

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 908 377**

21 Número de solicitud: 202031076

51 Int. Cl.:

G01N 33/38

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

28.10.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.04.2022

Fecha de concesión:

22.08.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

29.08.2022

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (100.0%)**

C/ Serrano, nº 117

28006 Madrid (Madrid) ES

72 Inventor/es:

ALONSO ALONSO, Mª Cruz y

LUCIO MARTÍN, Tamara

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y EQUIPO DE MEDIDA PARA DETECTAR, DE FORMA CONTINUA Y NO DESTRUCTIVA, EL SECADO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN**

57 Resumen:

Procedimiento y equipo de medida para detectar, de forma continua y no destructiva, cómo evoluciona el secado de una estructura de hormigón a distintas profundidades, independientemente del número de caras expuestas al calor y de la dimensión del elemento o estructura, donde dicho procedimiento comprende determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica [Ω] entre pares de elementos metálicos (2) dispuestos en el interior de la estructura e identificar una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica [Ω] cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aun predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica, y/o una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica [Ω] sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica, y/o una región estable donde el porcentaje de pérdida de agua líquida o secado del hormigón supera el 90%.

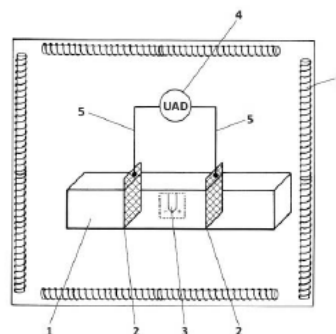


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 908 377 B2

DESCRIPCIÓN**PROCEDIMIENTO Y EQUIPO DE MEDIDA PARA DETECTAR, DE FORMA CONTINUA Y NO DESTRUCTIVA, EL SECADO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN**

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un equipo de medida para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón, que se engloba en el campo de dispositivos y procedimientos para detectar en tiempo real y de forma continua el agua en los poros de una estructura de hormigón sometida a un calentamiento. Cuando el hormigón se calienta se producen procesos fisicoquímicos que tienen lugar a distintas temperaturas, siendo el mayor riesgo la explosión del hormigón debido a la transformación del agua de los poros en estado líquido a vapor aumentando la presión en el interior del hormigón. El objeto de la presente invención es determinar en tiempo real como evoluciona la pérdida de agua en distintas profundidades, independientemente del número de caras expuestas al calor y de la dimensión del elemento o estructura, sin necesidad de medir los cambios de masa, con una precisión en el nivel de secado superior al 90%. Esto es particularmente necesario en estructuras de hormigón de centrales térmicas, geotérmicas, nucleares o termosolares.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Existen diversos campos en los cuales el hormigón se diseña para soportar altas temperaturas. Como ejemplos de este tipo están las estructuras de centrales energéticas tales como la geotérmica y la nuclear. En la primera, la infraestructura de hormigón extrae el calor procedente del interior de la tierra y, por ende, soporta temperaturas cercanas a los 300°C. Respecto a las centrales nucleares, los reactores ubicados en el interior de edificios de contención están fabricados de hormigón. En el caso de que se produzca la rotura del núcleo, el flujo de calor incidiría de forma más agresiva sobre el hormigón que aumentaría su estrés térmico sobre las paredes de la estructura. Por otra parte, habría que tener en cuenta posibles fallos por refrigeración en las piscinas nucleares localizadas en el interior de la planta nuclear, con lo cual la temperatura podría aumentar hasta alcanzar los 250°C, tal y como se recoge en Modelling of Concrete Behaviour at High Temperature, Edit. Springer., Millan, A. and Pimienta, P.

35

Existen otras aplicaciones en las cuales se emplean morteros y hormigones que deben resistir a altas temperaturas. Es el caso de los pozos geotérmicos de petróleo y gas cuya infraestructura puede operar con temperaturas entre 160 y 300°C según recogen los autores en Geothermal drilling and completion, SPE International, (2015). Estas estructuras operan bajo condiciones de altas presiones y el efecto de la temperatura puede generar descensos en la resistencia mecánica del material.

Otros campos de aplicación son los túneles y edificios, cuyas infraestructuras están siendo mejoradas por seguridad ante riesgo de incendio. Durante un incendio el calentamiento rápido de la estructura expuesta a fuego puede llevar al desprendimiento de hormigón o explosión y acabar con el colapso de la misma.

Por otra parte, las condiciones ambientales también influyen en las prestaciones del hormigón en su respuesta frente al secado desde la etapa de fabricación, fraguado y a lo largo de su vida en servicio, tal y como recogen los autores en Influencia en la Resistencia a Compresión de Hormigones por Efecto de la Temperatura Ambiente, en Revista de la Construcción, vol. 5, nº 1, págs. 56-61, (2006), Gómez L., M.S. y Vidal A., S. Un ejemplo de este tipo se refleja en el hecho de que etapas estivales con altas temperaturas (>30°C) y ambientes secos conllevan a que se puedan generar fisuraciones en el hormigón que afectarán a su vida en servicio. Para evitar este problema, es preciso conocer en tiempo real cómo están variando las propiedades térmicas y eléctricas en el interior de la estructura y actuar en consecuencia.

Sin embargo, a medida que avanza la tecnología en el campo de la construcción y las energías hacia un desarrollo sostenible, aparecen nuevas aplicaciones de sinergia entre ambos. De hecho, una aplicación innovadora consiste en emplear el hormigón como medio sólido de almacenamiento de energía térmica. Esta energía puede proceder de sistemas de recuperación de calor residual en la industria o, incluso, de centrales termosolares. La máxima temperatura de trabajo puede llegar a alcanzar incluso los 600°C.

Por otra parte, la tecnología de refractarios de hornos industriales también contempla el secado de las infraestructuras antes de la operación a elevadas temperaturas. En el documento “Ingeniería de refractarios: Materiales – Diseño – Construcción”, Jentsch, C., cuyo autor recoge distintas curvas de secado en función de la instalación y su máxima temperatura de operación. A su vez, recogen valores de referencia para operar a temperaturas superiores a 100°C, cuyos gradientes térmicos varían en función del tipo de material, ya sea hormigón refractario convencional, ligero o denso con contenido medio-bajo de cemento.

En cuanto al material, el hormigón está compuesto principalmente por áridos, cemento y agua. En el campo del hormigón es muy común utilizar dosificaciones de hormigón con relaciones agua/cemento (w/c) en torno a 0.4. El comportamiento térmico del hormigón está principalmente influenciado por los áridos, ya que estos se disponen en mayor proporción sobre la matriz. Generalmente, el 70% del volumen total de hormigón está ocupado por áridos.

Cuando el hormigón se calienta se producen procesos fisicoquímicos que tienen lugar a distintas temperaturas. Sin embargo, durante el calentamiento hasta 100°C el mayor riesgo de explosión de la estructura se debe al agua líquida que se transforma en vapor en los poros. El aumento de temperatura y la generación de vapor lleva consigo un aumento de presión causando tensiones internas. Por este motivo, se precisa secar la infraestructura de hormigón antes de comenzar con la exposición a alta temperatura para evitar riesgos en el material y, por consiguiente, en la infraestructura.

Por ejemplo, la solicitud de patente EP0655132 (A1) se refiere a una sonda de prueba destinada a ser aplicada en materiales estructurales durante el momento de la producción y / o actividad o cuando se ha producido un daño por agua en un edificio. La medición de la humedad de la sonda de prueba se puede realizar sin alteraciones de factores externos en el seguimiento del proceso de secado de la humedad.

Más en particular, dicho documento describe al menos dos elementos metálicos embebidos en el interior de la estructura de hormigón, donde dichos elementos metálicos están destinados a captar medidas de resistencia eléctrica, cables operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos configurada para procesar datos de temperatura y resistencia eléctrica y una fuente de calor configurada para calentar la estructura de hormigón. Los elementos metálicos están embebidos en una carcasa que solo permite el paso de vapor de agua, por lo que las medidas de resistencia y consiguiente resistividad se verán afectadas por acumulación de agua dentro de la carcasa durante las medidas en la fase líquida, no permitiendo obtener en tiempo real el porcentaje de secado de la porción de hormigón donde se ejecuta la medición. Sin embargo, el método descrito no reivindica medidas de resistencia eléctrica a alta temperatura ni establece relación de cambios entre resistencia eléctrica con temperatura ni gradientes térmicos simultáneamente a distintas profundidades de la estructura.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención pretende solucionar alguno de los problemas mencionados en el estado de la técnica. Más en particular, en un primer aspecto de la presente invención se describe un procedimiento de secado para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón sometida a un calentamiento, que comprende las etapas:

a) calentar por al menos una cara de la estructura de hormigón haciendo uso de una fuente de calor,

b) medir de manera continua la resistencia eléctrica $[\Omega]$ entre al menos un par de elementos metálicos embebidos en el interior de la estructura de hormigón,

c) procesar los datos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ mediante una unidad de adquisición,

d) utilizar los datos procesados en tiempo real en la unidad de adquisición para determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica $[\Omega]$ entre elementos metálicos e identificar:

- una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aun predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica, y/o

- una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica, y/o

- una región estable donde el porcentaje de pérdida de agua líquida o secado del hormigón supera el 90%,

e) determinar de manera continua mediante la unidad de adquisición de datos cómo evoluciona el porcentaje de secado del hormigón entre cada par de elementos metálicos a partir de los saltos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ en el tiempo, la región identificada y el comportamiento esperado de la estructura de hormigón utilizada.

Inicialmente, los poros del hormigón contienen agua en fase líquida y, a medida que el material se calienta, el agua se evapora y evacúa al exterior y los poros quedan llenos de aire. Como la conductividad eléctrica del agua es superior a la del aire, a medida que el material se calienta el hormigón se vuelve menos conductor. La resistencia eléctrica es inversamente proporcional a la conductividad eléctrica.

Por consiguiente, en la primera región de fase líquida antes de alcanzar los 100°C la resistencia eléctrica cae en el tiempo, sin embargo, a medida que el agua en los poros del hormigón se evapora la resistencia eléctrica $[\Omega]$ sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica.

Finalmente, se alcanza una región predominante estable con un salto limitado en la resistencia eléctrica en el tiempo, cuando el porcentaje de secado es ya superior al 90%.

De esta manera, comparando con datos y gráficas predeterminadas del hormigón utilizado, es posible determinar, a partir de los saltos de resistencia eléctrica en el tiempo, el porcentaje de secado en cada par de elementos metálicos. Esto se puede procesar en tiempo real en la unidad de adquisición.

El procedimiento, además, preferentemente comprende una etapa de medir temperatura mediante termopares dispuestos entre cada par de elementos metálicos, donde dichas medidas de temperaturas son procesadas por la unidad de adquisición de datos para auxiliar a identificar y/o comprobar cada región descrita en la etapa (d).

Como consecuencia, se puede determinar en tiempo real como evoluciona la pérdida de agua a través del material, independientemente del número de caras expuestas al calor y de la dimensión del elemento o estructura. Además, permite determinar en tiempo real el nivel de secado de la estructura sin necesidad de medir los cambios de masa. Esto hace que el método se pueda aplicar en estructuras reales de grandes dimensiones, disminuyendo la incertidumbre y acotando los tiempos de secado de esta.

Con esta monitorización se conoce el instante en el cual la estructura está seca y se puede iniciar el calentamiento de esta a temperaturas superiores y operar reduciendo riesgos de daños o explosión. El problema técnico que se trata de resolver es determinar el nivel de secado y pérdida de agua de una estructura de hormigón al ser sometida a alta temperatura.

En una realización preferente, se pueden embeber cuantos electrodos sean necesarios y conectarlos dos a dos, y cuantos termopares sean necesarios entre cada par de electrodos.

Preferentemente, el procedimiento comprende, además, una etapa de determinar la resistividad mediante la unidad de adquisición permitiendo así comparar resultados entre distintas geometrías y materiales o estructuras de hormigón, donde la resistividad se determina mediante la expresión:

$$\rho = Re \cdot \frac{S}{L}$$

donde:
 ρ es la resistividad del material [$\Omega \cdot m$]

Re es la resistencia eléctrica medida [Ω]

S es la superficie de electrodo metálico embebido [m^2]

L es la distancia entre electrodos metálicos embebidos [m]

5 En un segundo aspecto la presente invención describe un equipo de medida de secado para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón mediante el procedimiento arriba descrito, donde dicho equipo comprende:

- al menos un par de elementos metálicos embebidos en el interior de la estructura de hormigón, donde dichos elementos metálicos están adaptados para captar medidas de resistencia eléctrica [Ω],

- cables estables a alta temperatura operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos configurada para procesar de resistencia eléctrica [Ω] captados por al menos el par de elementos metálicos,

- una fuente de calor configurada para calentar al menos una cara de la estructura de hormigón.

Preferentemente, el equipo de medida comprende, además, al menos un termopar dispuesto entre al menos cada dos elementos metálicos, donde dicho termopar está destinado a captar medidas de temperatura y está operativamente conectado con la unidad de adquisición para procesar los datos de temperatura.

En una realización preferente el equipo de medida comprende una pluralidad de pares de elementos metálicos, donde cada par está provisto de un termopar, permitiendo así crear cuantos circuitos eléctricos sean necesarios para evaluar la pérdida de agua a lo largo de toda la profundidad de la estructura de hormigón.

En un tercer aspecto la invención describe una estructura de hormigón que comprende:

- una pluralidad de pares de elementos metálicos embebidos en el interior de la estructura de hormigón a distintas profundidades, donde dichos elementos metálicos están adaptados para captar medidas de resistencia eléctrica [Ω] y están operativamente conectados a una unidad de adquisición,

- una pluralidad de termopares, cada uno de dichos termopares dispuestos entre cada par de elementos metálicos y adaptados para captar medidas de temperatura entre cada par de elementos metálicos,

- cables estables a alta temperatura conectados a los elementos metálicos y operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos configurada para

procesar datos de resistencia eléctrica [Ω] y temperatura, dicha unidad de adquisición dispuesta en el exterior de la estructura y configurada para determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica e identificar:

- 5 - una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica [Ω] cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aun predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica, y/o
- una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica [Ω] sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica, y/o
- 10 - una región estable donde el porcentaje de pérdida de agua líquida o secado del hormigón supera el 90%,

permitiendo así determinar de manera continua cómo evoluciona el porcentaje de secado de la estructura de hormigón en cada par de elementos metálicos a partir de los saltos de resistencia eléctrica [Ω] en el tiempo.

15

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de
20 realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista esquemática de una primera realización de la invención a escala laboratorio. que ilustra un bloque de hormigón, un termopar, fuentes de calor y un par de
25 elementos metálicos operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos mediante cables resistentes a altas temperaturas.

Figura 2A.- Muestra un esquema de múltiples elementos metálicos dispuestos en el interior de una estructura de hormigón y operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos
30 mediante conexiones C1-C5.

Figura 2B.- Muestra una vista en perspectiva de una segunda realización de la invención donde se ilustra una estructura de hormigón provista de una pluralidad de pares de elementos metálicos donde cada par está provisto de un termopar, y una fuente de calor que se aplica por una sola
35 cara de la estructura de hormigón.

Figura 3.- Muestra una gráfica donde se representa la resistencia eléctrica y la temperatura del interior del hormigón con respecto al tiempo sometido a una fuente de calor, y donde se representan los saltos de resistencia eléctrica en cada una de las regiones hasta su secado final.

5 Figura 4.- Muestra una segunda gráfica donde se representa la resistencia eléctrica y el porcentaje de secado del hormigón con respecto al tiempo sometido a una fuente de calor, y donde se representan los saltos de resistencia eléctrica y las regiones que se experimentan debido al agua en los poros, evaporización y secado final.

10 Figura 5.- Muestra una tercera gráfica donde se representa el cambio en el tiempo de la resistencia eléctrica en cada uno de los pares de elementos metálicos dispuestos en el interior de la estructura de hormigón a distintas profundidades.

15 Figura 6.- Muestra una tercera gráfica donde se representa el cambio en el tiempo de la resistencia eléctrica y la temperatura en cada uno de los pares de elementos metálicos dispuestos en el interior de la estructura de hormigón a distintas profundidades.

20 Figura 7.- Muestra una cuarta gráfica donde se representa el porcentaje de pérdida de masa y el porcentaje de secado a lo largo del tiempo en el que la estructura de hormigón es sometida a una fuente de calor.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

25 A continuación, se describe con la ayuda de las figuras 1-7, un procedimiento y un equipo de medida para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón (1) sometida a un calentamiento.

30 Más en particular, la figura 1 describe una realización preferente de la presente invención en una escala de laboratorio del equipo de medida de secado para una estructura de hormigón, donde dicho equipo de medida comprende un par de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón (1), donde dichos elementos metálicos (2) están adaptados para captar medidas de resistencia eléctrica [Ω],

35 Asimismo, el equipo de medida comprende cables (5) estables a alta temperatura operativamente conectados a una unidad de adquisición (4) de datos configurada para procesar los valores de resistencia eléctrica [Ω] captados por al menos el par de elementos

metálicos (2), y fuentes de calor (6) configurada para calentar cada cara de la estructura de hormigón (1).

En la realización preferente descrita por la figura 1, el equipo de medida comprende, además, un termopar (3) dispuesto entre cada par de elementos metálicos (2), donde dicho termopar (3) está destinado a captar medidas de temperatura y está operativamente conectado con la unidad de adquisición (4) para procesar los datos de temperatura.

En una realización preferente, el procedimiento de secado para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón (1) sometida a un calentamiento, utilizando el equipo de medida de la figura 1, comprende, al menos las siguientes etapas:

a) calentar por al menos una cara de la estructura de hormigón (1) haciendo uso de una fuente de calor (6),

b) medir de manera continua la resistencia eléctrica $[\Omega]$ entre al menos un par de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón (1),

c) procesar los datos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ mediante una unidad de adquisición (4),

d) utilizar los datos procesados en tiempo real en la unidad de adquisición (4) para determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica $[\Omega]$ entre elementos metálicos e identificar:

- una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aun predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica,

- una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica,

- una región estable donde el porcentaje de secado de hormigón supera el 90%,

De esta manera se puede determinar de forma continua mediante la unidad de adquisición de datos (4) cómo evoluciona el porcentaje de secado del hormigón entre cada par de elementos metálicos (2) a partir de los saltos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ en el tiempo, la región identificada y el comportamiento esperado de la estructura de hormigón (1) utilizada.

El proceso de medida puede comprender, además, una etapa de medir temperatura mediante termopares (3) dispuestos entre cada par de elementos metálicos (2), donde dichas medidas de temperaturas son procesadas por la unidad de adquisición de datos (3) para auxiliar a identificar y/o comprobar cada región descrita en la etapa (d) arriba referenciada.

5

Dichas regiones se pueden identificar claramente en las figuras 3-7. Más en particular, por ejemplo, en la figura 3 se muestra la evolución de la resistencia eléctrica en un hormigón calentado hasta 105°C empleando una velocidad de calentamiento de 1°C/min. Además, se registra la evolución de la temperatura en el interior de la muestra de hormigón registrada mediante el termopar embebido en ella. Se muestran las primeras 24 horas de secado a 105°C.

10

Se demuestra experimentalmente que, durante el inicio del calentamiento, la resistencia eléctrica del hormigón no varía o decrece ligeramente manteniendo el mismo orden de magnitud, en torno a $10^5 \Omega$ para el hormigón en estudio, hasta que el interior del material se aproxima a la temperatura de 100°C. A partir de ese instante, el agua en fase vapor es superior a la residual en fase líquida en los poros rompiéndose su conectividad, lo que conduce a que la resistencia eléctrica crezca abruptamente en el material. Se alcanzan valores de más de $10^8 \Omega$ para el tipo de hormigón analizado. Por tanto, el parámetro de resistencia eléctrica experimenta variaciones de 3 órdenes de magnitud durante el secado del material.

15

20

La figura 2A muestra un esquema de múltiples elementos metálicos (2) dispuestos en el interior de una estructura de hormigón (1) y operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos (4) mediante conexiones C1-C5.

25

La figura 2B muestra una vista en perspectiva de la realización de la figura 2A, donde el equipo de medida comprende una pluralidad de pares de elementos metálicos (2), donde cada par está provisto de un termopar (3), creando así cuantos circuitos eléctricos sean necesarios para evaluar la pérdida de agua a lo largo de toda la profundidad de la estructura de hormigón (1).

30

En la realización preferente de la figura 2B la fuente de calor (6) se aplica por solo una de las caras de la estructura de hormigón (1).

El proceso de medida del secado de la estructura de hormigón será equivalente para cada par de elementos metálicos al descrito en las etapas a-d arriba descritas, tal y como se muestra en las figuras 5 y 6.

- 5 En una realización preferente, el proceso comprende adicionalmente una etapa, que calcula la resistividad permitiendo así comparar resultados entre distintas geometrías y materiales o estructuras de hormigón, donde la resistividad se determina mediante la expresión:

$$\rho = Re \cdot \frac{S}{L}$$

10 donde:

ρ es la resistividad del material [$\Omega \cdot m$]

Re es la resistencia eléctrica medida [Ω]

S es la superficie de electrodo metálico embebido [m^2]

L es la distancia entre electrodos metálicos embebidos [m]

15

La figura 7 muestra una gráfica donde se representa el porcentaje de pérdida de masa y el porcentaje de secado del hormigón a lo largo del tiempo en el que la estructura de hormigón es sometida a una fuente de calor. No obstante, mediante las etapas y equipos de medición descritos por la presente invención, no es necesario medir la pérdida de masa para obtener
20 el porcentaje de secado del hormigón en cada una de las porciones provistas de pares de elementos metálicos.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de secado para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón (1) sometida a un calentamiento, **caracterizado porque** comprende las etapas:

a) calentar por al menos una cara de la estructura de hormigón (1) haciendo uso de una fuente de calor (6),

b) medir de manera continua la resistencia eléctrica [Ω] entre al menos un par de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón (1),

c) procesar los datos de resistencia eléctrica [Ω] mediante una unidad de adquisición (4),

d) utilizar los datos procesados en tiempo real en la unidad de adquisición (4) para determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica [Ω] entre elementos metálicos e identificar:

- una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica [Ω] cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aún predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica, y/o

- una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica [Ω] sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica, y/o

- una región estable donde el porcentaje de pérdida de agua líquida o secado del hormigón supera el 90%,

e) determinar de manera continua mediante la unidad de adquisición de datos (4) cómo evoluciona el porcentaje de secado del hormigón entre cada par de elementos metálicos (2) a partir de los saltos de resistencia eléctrica [Ω] en el tiempo, la región identificada y el comportamiento esperado de la estructura de hormigón (1) utilizada.

2.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además, una etapa de medir temperatura mediante termopares (3) dispuestos entre cada par de elementos metálicos (2), dichas medidas de temperaturas procesadas por la unidad de adquisición de datos (4) para auxiliar a identificar y/o comprobar cada región descrita en la etapa (d).

3.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende los pasos descritos para una pluralidad de pares de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón (1) a distintas profundidades, de manera que el porcentaje de secado de hormigón puede ser determinado para cada porción de la estructura de hormigón (1) provista de pares de elementos metálicos (2).

4.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende una etapa de determinar la resistividad mediante la resistencia eléctrica obtenida por la unidad de adquisición (4) permitiendo así comparar resultados entre distintas geometrías y materiales, donde la resistividad se determina mediante la expresión:

$$\rho = Re \cdot \frac{S}{L}$$

donde:

ρ es la resistividad del material [$\Omega \cdot m$]

Re es la resistencia eléctrica medida [Ω]

S es la superficie de electrodo metálico embebido [m^2]

L es la distancia entre electrodos metálicos embebidos [m]

5.- Equipo de medida de secado para detectar, de forma continua y no destructiva, el secado de una estructura de hormigón (1) mediante el procedimiento descrito por la reivindicación 1, donde dicho equipo está caracterizado porque comprende:

- al menos un par de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón, donde dichos elementos metálicos (2) están adaptados para captar medidas de resistencia eléctrica [Ω],

- cables (5) estables a alta temperatura operativamente conectados a una unidad de adquisición (4) de datos configurada para procesar de resistencia eléctrica [Ω] captados por al menos el par de elementos metálicos (2),

- una fuente de calor (6) configurada para calentar al menos una cara de la estructura de hormigón.

6.- El equipo de medida de secado de la reivindicación 5, que comprende, además, al menos un termopar (3) dispuesto entre cada al menos dos elementos metálicos (2), donde dicho termopar (3) está destinado a captar medidas de temperatura y está operativamente conectado con la unidad de adquisición (4) para procesar los datos de temperatura.

7.- El equipo de medida de secado de la reivindicación 5, que comprende una pluralidad de pares de elementos metálicos (2), donde cada par está provisto de un termopar (3), creando así cuantos circuitos eléctricos sean necesarios para evaluar la pérdida de agua a lo largo de toda la profundidad de la estructura de hormigón (1).

8.- Estructura de hormigón **caracterizada porque** comprende:

- una pluralidad de pares de elementos metálicos (2) embebidos en el interior de la estructura de hormigón (1) a distintas profundidades, donde dichos elementos metálicos (2) están adaptados para captar medidas de resistencia eléctrica $[\Omega]$ y están operativamente conectados a una unidad de adquisición (4),

- una pluralidad de termopares (3), cada uno de dichos termopares (3) dispuestos entre cada par de elementos metálicos (2) y adaptados para captar medidas de temperatura entre cada par de elementos metálicos (2), donde dichos termopares (3) están operativamente conectados a una unidad de adquisición de datos (4),

- cables (5) estables a alta temperatura conectados a los elementos metálicos (2) y operativamente conectados a una unidad de adquisición (4) de datos configurada para procesar datos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ y temperatura, dicha unidad de adquisición (4) dispuesta en el exterior de la estructura y configurada para determinar saltos en el tiempo de la resistencia eléctrica $[\Omega]$ entre elementos metálicos (2) e identificar:

- una región de fase líquida donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ cae, debido a que el agua en los poros del hormigón está aun predominantemente en fase líquida con alta conductividad eléctrica, y/o

- una región de fase vapor donde la resistencia eléctrica $[\Omega]$ sube abruptamente debido a la vaporización del agua en los poros del hormigón rompiendo su conductividad eléctrica, y/o

- una región estable donde el porcentaje de pérdida de agua líquida o secado del hormigón supera el 90%,

permitiendo así determinar de manera continua cómo evoluciona el porcentaje de secado de la estructura de hormigón (1) en cada par de elementos metálicos (2) a partir de los saltos de resistencia eléctrica $[\Omega]$ en el tiempo.

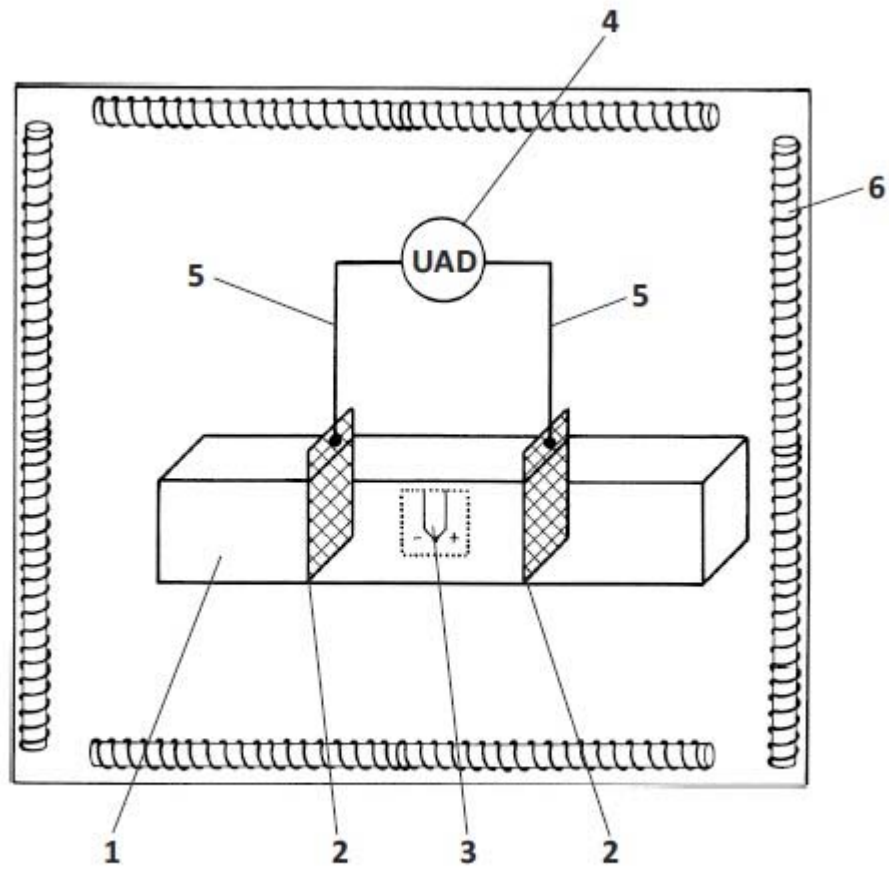


FIG. 1

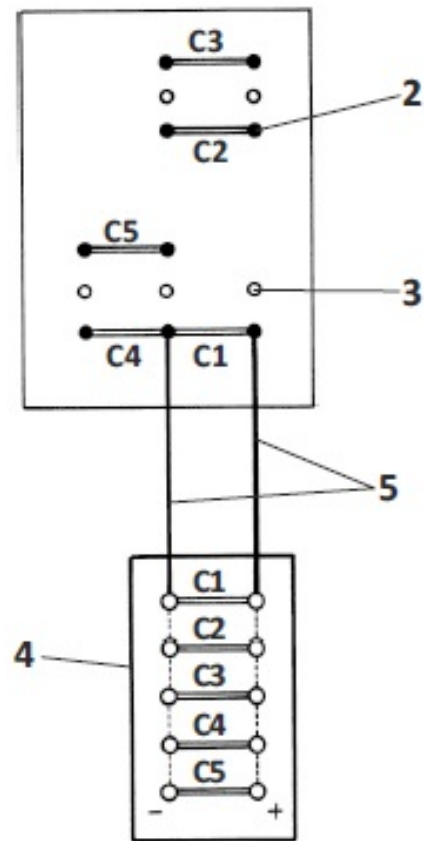


FIG. 2A

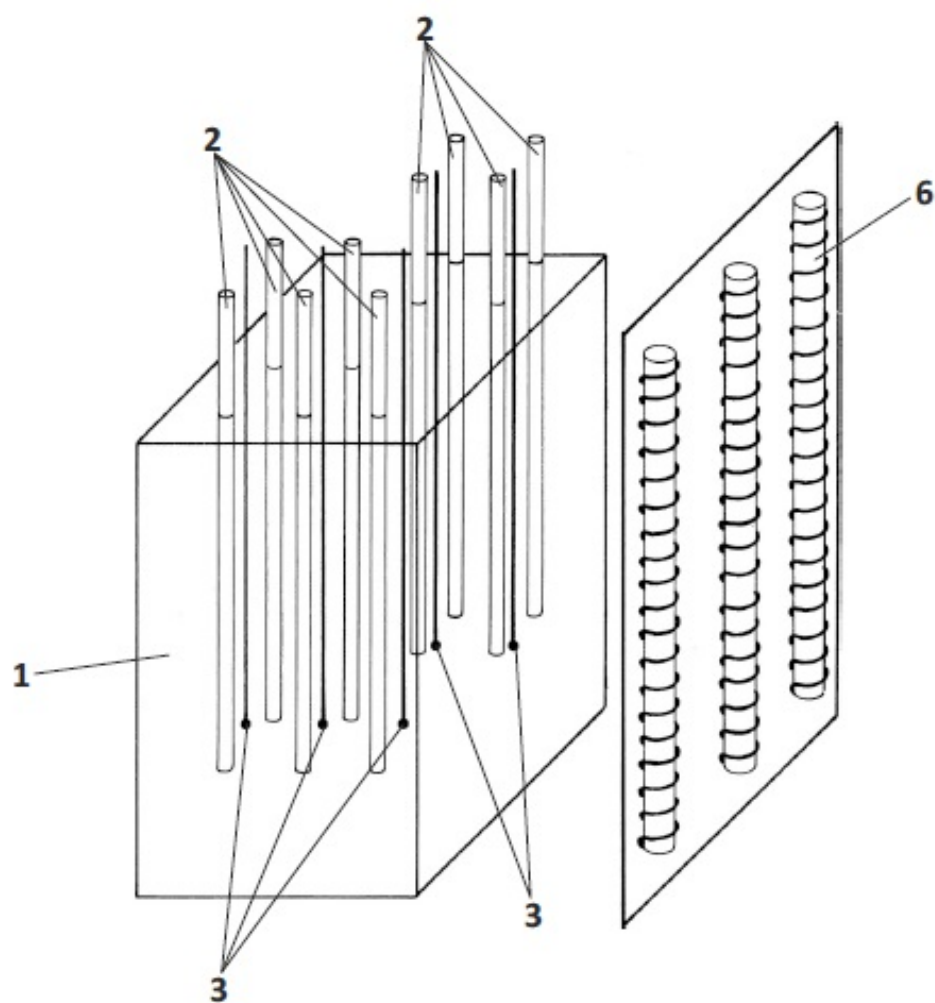


FIG. 2B

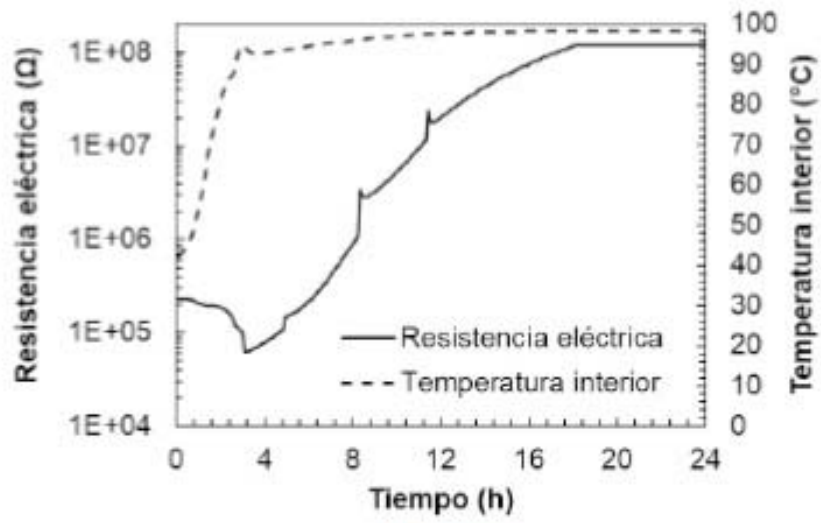


FIG. 3

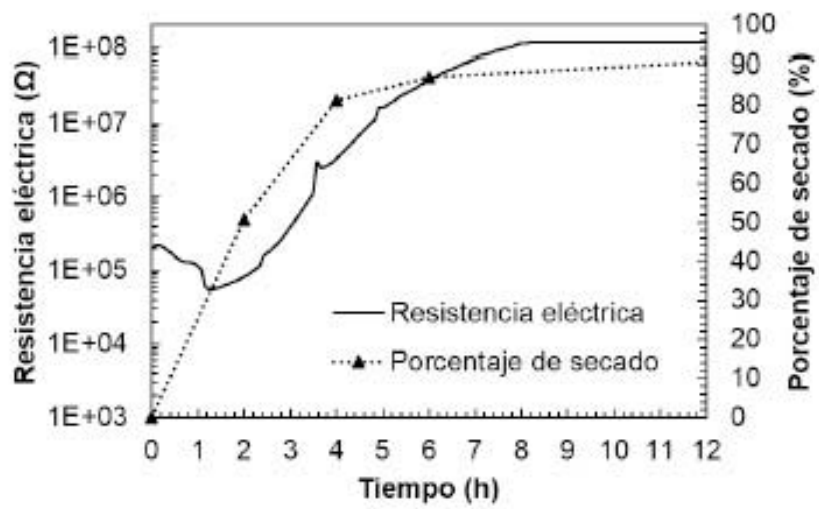


FIG. 4

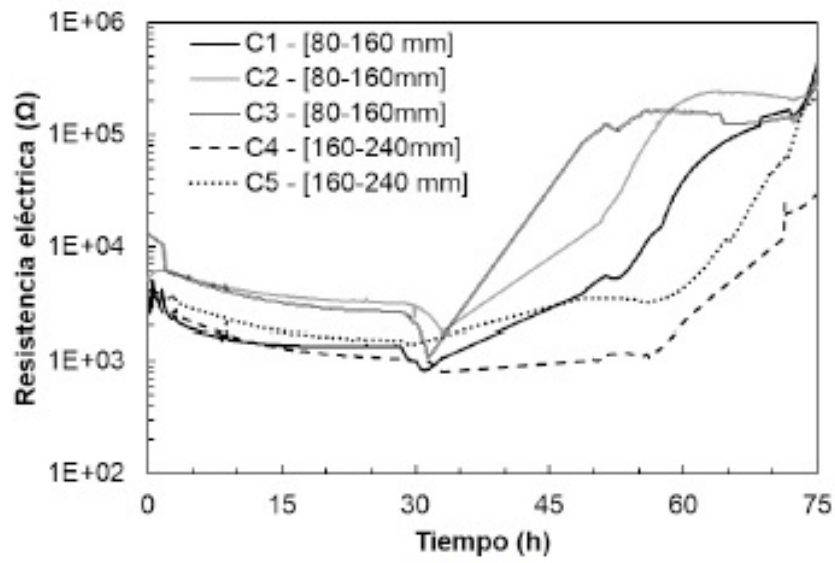


FIG. 5

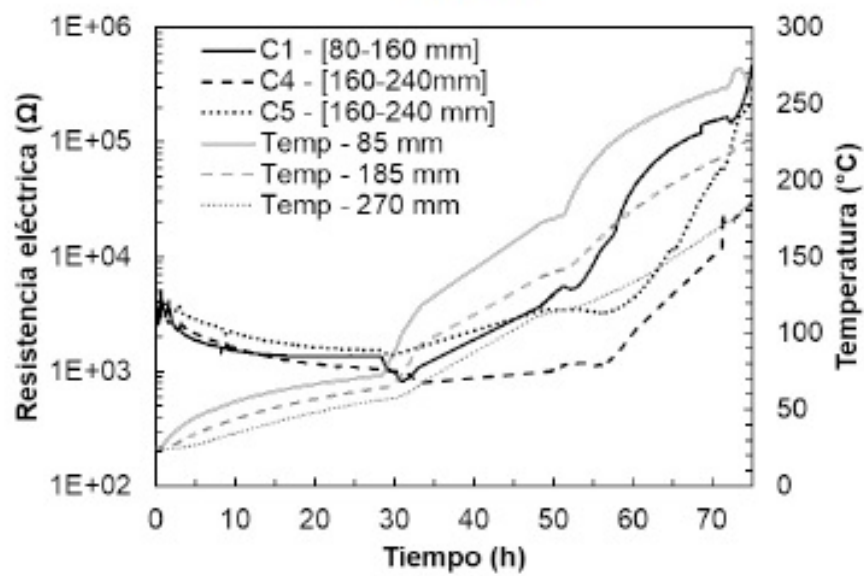


FIG. 6

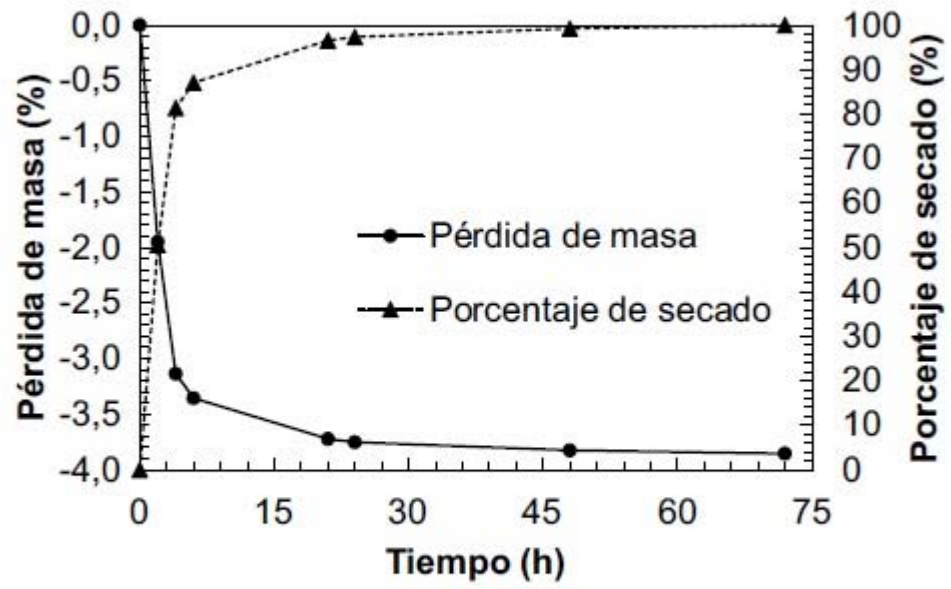


FIG. 7