

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 937 411**

21 Número de solicitud: 202130900

51 Int. Cl.:

G01N 25/00 (2006.01)

G01N 33/38 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

27.09.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.03.2023

Fecha de concesión:

20.07.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.07.2023

73 Titular/es:

**OSA INTERNATIONAL BUSINESS AND
ARCHITECTURAL CONSULTANCY SL (100.0%)
Paseo de la Habana, 15 - 3º I
28036 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**PEREIRA, Juan Manuel y
CONCEJO ESCOBAR, Francisco**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

54 Título: **MÉTODO IMPLEMENTADO POR ORDENADOR Y SISTEMA DE PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN**

57 Resumen:

Método implementado por ordenador y sistema de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón, en donde el método comprende calcular unos valores de resistividad de al menos una zona interior del hormigón a partir de unos valores de resistencia eléctrica, ajustados para ser comparables, calculados a partir de unas lecturas de resistencia eléctrica obtenidas de al menos una zona interior del hormigón, y considerando unas mediciones de temperatura obtenidas en dicha al menos una zona interior; aplicar un modelo de predicción para calcular un valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón (1) a analizar, calculada a partir de los valores de resistividad y considerando al menos la composición del hormigón, el espesor del recubrimiento de hormigón, y el ambiente de exposición de la estructura de hormigón (1) a analizar.

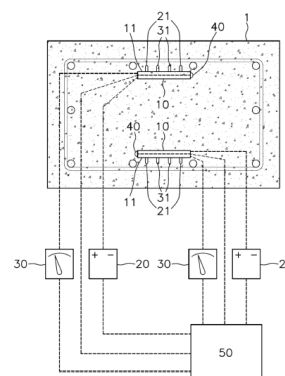


Fig. 1

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 2 937 411 B2

DESCRIPCIÓN

MÉTODO IMPLEMENTADO POR ORDENADOR Y SISTEMA DE PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN

5 Campo de la técnica

La presente invención concierne a un método implementado por ordenador y a un sistema de predicción de vida útil de estructuras de hormigón en situación real de obra, mediante sensores embebidos en el hormigón y la lectura e interpretación de las mediciones mediante un método implementado por ordenador.

- 10 Dicha predicción se realiza, esencialmente, a partir de mediciones de la resistencia eléctrica y temperatura de la estructura de hormigón obtenidas mediante una unidad sensora compuesta, como mínimo, por una sonda de resistencia eléctrica y otra de temperatura, embebidas en el hormigón, y el análisis de las lecturas obtenidas por dichas sondas considerando además otras informaciones referentes a la composición y geometría de la
- 15 estructura de hormigón a analizar.

Estado de la técnica

- Se conoce la toma de medidas de resistencia eléctrica en hormigón para determinar ciertas características del hormigón, como por ejemplo su resistencia o porosidad, estimadas en base
- 20 a las lecturas de resistencia eléctrica obtenidas. Típicamente estas lecturas se obtienen mediante sondas de resistencia eléctrica que se colocan en la superficie de la estructura de hormigón, por lo que las lecturas obtenidas solamente son representativas de la porción superficial del hormigón.

- La resistencia eléctrica de la porción superficial del hormigón es interesante para conocer la
- 25 calidad del hormigón y de su curado, pero es poco representativa de las características del interior del hormigón, por lo que dicha información no permite una predicción precisa de la evolución de la corrosión de las armaduras y/o de la vida útil de la estructura de hormigón.

- La inserción de electrodos desde la superficie de la estructura de hormigón obtiene mediciones que mezclan los resultados de las regiones superficiales del hormigón con las
- 30 mediciones de las regiones profundas, por lo que tampoco permiten un cálculo preciso.

Se conoce también colocar sondas en el interior de la estructura de hormigón, pero, sin un tratamiento adecuado de las lecturas obtenidas, los resultados no permiten obtener unos valores indicativos de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar.

5 Esto se debe a que si se obtienen las lecturas de resistencia eléctrica no en la superficie sino en una zona interior del hormigón de dicha estructura de hormigón a analizar, otros parámetros tienen efecto sobre la representatividad de dichas lecturas, como son la temperatura, o también la geometría de la estructura de hormigón y la posición de la unidad sensora en su interior, siendo por lo tanto los resultados obtenidos diferentes de unos resultados teóricos obtenidos en un elemento de hormigón semi infinito con idéntica composición al de la estructura de hormigón a analizar.

La presente invención resuelve los anteriores y otros problemas, y aporta soluciones novedosas para la fácil evaluación de la durabilidad de las estructuras, permitiendo la confección de planes de monitorización más eficientes y efectivos. Esto constituye una valiosa herramienta para mantenimiento y diseño de estructuras, y consultorías especializadas.

15

Breve descripción de la invención

Según un primer aspecto, la presente invención concierne a un método implementado por ordenador de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón.

Dicho método constará por lo tanto de cálculos y algoritmos ejecutados en un ordenador para, a partir de unos datos de entrada, obtener como datos de salida una predicción de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar.

El método propuesto comprende las siguientes etapas:

25 calcular unos valores de resistividad eléctrica de al menos una zona interior del hormigón constitutivo de una estructura de hormigón a analizar a partir de unos valores de resistencia eléctrica, ajustados para ser comparables, calculados a partir de unas lecturas de resistencia eléctrica obtenidas de al menos una zona interior del hormigón y considerando unas mediciones de temperatura obtenidas en dicha al menos una zona interior;

30 aplicar un modelo de predicción para calcular un valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar, calculada a partir de los valores de resistividad y considerando al menos una información almacenada referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón a analizar, y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón a analizar.

Por lo tanto, el método propone primero obtener unas lecturas de resistencia eléctrica y de temperatura de una zona interior, alejada de la superficie exterior, de una estructura de hormigón a analizar.

A partir de dichas lecturas de resistencia eléctrica se calculan unos valores de resistividad que, además, se ajustan teniendo en cuenta las mediciones de temperatura obtenidas a la vez que las lecturas de resistencia eléctrica.

Se entenderá que lecturas tomadas con unos minutos de diferencia, en un elemento de alta inercia térmica como una estructura de hormigón, pueden considerarse como lecturas obtenidas a la vez.

Dichos valores de resistividad ajustados son comparables con otros valores de resistividad calculados a partir de lecturas de resistencia eléctrica tomadas en momentos distintos con temperaturas diferentes.

El citado ajuste puede realizarse, por ejemplo, mediante una interpolación lineal, mediante la ecuación de Arrhenius, o mediante otros métodos matemáticos alternativos.

Opcionalmente, el cálculo de los valores de resistividad eléctrica se puede realizar considerando también al menos una información almacenada referente a la geometría del elemento de hormigón y a la posición de la citada al menos una zona interior dentro de dicha geometría y/o referente a la distancia entre dicha al menos una zona interior y unas superficies exteriores del elemento de hormigón circundantes.

Los valores de resistividad, calculados a partir de lecturas de resistencia eléctrica obtenidas en zonas interiores de la estructura de hormigón, se ven afectadas por la geometría de dicha estructura de hormigón, y por la proximidad de los límites de la estructura de hormigón (las superficies exteriores de la estructura de hormigón) a la zona interior donde se han medido las lecturas de resistencia eléctrica.

Al calcular los valores de resistividad considerando dicha información almacenada antes mencionada, se pueden ajustar los valores de resistividad para hacerlos comparables con valores de resistividad obtenidos en un elemento de hormigón semi infinito, es decir de una dimensión tal que sus límites no afecten a los valores de resistividad, permitiendo así la comparabilidad de valores de resistividad obtenidos en diferentes zonas interiores o en diferentes estructuras de hormigón, permitiendo mejorar la predicción de la vida útil y/o el modelo de predicción.

El modelo de predicción será un modelo obtenido a partir de pruebas empíricas de laboratorio, a una determinada temperatura, típicamente a 20°C. Es por este motivo que, para poder

aplicar dicho modelo de predicción sobre los datos obtenidos de la estructura de hormigón, la resistividad calculada a partir de las lecturas de resistencia eléctrica se ha ajustado para hacerla equiparable con los datos en los que se basa el modelo de predicción.

Los valores de resistividad eléctrica se pueden calcular, alternativa o adicionalmente, considerando también al menos una información almacenada referente a la geometría de una sonda de resistencia eléctrica situada en dicha al menos una zona interior encargada de proporcionar las lecturas de resistencia eléctrica, dado que la separación, longitud y/o diámetro de los electrodos constitutivos de dicha sonda de resistencia eléctrica tiene una repercusión en los datos obtenidos.

Se propone también que el ajuste de los valores de resistencia eléctrica se pueda realizar para obtener unos valores comparables con unos valores de resistencia eléctrica obtenidos a una temperatura preestablecida, por ejemplo, a unos 20°C que es la temperatura típica de trabajo en los laboratorios, y/o comparables con unos valores de resistencia eléctrica obtenidos en un elemento de hormigón semi infinito.

Una vez se han obtenido los valores de resistividad ajustados, se procede a aplicar un modelo de predicción que permite calcular un valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar, como por ejemplo una predicción del tiempo restante hasta el inicio de la corrosión de las armaduras de la estructura de hormigón a analizar y/o un valor de la velocidad de penetración de cloruros en la estructura de hormigón a analizar y/o un valor equivalente a un valor resultante de un ensayo ASTM C1202 ("Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" conocido en la industria como "RCPT" por "Rapid Chloride Penetration Test") del ASTM ("American Society for Testing and Materials"), que es un estándar de facto a nivel mundial para la caracterización de durabilidad de mezclas de hormigón, o de un ensayo equivalente de otro organismo de estandarización y/o de análisis de materiales.

Para calcular el valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón el modelo de predicción utiliza los valores de resistividad ajustados antes mencionados y también una información almacenada referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón a analizar, y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón a analizar, todos estos parámetros que tienen incidencia en la vida útil de la estructura de hormigón.

El espesor del recubrimiento tiene también incidencia en la vida útil de la estructura de hormigón, pues menores espesores de recubrimiento tienden a proteger durante menos tiempo a las armaduras frente a la corrosión.

5 El ambiente de exposición tiene también un impacto en la vida útil de la estructura de hormigón. Se entiende que el ambiente de exposición son aquellos agentes ambientales agresivos al hormigón al que está expuesta estructura de hormigón, existentes en su emplazamiento, como por ejemplo agua salada, terrenos acidificados o con sulfatos, lluvia con un determinado nivel de acidez, contaminantes, o productos químicos manufacturados presentes en la zona donde se emplaza la estructura de hormigón, o el uso habitual de sal
10 durante el invierno, junto con las características climáticas de la zona en que está emplazada la estructura (precipitaciones, humedad relativa, sumergida o al aire, etc.). La concentración de dichos productos y las condiciones climáticas tienen también un impacto en la vida útil de la estructura de hormigón, por lo que su consideración en el modelo de predicción es importante para obtener un resultado fiable.

15 El modelo de predicción puede considerar también una información almacenada referente a la composición del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón a analizar, referente a la relación agua/cemento del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón a analizar, y/o unas mediciones de potencial de corrosión de las armaduras, de penetración de cloruros, de humedad, de pH del hormigón, y/o de carbonatación del hormigón obtenidas en dicha al
20 menos una zona interior. Todos estos son factores que también pueden tener una incidencia en la vida útil de la estructura de hormigón.

El modelo de predicción puede considerar también datos climáticos, como por ejemplo temperatura ambiente, precipitaciones, humedad relativa, viento, etc., que se obtienen de sensores o estaciones meteorológicas en la obra, o datos meteorológicos públicos de
25 estaciones cercanas.

El modelo de predicción podrá contener información almacenada referente a la diferente evolución de la vida útil en estructuras de hormigón con distintas composiciones conocidas de hormigón, permitiendo así ajustar el cálculo del valor indicativo de la vida útil a la composición concreta del hormigón utilizado.

30 El modelo de predicción puede incluir también calcular una predicción de la evolución de la porosidad y/o de la permeabilidad al cloruro y/o de la carbonatación del hormigón de la estructura de hormigón a analizar, calculada a partir de los parámetros antes mencionados.

Se propone también que el modelo de predicción pueda estar ajustado considerando unos valores de resistividad calculados a partir de unas mediciones de resistencia eléctrica de al menos una zona interior de una probeta de hormigón, con la misma composición que la estructura de hormigón a analizar, sometida a pruebas de desgaste acelerado en un laboratorio. Las lecturas obtenidas de dicha probeta de hormigón serán objeto de los mismos cálculos que las lecturas obtenidas de la estructura de hormigón, primero para obtener unos valores de resistividad ajustados, y luego para obtener unos valores indicativos de la vida útil.

La vida útil observada o prevista de la probeta de hormigón puede servir para la mejora del modelo de predicción aplicado a la estructura de hormigón, obteniendo una mejor estimación de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar. El uso de la unidad sensora en probetas de hormigón se hace para caracterizar el material, ya que las probetas pueden curarse en condiciones conocidas y controladas. Las lecturas obtenidas en las probetas de hormigón y en la estructura de hormigón, para una misma composición de hormigón, puede indicar problemas de colocación o curado en obra si difieren mucho.

Cuando se usa la unidad sensora en probetas se puede aplicar un factor de corrección geométrico, diferente para cada tipo de probeta y así se corrigen los resultados obtenidos frente a la estructura de hormigón, que cuando es un elemento estructural tiene dimensiones mucho mayores que las probetas, haciéndolos comparables. También se puede obtener este factor geométrico para elementos de hormigón esbeltos, por ejemplo, mediante experimentación.

Dichas probetas se pueden someter a pruebas de desgaste acelerado, usando las mediciones de resistencia eléctrica y temperatura obtenidas de la probeta para mejorar las proyecciones de corrosión de las armaduras y/o de vida útil de la estructura de hormigón.

Se entenderá que las pruebas de desgaste acelerado podrán incluir pruebas de compresión, tracción, flexión, torsión, vibración y/o aplicación de agentes agresivos como los existentes en el emplazamiento de la estructura de hormigón o con concentraciones superiores.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención concierne también a un sistema de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón, el sistema comprendiendo, de un modo en sí conocido:

al menos una unidad sensora que integra una sonda de temperatura y una sonda de resistencia eléctrica compuesta por cuatro electrodos, protuberantes de un soporte electro-aislante, coplanares y paralelos entre sí, los cuatro electrodos siendo dos

electrodos excitadores, conectados a una fuente de corriente continua, y dos electrodos medidores conectados a un medidor de potencial eléctrico;

un sistema de control, en conexión con la sonda de temperatura y con el medidor de potencial eléctrico.

- 5 Así pues, la unidad sensora, que es al menos una, incluirá una sonda de temperatura y otra de resistencia eléctrica compuesta típicamente por cuatro electrodos, típicamente cuatro varillas conductoras de alta durabilidad en el medio en que son colocadas (interior del hormigón), que constituyen dos circuitos eléctricos, uno de ellos conectado a una fuente de corriente continua, como una batería o una toma de corriente, a través de un primer circuito
- 10 eléctrico, y dos electrodos medidores conectadas a un medidor de potencial eléctrico, como un voltímetro, a través de un segundo circuito eléctrico, estando los dos electrodos medidores y los dos electrodos excitadores paralelos, y coplanares. Preferiblemente, los dos electrodos medidores están situados entre los dos electrodos excitadores.

Al aplicar una corriente continua a los electrodos excitadores, entre los mismos se genera un

15 potencial eléctrico que, entre los electrodos medidores, es medible por el medidor de potencial eléctrico.

La presente invención propone también, de un modo no conocido en el estado de la técnica, lo siguiente:

caracterizado porque

- 20 dicha al menos una unidad sensora está embebida en una zona interior del hormigón constitutivo de una estructura de hormigón a analizar;
- el sistema de control almacena al menos información referente a la composición del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón a analizar, referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón a analizar,
- 25 y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón a analizar; y
- el sistema de control está configurado para implementar el método descrito anteriormente, es decir para obtener unos valores de resistividad ajustados sobre los que aplicar un modelo de predicción que proporcione un valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar considerando información almacenada
- 30 referente a la geometría y composición del elemento de hormigón a analizar y a su ambiente de exposición.

Así pues, la unidad sensora está embebida dentro de la estructura de hormigón a analizar, quedando las sondas situadas en una zona interior de la estructura de hormigón alejada de

sus superficies exteriores, con lo que fenómenos superficiales no afectarán a las lecturas obtenidas por las sondas.

Preferiblemente, la unidad sensora no estará situada en el recubrimiento de hormigón de las armaduras, sino que estará contenida dentro de la parte de la estructura de hormigón rodeada por las armaduras.

Las lecturas de resistencia eléctrica obtenidas de dicha sonda de resistencia eléctrica se ajustan con la temperatura medida por la sonda de temperatura situada en esa misma zona interior y obtenida a la vez que la lectura de resistencia eléctrica, resultando en un valor de resistividad eléctrica ajustada del hormigón constitutivo de la zona interior de la estructura de hormigón a analizar.

Dicho cálculo puede además considerar también la geometría del sensor, su posición dentro de la estructura de hormigón y de propia geometría de la estructura de hormigón a analizar en el que está embebido, especialmente las superficies exteriores de la estructura de hormigón próximas a la zona interior y cuya presencia pueden alterar las lecturas de la sonda de resistencia eléctrica.

El valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón se obtiene aplicando un modelo de predicción que utiliza los valores de resistividad ajustados y también otros valores como la composición química del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón a analizar, referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón a analizar, y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón a analizar para tal cálculo.

El valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón a analizar puede ser el tiempo restante hasta el inicio de la corrosión de las armaduras de la estructura de hormigón a analizar, un valor de la velocidad de penetración de cloruros en la estructura de hormigón a analizar y/o un valor equivalente a un valor resultante del ensayo ASTM C1202 ("Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" conocido en la industria como "RCPT" por "Rapid Chloride Penetration Test") del ASTM ("American Society for Testing and Materials"), preferiblemente según su versión en vigor a 2021, que ofrece un valor medido en Columbios, o de un ensayo equivalente.

El ensayo ASTM C1202 ("RCPT") de la ASTM es un ensayo que, a falta de otros ensayos equivalentes de otras instituciones de prestigio equivalente, se ha convertido en un estándar a nivel mundial para este tipo de análisis de vida útil de una estructura de hormigón.

Típicamente, la estructura de hormigón a monitorizar podrá ser un elemento de hormigón prefabricado o un elemento de hormigón fabricado in-situ, tanto de obra civil como de edificación. Algunos ejemplos de estructuras de hormigón donde se puede aplicar la presente invención son vigas, pilares, forjados, soleras, muros de contención, dovelas o segmento cilíndrico de túneles o de torre hueca por ejemplo eólicas, tramos de puente, flotadores o columnas de asiento para torres eólicas marinas o para plataformas marinas, componentes de obras hidráulicas como canales, conducciones, presas, estructuras marinas, estructuras portuarias, rompeolas, muelles, diques, etc.

Se contempla también que la estructura de hormigón sea una probeta usada para la caracterización de hormigón en laboratorio.

La presente invención permite una respuesta inmediata y permanente, tras el vertido del hormigón en el molde o encofrado, que facilita la toma de decisión sobre la dosificación o composición elegida, garantizando el cumplimiento de las especificaciones exigidas en proyecto.

Esta invención proporciona también información sobre compactación, fraguado y curado del hormigón vertido en obra, y su correlación con el hormigón caracterizado, permitiendo confirmar el cumplimiento de las especificaciones de proyecto. Además, el cálculo y la certificación de la predicción de la vida útil de la estructura de hormigón permite mantener mejor el valor de la estructura de hormigón en el tiempo, e incentiva la mejora de la calidad de las estructuras de hormigón permitiendo certificar su mayor durabilidad, con las mejoras económicas y de impacto ambiental que ello supone.

Se contempla que una misma estructura de hormigón pueda contener múltiples unidades sensoras en diferentes ubicaciones y orientaciones, por ejemplo, en zonas traccionadas de la estructura de hormigón, en zonas comprimidas o incluso en la zona de fibra neutra, permitiendo un análisis específico de cada una de dichas zonas.

La citada unidad sensora estará embebida dentro de la estructura de hormigón, quedando los electrodos en contacto con el hormigón, en la ubicación y orientación deseada. Dicha unidad sensora podrá situarse en cualquier posición y en cualquier orientación, dentro del hormigón, siguiendo un plan de monitoreo de la estructura de hormigón.

El plan de monitoreo analizará la estructura de hormigón, su geometría y sus requerimientos resistentes, para identificar aquellas zonas internas de la estructura de hormigón más representativas para la obtención de datos que permitan calcular una predicción de vida útil fiable.

Por ejemplo, cuando la estructura de hormigón contenga armaduras, y/o cables de postensado o pretensado, el plan de monitoreo podrá determinar que la unidad sensora esté situada y orientada para que los electrodos queden situados dentro del espesor de hormigón de recubrimiento de las armaduras, o entre armaduras, donde las lecturas serán más representativas para determinar la potencial corrosión de las armaduras, sin embargo otras posiciones desligadas de las armaduras también se contemplan, como en la región central de la estructura de hormigón.

Combinando varias unidades sensoras situadas en diferentes posiciones dentro de la estructura de hormigón se pueden comparar las lecturas obtenidas de ellas, permitiendo detectar diferencias entre ellas que permiten una mejor predicción de la vida útil de la estructura de hormigón.

Por ejemplo, una diferencia detectada entre las lecturas obtenidas de las zonas traccionadas y otras regiones no traccionadas puede permitir determinar con mayor precisión la evolución de dichas zonas traccionadas.

Al posicionar la unidad sensora en esta posición se obtienen lecturas de la resistencia eléctrica de zonas internas definidas de la estructura de hormigón, por lo que las lecturas obtenidas son mucho más representativas del estado real de la estructura de hormigón, y por lo tanto permitiendo estimar con mucha más precisión la evolución de durabilidad y predicción de la vida útil de dicho elemento.

Las zonas más superficiales de la estructura de hormigón, es decir su superficie exterior o los primeros milímetros de profundidad, pueden presentar una porosidad diferente a la de capas más profundas de la estructura de hormigón incluso antes de sufrir un deterioro con el tiempo, por ejemplo debido a un incorrecto curando superficial, ya sea por variaciones excesivas de la temperatura superficial, por una evaporación superficial excesiva durante el curado, por un incorrecto vibrado, o por otros motivos.

Además, el deterioro y el incremento de la porosidad de la superficie externa de la estructura de hormigón puede ser más rápido que en capas más profundas próximas a las armaduras. Al situar el sensor embebido en zonas interiores alejadas de la superficie exterior, dentro de la estructura de hormigón, se obtienen lecturas de resistencia eléctrica y temperatura mucho más representativas de la porosidad real de la estructura de hormigón, y de su evolución en el tiempo, que los medios actuales de medición de resistencia eléctrica desde el exterior del elemento, o mediante muestras de laboratorio.

Estas lecturas permiten, por lo tanto, que el sistema realice un cálculo de vida útil, entre otros cálculos posibles, en base a los datos de temperatura y resistencia eléctrica de diversos sensores embebidos dentro de la estructura de hormigón, y de la evolución de dichas lecturas en el tiempo.

- 5 Por ejemplo, se puede obtener información de la calidad del curado del elemento comparando la resistividad de la capa de recubrimiento, deducida a partir de las lecturas de resistencia eléctrica, con la del interior, información de diferenciales y gradientes térmicos, madurez, etc.
- Dado que se realizan múltiples lecturas a lo largo del tiempo, por ejemplo, con cierta periodicidad preestablecida como cada hora, cada día o cada semana, se puede detectar la
- 10 evolución de dichas lecturas con el tiempo, permitiendo estimar su evolución futura, por ejemplo, comparándolos con modelos empíricos o teóricos almacenados de elementos de hormigón con igual o similar composición.

Esto permite estimar la evolución de las características que definen la durabilidad de la estructura de hormigón a partir de dichas lecturas y de dicha información almacenada.

- 15 La evolución a lo largo del tiempo del hormigón que constituye el elemento de la estructura, junto con su composición y las condiciones de exposición ambiental al que está sometido, son cruciales para determinar la futura evolución de la corrosión de las armaduras y por lo tanto cual será la vida útil de la estructura de hormigón, que podrá estimarse a partir de dichas lecturas e información adicional.

- 20 Si se incluyen múltiples unidades sensoras distribuidas por diferentes regiones de la estructura de hormigón, se puede obtener un modelo que estime la evolución de las características de durabilidad en las diferentes zonas de la estructura de hormigón, permitiendo obtener un modelo de la evolución y deterioro de todo el conjunto de la estructura de hormigón, lo que permite planificar mejor las actuaciones locales necesarias para prolongar
- 25 la vida en servicio de la estructura de hormigón en su conjunto.

- Los electrodos estarán situados dentro de la estructura de hormigón, por ejemplo, entre el soporte electro-aislante y la región de la superficie exterior de la estructura de hormigón más próxima a la unidad sensora, es decir que las sondas se extenderán desde el soporte electro-aislante hacia el exterior de la estructura de hormigón, midiendo la resistencia eléctrica de la
- 30 capa de hormigón que reviste las armaduras.

Los cuatro electrodos pueden estar aproximadamente equidistantes a la región de la superficie exterior de la estructura de hormigón más próxima a la unidad sensora, ofreciendo

una lectura más homogénea del estado del hormigón a una cierta profundidad respecto a su superficie exterior.

La información almacenada en el sistema de control puede contener también información referente a agentes ambientales agresivos al hormigón al que está expuesta estructura de

- 5 hormigón, existentes en su emplazamiento, como por ejemplo agua salada, terrenos acidificados o con sulfatos, lluvia con un determinado nivel de acidez, contaminantes, o productos químicos manufacturados presentes en la zona donde se emplaza la estructura de hormigón. Dicha información podrá obtenerse, por ejemplo, mediante mediciones in-situ de la composición química del suelo, del agua, del aire y/o de la lluvia en el emplazamiento de la
- 10 estructura de hormigón.

Dicha información almacenada contiene también el espesor del recubrimiento de las armaduras, u otra información referente a la geometría de la estructura de hormigón, obtenidas mediante mediciones in-situ o del proyecto constructivo. Esta información incluye, además, la composición del hormigón, como el tipo de cemento, tipo y contenido de adiciones

- 15 puzolánicas, relación agua/cemento, tamaño y composición de los áridos, etc.

Se propone también que el sistema pueda incluir, como elementos independientes o integrados en el soporte electro-aislante, sensores adicionales como por ejemplo sensores de potencial de corrosión de las armaduras, sensores de penetración de cloruros, de humedad, de pH del hormigón.

- 20 Dichos sensores adicionales estarán también conectados al sistema de control, que estará configurado para utilizar también los datos obtenidos de dichos sensores adicionales en el cálculo de la proyección de la corrosión de las armaduras y/o de la proyección de vida útil de la estructura de hormigón, posiblemente mejorando la previsión y/o permitiendo alertar cuando ocurren ciertos cambios en estas lecturas.

- 25 La citada al menos una unidad sensora puede estar conectada a una primera antena inalámbrica, y el sistema de control puede estar conectado a una segunda antena inalámbrica en comunicación con la primera antena inalámbrica.

Dicha primera antena podrá ser una antena por cada unidad sensora, o podrá ser una única antena compartida por múltiples unidades sensoras.

- 30 La primera antena puede también estar embebida dentro de la estructura de hormigón, por ejemplo, integrada en la sonda electro-aislante, o puede estar en su exterior, en comunicación con la o las unidades sensoras mediante cableado.

El sistema de control puede ser un sistema de control local, situado anexo a la estructura de hormigón, pero se contempla también que pueda ser un sistema de control remoto que se comunique con las unidades sensoras por medios inalámbricos, por ejemplo, a través de internet, usando dichas primera y segunda antenas.

- 5 Según otra realización de la invención propuesta, la fuente de corriente continua y/o el medidor de potencial eléctrico pueden ser externos a la estructura de hormigón, y estar conectados con la unidad sensora a través de un cableado al menos parcialmente embebido en la estructura de hormigón.

Alternativamente, la fuente de corriente continua y/o el medidor de potencial eléctrico están
10 integrados en la unidad sensora y embebidos en la estructura de hormigón.

El medidor de potencial eléctrico embebido podrá estar en conexión con el sistema de control, que es externa a la estructura de hormigón, de forma inalámbrica, por ejemplo, a través de dichas primera y segunda antena inalámbricas, o alternatively podrán estar conectados mediante cableado.

- 15 La fuente de corriente continua podrá ser una batería. Cuando dicha batería esté embebida en estructura de hormigón, se contempla que la unidad sensora incluya también una antena inductiva para la carga inductiva de la batería desde el exterior de la estructura de hormigón. Alternativamente, la batería podrá incluir un cableado de recarga esporádica accesible desde el exterior de la estructura de hormigón para la conexión esporádica a una fuente de corriente
20 externa. Se contempla también que la batería no pueda ser recargada y que la unidad sensora solamente funcione hasta el agotamiento de la batería.

Se propone también que el elemento electro-aislante sea macizo con los componentes electrónicos embebidos en su interior, por ejemplo, con una carcasa plástica rellena de resina epoxy, para la protección de la unidad sensora frente a impactos recibidos durante el vertido
25 del hormigón y principalmente para la protección de dichos componentes electrónicos ante la agresividad química del hormigón en el que están embebidos.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención propone un método de predicción de la vida útil de elementos de hormigón implementado por ordenador.

El citado método de predicción se implementará con un sistema como el descrito en otras
30 partes de este documento.

Otras características de la invención aparecerán en la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización.

Breve descripción de las figuras

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

5 la Fig. 1 muestra una sección transversal esquemática de una viga o de un pilar de hormigón armado que constituye una estructura de hormigón a analizar, dentro de la cual se incluyen dos unidades sensoras de acuerdo con una primera realización del sistema de predicción de vida útil;

la Fig. 2 muestra lo mismo que la Fig. 1 pero de acuerdo con una segunda realización dotada de una única unidad sensora, y en la que el sistema de control se comunica con la unidad sensora a través de unas primera y segunda antenas, siendo la primera antena, la fuente de corriente eléctrica y el medidor de potencia eléctrica, externas a la estructura de hormigón;

la Fig. 3 muestra lo mismo que la Fig. 2 pero en donde la primera antena inalámbrica, la fuente de corriente eléctrica y el medidor de potencia eléctrica son internas a la estructura de hormigón;

la Fig. 4 muestra una vista ampliada de la unidad sensora.

Descripción detallada de un ejemplo de realización

Las figuras adjuntas muestran ejemplos de realización con carácter ilustrativo no limitativo de la presente invención.

El sistema de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón incluye una o varias unidades sensoras (10) embebidas en distintas posiciones predeterminadas, y con una orientación específica, dentro de una estructura de hormigón (1), por ejemplo, una estructura como una viga, un pilar, un puente, un edificio, etc.

25 La unidad sensora (10) integra, en un soporte electro-aislante (11), dos electrodos excitadores (21) conectados a una fuente de corriente continua (20), dos electrodos medidores (31) conectados a un medidor de potencial eléctrico (30) y una sonda de temperatura (40). Dicha unidad sensora (10) se muestra en la Fig. 4, y puede tener un tamaño reducido, por ejemplo, inferior a diez centímetros de longitud, y con un grosor inferior a los quince milímetros. Los
30 electrodos pueden ser también de escasa longitud, por ejemplo, con una longitud igual o inferior a los diez milímetros o incluso igual o inferior a los cinco milímetros.

Opcionalmente la unidad sensora (10) integra también sensores de potencial de corrosión, de penetración de cloruros, de humedad, y/o de pH del hormigón, entre otros, que quedarán también en contacto estrecho con el hormigón y/o las armaduras.

5 Las sondas de la unidad sensora, incluyendo la sonda de resistencia eléctrica conectada al medidor de potencial eléctrico (30), se conectan a un sistema de control (50) externo a la estructura de hormigón, típicamente un dispositivo de computación como un ordenador, un servidor, un teléfono inteligente, o similar, o un conjunto de dispositivos de computación en comunicación unos con otros.

10 La unidad sensora (10) podrá incluir, por ejemplo, dentro de la carcasa electro-aislante, una memoria para almacenar las lecturas de los sensores y del medidor de potencial eléctrico (30), permitiendo un volcado esporádico de dichos datos hasta el sistema de control (50).

15 De acuerdo con la realización mostrada en la Fig. 1 la conexión de la unidad sensora (10) con el sistema de control (50) se realiza a través de un cable conectado a la unidad sensora (10) y que sale de la estructura de hormigón (1), permitiendo su conexión directa con el sistema de control. Dicha conexión puede ser permanente o puede ser solo ocasional, mediante un conector rápido como por ejemplo un conector USB u otro estándar equivalente de transmisión de datos.

20 En este ejemplo, la sonda de resistencia eléctrica (30) y la fuente de corriente continua (20) son externos a la estructura de hormigón (1) y se conectan a la unidad sensora mediante cables.

25 En la Fig. 3 se muestra una realización alternativa según la cual la sonda de resistencia eléctrica (30) y la fuente de corriente continua (20) están también embebidas en la estructura de hormigón (1), ya sea mediante su integración dentro de la carcasa electro-conductora (11), o estando separados de la misma pero estando conectados a la unidad sensora mediante cableado, por ejemplo permitiendo posicionar dichos elementos en una ubicación más favorable, permitiendo reducir el tamaño de la unidad sensora, o permitiendo compartir dichos elementos entre varias unidades sensoras.

30 La fuente de corriente continua (20) puede ser una toma de corriente cuando es externa a la estructura de hormigón (1), sin embargo, cuando está embebida dentro de la estructura de hormigón (1) la fuente de corriente continua será, por ejemplo, una batería.

Dicha batería puede no ser recargable y tener una vida limitada, puede ser una batería recargable a través de un cable de recarga que sale de la estructura de hormigón (1) permitiendo la recarga esporádica de la misma, o puede ser recargable mediante una antena inductiva embebida dentro de la estructura de hormigón (1) y conectada a dicha batería, permitiendo su recarga por inducción electromagnética desde el exterior de la estructura de hormigón.

La conexión entre las unidades sensoras y el sistema de control puede realizarse a través de una primera antena inalámbrica (61) conectada a la unidad sensora (10) y de una segunda antena conectada al sistema de control (50), permitiendo el intercambio de información entre ambas primera y segunda antenas inalámbricas (61, 62).

Esto permite, por ejemplo, una recogida de datos simultánea de múltiples unidades sensoras embebidas dentro de una misma estructura de hormigón sin necesidad de complicados cableados, y permite también que el sistema de control pueda ser remoto, alejado del emplazamiento de la estructura de hormigón, obteniendo las lecturas de las unidades sensoras de forma remota, por ejemplo, a través de internet, mediante dichas primera y segunda antenas (61, 62). Esto permite también que un mismo sistema de control (50) monitorice múltiples elementos de hormigón diferentes y distanciados dotados de unidades sensoras.

La primera antena (61) puede ser externa a la estructura de hormigón (1), como se muestra en la Fig. 2, pero se contempla también que pueda estar situada dentro de la estructura de hormigón (1), integrada con, o separada de, la carcasa electro-aislante (11).

La Fig. 1 muestra una realización según la cual una estructura de hormigón (1), que en este caso es una sección transversal de una viga o un pilar de hormigón armado, contiene dos unidades sensoras (10) embebidas en su interior dentro del espacio rodeado por las armaduras, es decir sin coincidir con el revestimiento de las armaduras.

Cuando el sistema incluye el medidor de potencial eléctrico (30) y la primera antena inalámbrica (61), externos a la estructura de hormigón (1), se podrán colocar alojados en una caja fijada o encastrada a la estructura de hormigón, permitiendo el acceso y mantenimiento.

REIVINDICACIONES

1. Método implementado por ordenador de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón, caracterizado porque comprende:

calcular, mediante un dispositivo de computación, unos valores de resistividad de al menos una zona interior del hormigón constitutivo de una estructura de hormigón (1) a analizar a partir de unos valores de resistencia eléctrica, ajustados para ser comparables, calculados a partir de unas lecturas de resistencia eléctrica obtenidas de al menos una zona interior del hormigón y considerando unas mediciones de temperatura obtenidas en dicha al menos una zona interior;

aplicar un modelo de predicción, mediante el dispositivo de computación, para calcular un valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón (1) a analizar, calculada a partir de los valores de resistividad y considerando al menos una información almacenada referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón (1) a analizar, y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón (1) a analizar.

2. El método según reivindicación 1 en donde el ajuste de los valores de resistencia eléctrica se realiza considerando también al menos una información almacenada referente a la geometría del elemento de hormigón y a la posición de la citada al menos una zona interior dentro de dicha geometría y/o referente a la distancia entre dicha al menos una zona interior y unas superficies exteriores del elemento de hormigón circundantes.

3. El método según reivindicación 1 en donde el ajuste de los valores de resistencia eléctrica se realiza considerando también al menos una información almacenada referente a la geometría de una sonda de resistencia eléctrica situada en dicha al menos una zona interior encargada de proporcionar las lecturas de resistencia eléctrica.

4. El método según reivindicación 1, 2 o 3 en donde el ajuste de los valores de resistencia eléctrica se realiza para obtener unos valores comparables con unos valores de resistencia eléctrica obtenidos a una temperatura preestablecida, y/o comparables con unos valores de resistencia eléctrica obtenidos en un elemento de hormigón de un tamaño tal que pueda ser considerado semi infinito.

5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el ajuste por temperatura de los valores de resistencia eléctrica se realiza mediante una interpolación lineal, mediante la ecuación de Arrhenius.

6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el modelo de predicción considera también una información almacenada referente a la composición del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón (1) a analizar, y/o referente a la relación agua/cemento del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón (1) a analizar.
- 5 7. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el modelo de predicción considera también unas mediciones de potencial de corrosión de las armaduras, de penetración de cloruros, de humedad, de pH del hormigón, y/o de carbonatación del hormigón obtenidas en dicha al menos una zona interior.
8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el modelo de predicción considera también la climatología (temperatura y humedad ambiente, precipitaciones, vientos, soleamiento, etc.) a la que está expuesta la estructura de hormigón en cuestión.
- 10 9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el modelo de predicción incluye calcular una predicción de la evolución de la porosidad y/o de la permeabilidad al cloruro y/o de la carbonatación del hormigón de la estructura de hormigón (1) a analizar.
- 15 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón (1) a analizar es una predicción del tiempo restante hasta el inicio de la corrosión de las armaduras de la estructura de hormigón (1) a analizar y/o un valor de la velocidad de penetración de cloruros en la estructura de hormigón (1) a analizar y/o un valor equivalente a un valor resultante de un ensayo ASTM C1202 ("Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration" conocido en la industria como "RCPT" por "Rapid Chloride Penetration Test") del ASTM ("American Society for Testing and Materials") o de un ensayo equivalente.
- 20 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el modelo de predicción es ajustado considerando unos valores de resistividad calculados a partir de unas mediciones de resistencia eléctrica de al menos una zona interior de una probeta de hormigón, con la misma composición que la estructura de hormigón (1) a analizar, sometida a pruebas de desgaste acelerado en un laboratorio.
- 25 12. Sistema de predicción de la vida útil de una estructura de hormigón, el sistema comprendiendo:

al menos una unidad sensora (10) que integra una sonda de temperatura (40) y una sonda de resistencia eléctrica compuesta por cuatro electrodos (21, 31), protuberantes
- 30

de un soporte electro-aislante (11), coplanares y paralelos entre sí, los cuatro electrodos (21, 31) siendo dos electrodos excitadores (21), conectados a una fuente de corriente continua (20), y dos electrodos medidores (31) conectados a un medidor de potencial eléctrico (30);

- 5 un sistema de control (50), en conexión con la sonda de temperatura (40) y con el medidor de potencial eléctrico (30);

caracterizado porque

dicha al menos una unidad sensora (10) está embebida en una zona interior del hormigón constitutivo de una estructura de hormigón (1) a analizar;

- 10 el sistema de control (50) almacena al menos información referente al espesor del recubrimiento de hormigón de unas armaduras de la estructura de hormigón (1) a analizar, y referente al ambiente de exposición de la estructura de hormigón (1) a analizar; y

- 15 el sistema de control (50) está configurado para implementar el método descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 anteriores.

13. El sistema según reivindicación 12 en donde el sistema de control (50) almacena también:

información referente a la composición del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón (1) a analizar; y/o

- 20 información referente a la geometría del elemento de hormigón y a la posición de la citada al menos una zona interior dentro de dicha geometría; y/o

información referente a la distancia entre dicha al menos una zona interior y unas superficies exteriores del elemento de hormigón circundantes; y/o

información referente a la geometría de la sonda de resistencia eléctrica; y/o

- 25 información referente a la relación agua/cemento del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón (1) a analizar.

14. El sistema según reivindicación 12 o 13 en donde dicha al menos una unidad sensora (10) incluye sensores adicionales seleccionados entre sensores de potencial de corrosión de las armaduras de la estructura de hormigón (1) a analizar y/o sensores de penetración de cloruros, de humedad y/o de pH del hormigón constitutivo de la estructura de hormigón (1) a
30 analizar, estando dichos sensores conectados al sistema de control (50) que está configurado para utilizar también los datos obtenidos de dichos sensores en el cálculo del valor indicativo de la vida útil de la estructura de hormigón (1) a analizar.

15. El sistema según reivindicación 12, 13 o 14 en donde la citada al menos una unidad sensora (10) incluye una primera antena (61), el sistema de control (50) incluye una segunda antena (62) y está en comunicación con la unidad sensora (10) a través de la comunicación entre dichas primera y segunda antenas (61, 62).
- 5 16. El sistema de predicción según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15 anteriores en donde la fuente de corriente continua (20) y/o el medidor de potencial eléctrico (30) están integrados en la unidad sensora (10) y embebidos en la estructura de hormigón (1).
17. El sistema de predicción según reivindicación 16 en donde la fuente de corriente continua (20) es una batería y en donde la unidad sensora (10) incluye también una antena inductiva
10 para la carga inductiva de la batería desde el exterior de la estructura de hormigón (1) o en donde la batería incluye un cableado de recarga esporádica accesible desde el exterior de la estructura de hormigón (1) para la conexión esporádica a una fuente de corriente externa.
18. El sistema de predicción según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17 anteriores en donde la fuente de corriente continua (20) y/o el medidor de potencial eléctrico (30) son
15 externos a la estructura de hormigón (1), y se conectan con la unidad sensora (10) a través de un cableado al menos parcialmente embebido en la estructura de hormigón (1).
19. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18 anteriores en donde la sonda de resistencia eléctrica está configurada para aplicar la corriente continua a los electrodos excitadores invirtiendo su polaridad en mediciones sucesivas.
- 20 20. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 19 anteriores en donde sistema incluye también una unidad sensora (10) embebida en una zona interior de una probeta de hormigón, con la misma composición que la estructura de hormigón (1) a analizar.

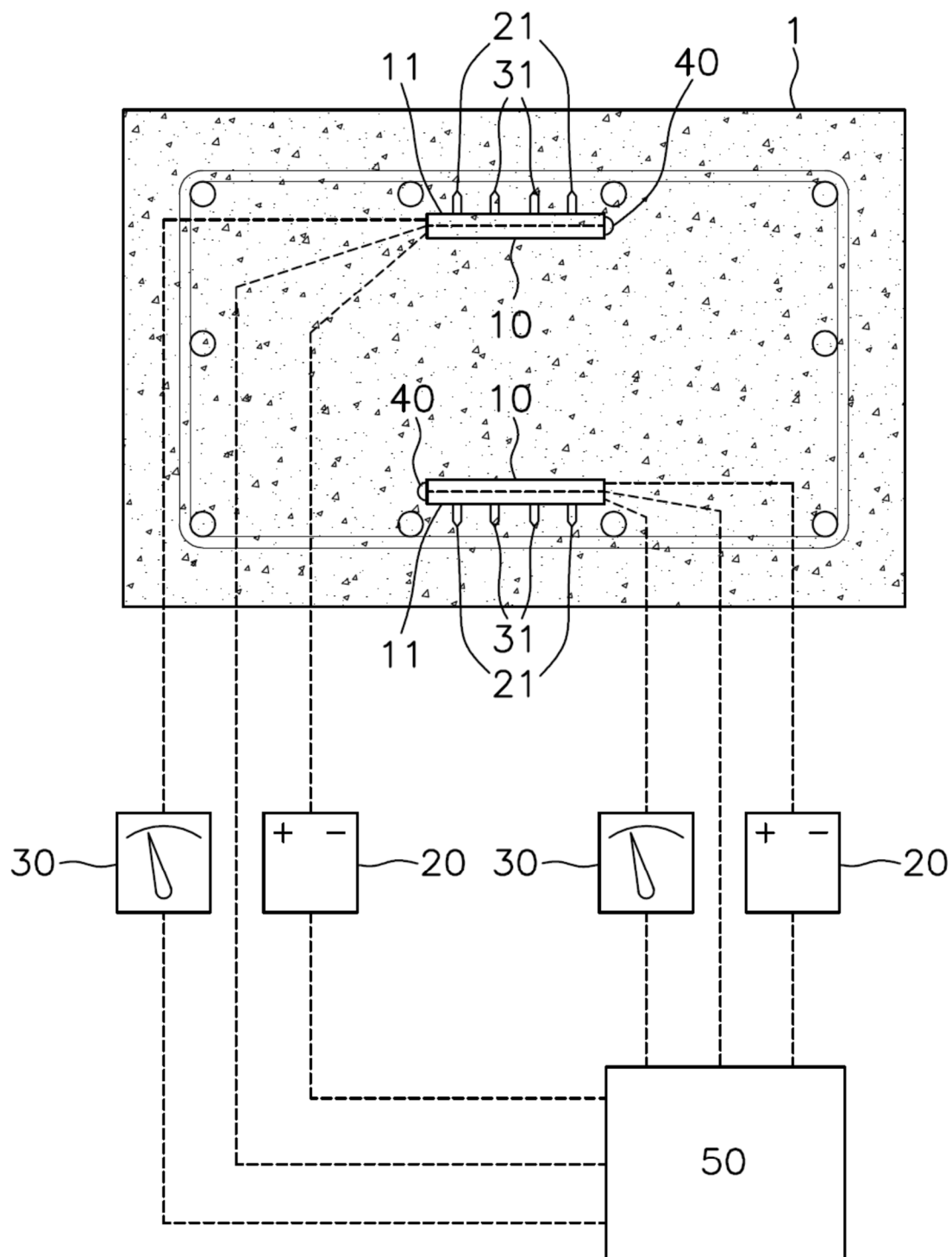


Fig. 1

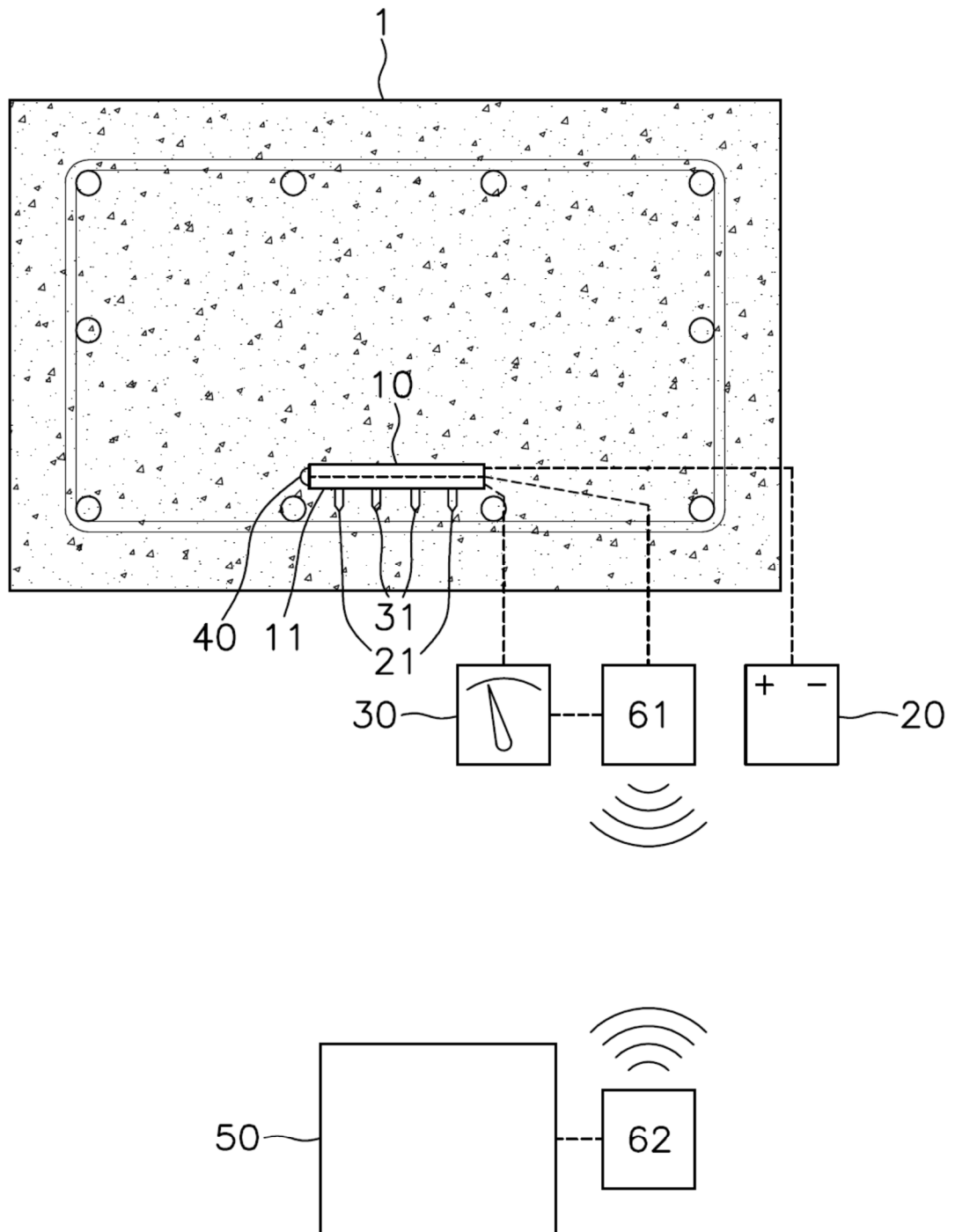


Fig.2

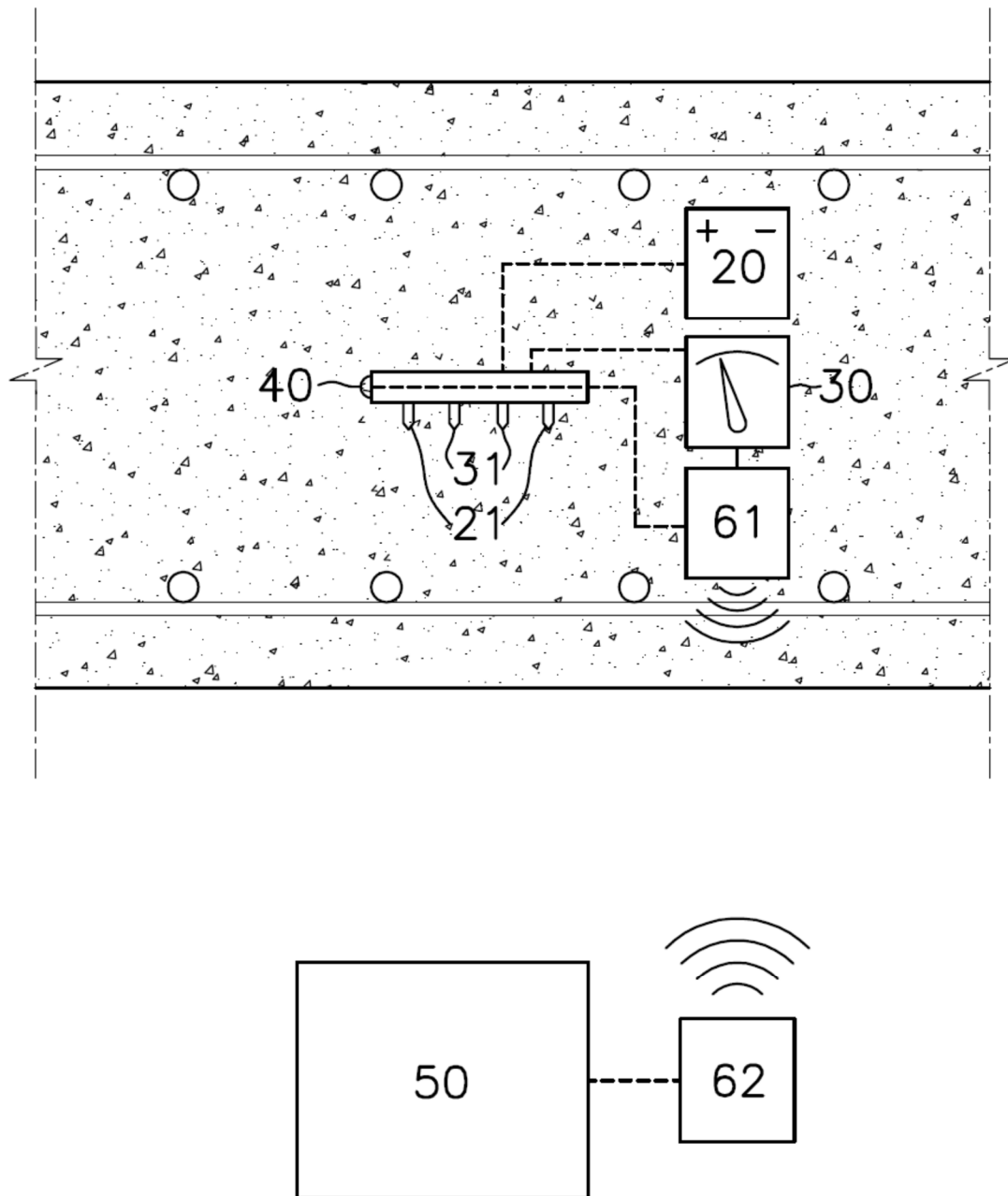


Fig.3

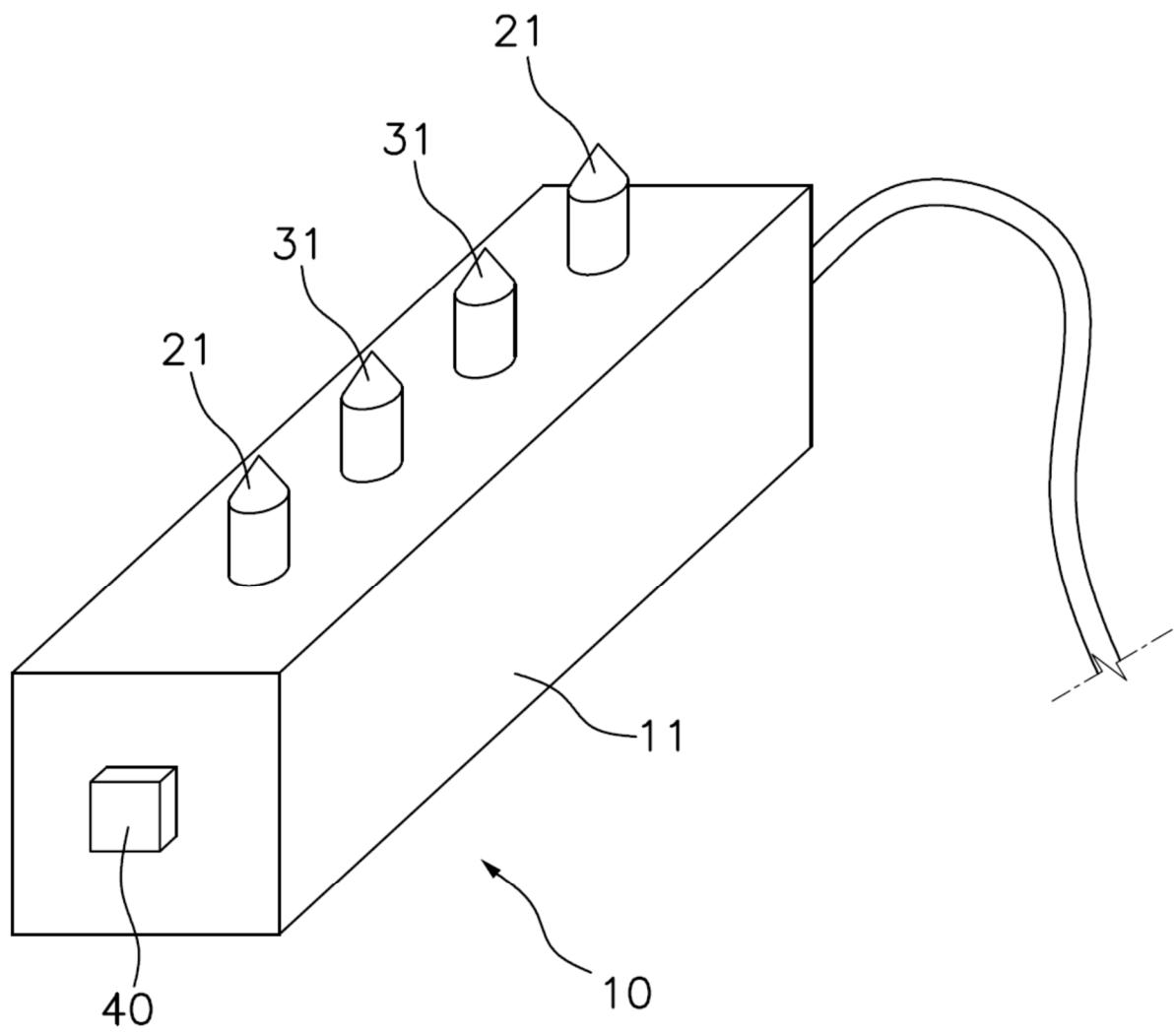


Fig.4