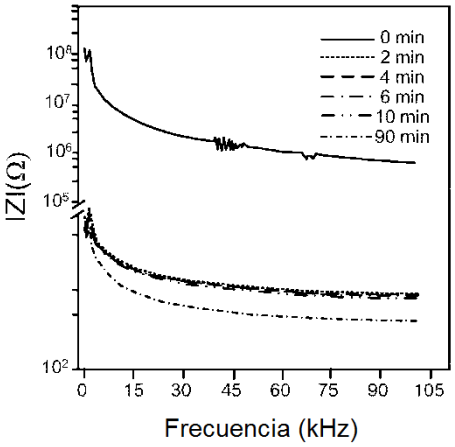

FIG.17

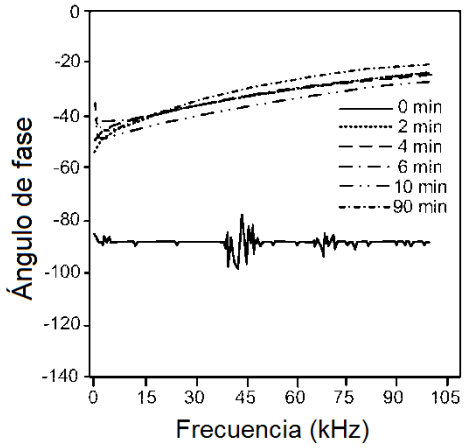

FIG.18

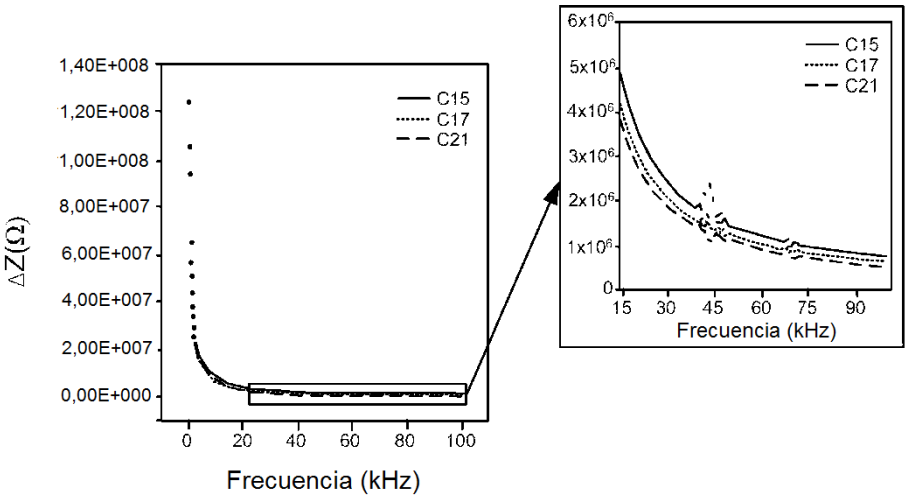

FIG.19

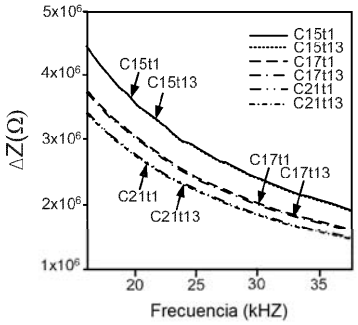

FIG.20

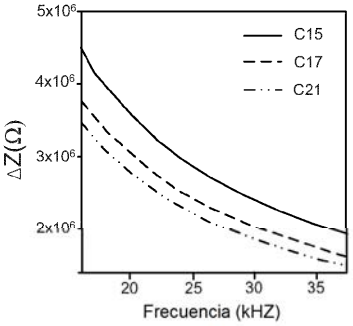

FIG.21

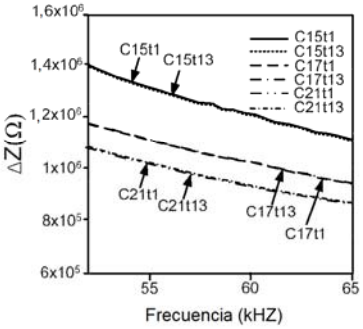

FIG.22

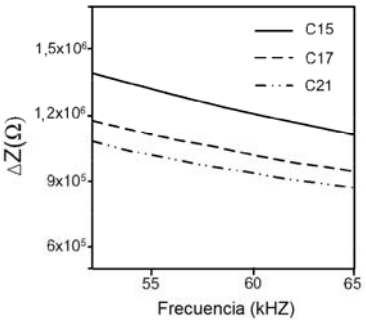

FIG.23

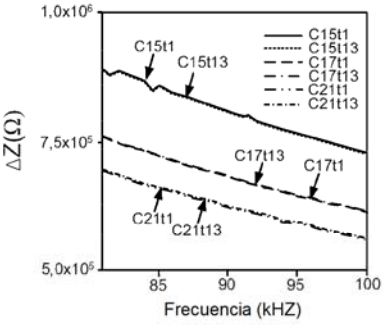

FIG.24

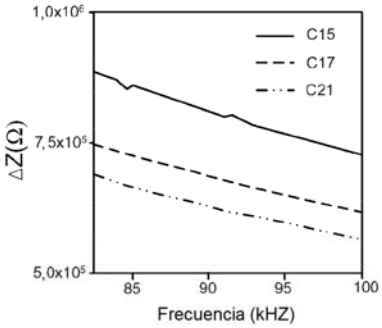

FIG.25