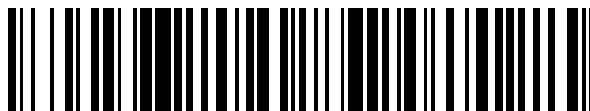


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 093**

21 Número de solicitud: 201730734

51 Int. Cl.:

G01N 29/22 (2006.01)

G05B 23/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

26.05.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

13.03.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu, nº 7
28040 MADRID ES**

72 Inventor/es:

**PÉREZ CALLEJA, Alberto y
PERERA VELAMAZÁN, Ricardo**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **Sistema y método de monitorización estructural**

57 Resumen:

Sistema y método de monitorización estructural de tipo inalámbrico y basado en la monitorización de la impedancia a alta frecuencia en diferentes puntos de una estructura mediante el uso de sensores-actuadores piezoeléctricos y diseñado para determinar en cualquier instante el estado de deterioro real de cualquier estructura (civil, mecánica, aeronáutica, etc.). El sistema consta de uno o varios nodos inalámbricos, un nodo coordinador que gestiona el funcionamiento de todos los nodos inalámbricos y un servidor de almacenamiento y procesamiento de la información y que permite la gestión remota a través de internet del nodo coordinador mediante una interfaz web. El sistema incluye una gestión energética óptima de los distintos módulos.

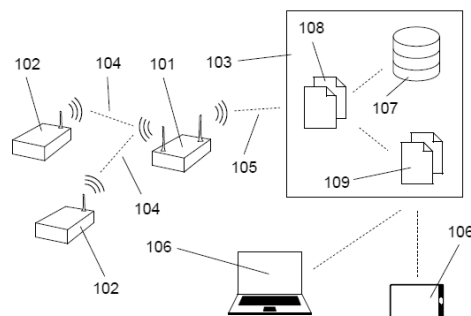


FIG. 1

Sistema y método de monitorización estructural

DESCRIPCIÓN

5 Sector de la técnica

La invención se refiere a un sistema integral de monitorización estructural, de tipo inalámbrico, que se enmarca dentro del área de monitorización del comportamiento de estructuras a corto y largo plazo con el objetivo de determinar el estado de deterioro en el
10 que se encuentra una estructura. La monitorización es aplicable a estructuras de la ingeniería civil, aeronáutica, mecánica o cualquier estructura susceptible de ser monitorizada y evaluada en lo que se refiere al estado en el que se encuentra.

La presente invención se refiere también a un método de monitorización estructural, que
15 hace uso del mencionado sistema de monitorización estructural.

Estado de la técnica

Las estructuras, sean del tipo que sean (puentes, edificios, aviones, barcos, trenes, vías
20 férreas, torres eólicas, etc.), se hayan sometidas a lo largo de su vida útil a una serie de acciones que pueden afectar a su integridad y, por tanto, a la propia seguridad pública.

La evaluación y predicción del estado de una estructura a lo largo del tiempo es, sin lugar a dudas, un factor de especial relevancia en sociedades avanzadas y maduras. Esta
25 evaluación constituye el punto de partida para emprender una política adecuada de mantenimiento y rehabilitación con el fin de preservar y conservar de forma óptima las infraestructuras de nuestra sociedad. No debe obviarse tampoco que esta política puede eliminar posibles situaciones de riesgo derivadas de la mala conservación de las infraestructuras.

30 Estructuras proyectadas con normativas antiguas pueden soportar a lo largo del tiempo procesos de daño y deterioro con respecto a su configuración geométrica original y a las propiedades materiales iniciales que pueden afectar seriamente al desempeño de la función para la cual fueron proyectadas. Se ha de pensar que una estructura puede llegar a soportar
35 a lo largo de su vida útil incrementos de carga no previstos en su proyecto inicial. Piénsese, por ejemplo, que en el dimensionamiento de puentes proyectados hace varios años no se

consideraron los efectos dinámicos derivados del aumento del tamaño y del peso de los vehículos de carga que circulan actualmente por las carreteras. Todo esto, añadido a posibles fenómenos de corrosión y de ataques químicos experimentados por las estructuras a lo largo de su vida útil, puede llegar a producir diferentes tipos de daños en la estructura según su configuración y el material utilizado en su construcción.

A causa de ello, la implementación de un sistema de evaluación de daños en dichas estructuras a partir de la monitorización de su comportamiento resulta de interés primordial para determinar su seguridad y fiabilidad con vista a posibles acciones futuras de mantenimiento y rehabilitación y para evitar posibles catástrofes no asimilables desde el punto de vista humano y social. Además, contribuirá a la reducción de los costes de mantenimiento y reparación al adoptar las medidas necesarias de una manera más eficaz.

Los procedimientos de monitorización estructural convencionales se basan en la instalación de sensores en las zonas más críticas de la estructura y su conexión mediante cables coaxiales al sistema encargado del procesamiento y control de dichos sensores. Este sistema de funcionamiento resulta muy costoso en cuanto a su instalación y mantenimiento hasta el punto que las limitaciones económicas pueden condicionar seriamente la fiabilidad del procedimiento de evaluación.

Las redes inalámbricas de sensores representan una alternativa atractiva y económica a los sistemas de monitorización alámbrica convencionales que está actualmente en pleno desarrollo y que, por tanto, ofrece un potencial de mejora muy amplio. La eliminación de longitudes elevadas de cable coaxial resulta en sistemas inalámbricos de bajo coste. Además, permite la implementación de redes más densas de nodos sensores inalámbricos de bajo coste de los cuales se puede obtener información muy valiosa espacial y temporal sobre el estado de una estructura.

Los nodos sensores inalámbricos son nodos autónomos de adquisición de datos con una capacidad de procesamiento reducida pero suficiente para procesar las señales de entrada proporcionadas por sensores (tradicionalmente galgas de deformación, acelerómetros, sensores de temperatura, etc.) siendo capaces de comunicarse inalámbricamente con otros nodos de la red. En este sentido, estos nodos representan una plataforma en la cual convergen la capacidad de computación, la comunicación inalámbrica y el propio sensor.

Habitualmente, la monitorización inalámbrica de una estructura se lleva a cabo mediante sensores pasivos, es decir, sensores que sólo son capaces de registrar la respuesta de una estructura bajo carga estática o dinámica. En contraste, la monitorización activa permite la interacción directa con la estructura mediante la interrogación proactiva de la misma. La excitación de la misma proviene del propio sensor, que interviene también como actuador, y la respuesta a esa excitación la captura también el propio sensor-actuador. Mediante la evaluación de los parámetros medidos se puede identificar el estado de la estructura.

Por otro lado, los bajos costes derivados del empleo de nodos inalámbricos posibilitan el uso cada vez mayor de redes de sensores más densas capaces de detectar las deficiencias de una estructura a nivel más local. Con este propósito, el uso de sensores activos piezoeléctricos en un entorno inalámbrico representa una solución ideal a bajo coste para la monitorización local de una estructura a largo plazo. Las propiedades mecánico-eléctricas de los materiales piezoeléctricos les hacen idóneos para funcionar como sensores y como actuadores simultáneamente. La impedancia eléctrica de los sensores piezoeléctricos está relacionada con la impedancia mecánica de la estructura a la cual están adheridos. Al depender la impedancia mecánica estructural de las características mecánicas del material de la estructura, cualquier variación experimentada por el espectro de impedancia eléctrica sería un síntoma de daño en la estructura (Método de impedancia electromecánica). Por ello, este tipo de sensores se han empleado en los últimos años como herramienta de detección de daño en sistemas estructurales. Además, como estos sensores trabajan en rangos de frecuencias muy altos, su uso es ideal para detectar daños muy localizados. Sin embargo, el procedimiento habitual para realizar mediciones de impedancia eléctrica con este tipo de sensores se basa en usar analizadores de impedancia que son equipos muy voluminosos, pesados y también muy costosos. Este hecho, junto con la necesidad de utilizar un gran volumen de cables para su puesta en funcionamiento, con el coste y tiempo de instalación que ello conlleva, hacen inviable su empleo como sistema de monitorización permanente a largo plazo, o incluso a corto plazo, de una estructura, excepto en un entorno controlado de laboratorio.

En el Laboratorio Nacional de los Álamos de Estados Unidos se desarrolló un nodo sensor inalámbrico basado en el chip de impedancias AD5933. El nodo sólo consta de un sensor piezoeléctrico, del chip reseñado y de un microcontrolador de 3.3 V. La comunicación inalámbrica se realiza a 2.4 GHz basada en el estándar de comunicaciones creado por el grupo IEEE 802.15.4, enmarcado dentro de las redes de área personal de baja tasa de transferencia de datos (LR-WPAN). La orden de funcionamiento del sensor con sus

parámetros se envía desde el propio nodo y el algoritmo de detección de daño se podría procesar también en el propio microcontrolador del nodo. Una vez se ha efectuado la diagnosis del sistema estructural se envía el resultado desde el controlador a un módulo de telemetría. Los datos registrados en los ensayos se pierden una vez se ha efectuado la

5 diagnosis. En las aplicaciones realizadas con este sistema, el chip AD5933 se utilizó para medir pequeñas impedancias (por debajo de 500 Ohmios); no obstante, debido a la alta impedancia de salida de este chip (que puede llegar hasta 2,4 kΩ) y a su variabilidad, la precisión de las medidas resultaba bastante baja.

10 En la Universidad Nacional de Pukyong en Corea del Sur se mantuvo el mismo concepto desarrollado en Los Álamos, pero se incluyó la capacidad de multiplexado en cada nodo inalámbrico mediante la introducción del chip ADG706. Este chip admite hasta 16 sensores piezoeléctricos por nodo.

15 La patente CN102435853 describe un nodo inalámbrico basado en sensores de impedancia piezoeléctricos con capacidad de multiplexado. El módulo de comunicación inalámbrico usa la banda de frecuencia 433 MHz y el microprocesador incorporado en el nodo es de 32 bits. Para este sistema los consumos en operación son muy elevados y no se hace ninguna referencia a su implementación en un sistema integral de nodos inalámbricos. Sólo se habla

20 de un nodo inalámbrico. Otro tema que no aparece resuelto se refiere a la gestión eficiente de la energía de los nodos sensores.

En general, estos sistemas de sensores piezoeléctricos, si se utilizasen para la monitorización a largo plazo de una estructura, presentarían algunas limitaciones a causa de

25 una deficiente gestión energética de los nodos sensores. Mantener sensores en funcionamiento continuo para un sistema de monitorización a largo plazo no es ni necesario ni adecuado. Además, no se suele hacer ninguna referencia a la gestión del sistema inalámbrico en presencia de una red de nodos sensores inalámbricos y a su manipulación a nivel remoto.

30

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La monitorización de la condición de una estructura a lo largo de su vida útil es crucial para detectar sus deficiencias a lo largo del tiempo. Los sistemas de monitorización tradicionales

35 se basan en redes de sensores que transmiten a servidores mediante cables los datos

medidos. Las principales limitaciones de este tipo de redes son su coste y el tiempo necesario para su despliegue.

En los últimos años, el uso de redes inalámbricas de sensores está ganando cada vez más aceptación a causa de su bajo coste y facilidad de instalación. Sin embargo, existen todavía muchos desafíos referentes a las redes inalámbricas que se deben de ir superando con el tiempo.

Debido a su cada vez mayor desarrollo, existen ya bastantes plataformas comerciales y académicas de sensores inalámbricos. Sin embargo, la gran mayoría de ellas se basa en sensores inalámbricos pasivos. Este tipo de sensores sólo es capaz de captar la respuesta de la estructura ante una carga estática o dinámica.

Esto supone una diferencia importante con respecto a los denominados sensores activos que pueden interactuar o excitar la estructura cuando se desee y capturar la respuesta de la estructura a dicha excitación. Esto supone una ventaja importante ya que se puede interrogar a la estructura sobre su estado en cualquier momento sin necesidad de considerar ninguna fuente de excitación externa.

Para aprovechar las ventajas del uso de sensores piezoeléctricos (PZT) en un entorno de monitorización inalámbrica usando ensayos de impedancia, la presente invención, tal y como se ha señalado anteriormente, se refiere a un sistema de monitorización estructural, de tipo inalámbrico y activo, que permite gestionar remotamente de forma simultánea la monitorización del estado de salud de varias estructuras a través de Internet.

También, tal y como se ha señalado anteriormente, la presente invención se refiere a un método de monitorización estructural que hace uso del mencionado sistema de monitorización estructural.

Esencialmente, el sistema de monitorización estructural objeto de la presente invención incorpora:

- al menos un nodo sensor inalámbrico, que a su vez comprende:

- al menos un sensor piezoeléctrico;

- un microcontrolador;
- un módulo de transmisión inalámbrica RF;
- 5 ○ un módulo analizador de impedancias;
- un multiplexor, y;
- un módulo de gestión de energía.

10

De manera preferente, el módulo de gestión de energía comprende al menos una batería. Dicha batería es preferentemente de tipo Li-Ion.

15

En cuanto a las conexiones entre dichos elementos, cabe señalar que el módulo analizador de impedancias está conectado al microcontrolador y está conectado, a través del multiplexor, al al menos un sensor piezoeléctrico.

20

El microcontrolador del nodo sensor inalámbrico está conectado al módulo de transmisión inalámbrica, y el módulo de gestión de energía está conectado al microcontrolador, al módulo de transmisión inalámbrica, al módulo analizador de impedancias y al multiplexor.

A través del módulo de gestión de energía se proporciona la tensión adecuada al resto de módulos.

25

El al menos un nodo sensor está diseñado para fijarse fácilmente a una estructura a monitorizar, para la realización del ensayo de impedancia electromecánica de la estructura.

30

El sistema de monitorización estructural objeto de la presente invención incorpora:

- al menos un nodo coordinador inalámbrico (típicamente, un nodo coordinador por cada estructura a monitorizar), que a su vez comprende:
 - un microcontrolador;
 - 35 ○ unos medios de alimentación;

- un primer módulo de conexión inalámbrica RF, y;
- un segundo módulo de conexión inalámbrica (por ejemplo, un módulo GPRS).

5

De manera preferente, los medios de alimentación del al menos un nodo coordinador comprenden una unidad de gestión de energía que consiste, bien en un reductor continua-continua conectado a una red eléctrica de tensión continua (típicamente de valores 7-23 V) instalada en la estructura, o bien en un rectificador conectado a una red eléctrica de tensión alterna.

10

Preferentemente, los medios de alimentación proporcionan al al menos un nodo coordinador una tensión de alimentación de 4,2 V.

15

Adicionalmente, los medios de alimentación del al menos un nodo coordinador incorporan una batería intermedia que aporta una funcionalidad UPS (sistema de alimentación ininterrumpida, SAI) para que el al menos un nodo coordinador pueda soportar desconexiones puntuales de dicha red eléctrica externa sin repercutir en el funcionamiento de la red de nodos inalámbricos.

20

Es importante, por tanto, que el nodo coordinador esté siempre conectado.

El primer módulo de conexión inalámbrica RF del al menos un nodo coordinador y el módulo de transmisión inalámbrica RF del al menos un nodo sensor, están configurados para conectarse bidireccionalmente entre sí.

25

El segundo módulo de conexión inalámbrica del al menos un nodo coordinador está configurado para conectarse bidireccionalmente con un servidor externo remoto.

30

El nodo coordinador es el elemento principal del sistema ya que aúna las funciones de coordinación de los demás nodos de la red inalámbrica así como las funciones de pasarela de comunicación con el exterior de la red. Por ello, el sistema de monitorización estructural objeto de la invención está configurado para que, mediante una orden enviada desde el servidor externo remoto al al menos un nodo coordinador, dicho al menos un nodo coordinador ordene al al menos un nodo sensor correspondiente la realización de un ensayo de impedancia electromecánica de la estructura.

35

La orden de realización del ensayo se envía por medio de una aplicación Web desde un dispositivo externo (ordenador, smartphone, tableta, etc.) conectado (por ejemplo, a través de Internet) a al menos un servidor externo remoto.

5

El sistema está configurado para que el al menos un nodo sensor envíe datos procedentes del ensayo de impedancia electromecánica de la estructura al servidor externo remoto, a través del al menos un nodo coordinador correspondiente.

10

El ensayo de impedancia electromecánica de la estructura se produce realizando un barrido a frecuencias elevadas, según el cual el módulo analizador de impedancias produce una forma de onda sinusoidal que, previa transformación en vibración en un sensor piezoeléctrico del nodo sensor, se introduce en la estructura.

15

Posteriormente, el mismo sensor recoge la respuesta vibratoria de la estructura y la transforma en señal eléctrica que es enviada de nuevo al módulo analizador de impedancias.

Preferentemente, el barrido de frecuencias alcanza frecuencias de hasta 100 kHz.

20

Según una posible forma de realización, el barrido abarca desde los 10 kHz hasta los 100 kHz.

25

Preferentemente, el al menos un nodo coordinador comprende una tarjeta de memoria micro-SD, configurada para almacenar los datos de los ensayos recibidos del al menos un nodo sensor asociado a él.

30

También de manera preferente, el al menos un nodo sensor comprende una tarjeta de memoria micro-SD, configurada para almacenar los datos de los ensayos de impedancia electromecánica estructural realizados.

De manera preferente, el sistema de monitorización estructural objeto de la presente invención comprende una pluralidad de nodos sensores inalámbricos.

35

El microcontrolador del al menos un nodo sensor está configurado para mantener en estado de hibernación, con un consumo ínfimo de energía, al analizador de impedancias

y al multiplexor, en tanto no reciba, a través del módulo de transmisión inalámbrica, una orden de realización de un ensayo procedente del al menos un nodo coordinador.

Adicionalmente, de modo preferente, el microcontrolador del al menos un nodo sensor está también configurado para mantener en estado de hibernación al módulo de transmisión inalámbrica, en tanto no reciba una orden de activación procedente de un reloj en tiempo real (RTC) del al menos un nodo sensor. Dicho reloj en tiempo real, RTC, está conectado al módulo de gestión de energía y al microcontrolador. El reloj en tiempo real puede permanecer encendido manteniendo un consumo muy reducido de energía.

De modo más preferente, el propio microcontrolador del al menos un nodo sensor está configurado para mantenerse a sí mismo en estado de hibernación, con un consumo ínfimo de energía, en tanto no reciba una orden de activación procedente del reloj en tiempo real.

Según la configuración mencionada en los párrafos anteriores, se consigue reducir enormemente el consumo de energía de estos sistemas del nodo sensor que, en tanto permanezcan en estado de hibernación, consumirán una corriente del orden de microamperios.

Preferentemente, el al menos un nodo sensor comprende un número de sensores piezoeléctricos seleccionado entre uno y dieciséis. El multiplexor se selecciona lógicamente en función de dicho número de sensores piezoeléctricos. El chip multiplexor (preferentemente un chip ADG706), controlado desde el microcontrolador, permite conectar cualquiera de los sensores piezoeléctricos del nodo sensor. La provisión de un gran número de sensores piezoeléctricos (por ejemplo 16) en el nodo sensor, permite aumentar la densidad de sensores en zonas específicas de la estructura sin necesidad de tener que utilizar otro nodo sensor inalámbrico.

El módulo analizador de impedancias incorpora, para la realización de los análisis, un chip electrónico. Dicho chip es preferentemente un chip AD5933 que integra en un mismo encapsulado todo el hardware necesario para la generación de señal y para el procesamiento digital de la misma.

Para reducir la impedancia de salida del módulo analizador de impedancias, se incorpora un amplificador operacional configurado en modo seguidor de tensión, de manera que

dicho amplificador operacional está conectado entre el chip AD5933 y el multiplexor. De esta manera, se asegura que la impedancia a la salida del módulo analizador de impedancias se mantiene por debajo de 1 ohmio durante todo el ensayo de impedancia electromecánica en cualquiera de las frecuencias del rango de barrido efectuado en el ensayo. Esta característica permite que se puedan medir valores bajos de impedancia electromecánica estructural, donde por valores bajos se entiende aquellos comprendidos por debajo de 500 ohmios.

Según una forma de realización preferente, el módulo de gestión de energía del al menos un nodo sensor comprende un módulo cargador conectado a la batería. Dicho módulo cargador está configurado para conectarse a una fuente de alimentación externa, como por ejemplo un panel solar. Dicho módulo de gestión de energía incorpora a su vez un regulador de tensión continua-continua (reductor lineal de tensión) para garantizar la tensión que precisa el resto de módulos del nodo sensor.

El servidor externo remoto comprende una base de datos en la que se almacenan los datos de los ensayos realizados, así como la información relativa a los nodos coordinadores instalados y a sus correspondientes nodos sensores.

Esta base de datos está configurada, preferentemente, para restringir su acceso únicamente a través de aplicaciones PHP. Esto aporta un grado de seguridad adecuado frente a posibles intentos ilícitos de ataque a la base de datos.

Además, el sistema puede ser gestionado por medio de una aplicación Web que puede ser ejecutada en cualquier dispositivo externo (dispositivo móvil, ordenador, etc), por medio de la cual se gestionan los datos de las redes de sensores instaladas y de los ensayos realizados.

Tal y como ya se ha introducido anteriormente, la presente invención se refiere también a un método de monitorización estructural, que hace uso del sistema de monitorización estructural descrito anteriormente.

El método de monitorización estructural objeto de la presente invención comprende las siguientes fases:

- introducir una orden, a través de un dispositivo externo (dispositivo móvil u ordenador) conectado al servidor externo remoto, de realizar un ensayo de impedancia electromecánica de una estructura seleccionada; la orden se introduce preferentemente a través de una aplicación Web que se ejecuta en el dispositivo externo, y que se comunica con unas aplicaciones PHP que se ejecutan en el servidor externo remoto;

- descargar, por medio del segundo módulo de conexión inalámbrica del nodo coordinador, la información del ensayo en el nodo coordinador;

la información del ensayo comprende una combinación cualquiera de: los identificadores de los nodos sensores que han de entrar en funcionamiento para la realización de un nuevo ensayo; los identificadores de los sensores piezoeléctricos (de cada nodo sensor) que tienen que llevar a cabo el nuevo ensayo; el rango de barrido de frecuencias del ensayo.

- activar el módulo de transmisión inalámbrica del al menos un nodo sensor, por medio del microcontrolador del al menos un nodo sensor;

- interrogar, por medio del microcontrolador del al menos un nodo sensor, y por medio del módulo de transmisión inalámbrica, al al menos un nodo coordinador correspondiente, acerca de la existencia de una orden de realización de un ensayo de impedancia electromecánica estructural;

- recibir, por medio del módulo de transmisión inalámbrica del al menos un nodo sensor, dicha orden de realización del ensayo de impedancia electromecánica estructural;

- activar, por medio del microcontrolador del nodo sensor, el analizador de impedancias y el multiplexor del nodo sensor;

- ordenar, por medio del microcontrolador del nodo sensor, la realización del ensayo de impedancia electromecánica, a través del analizador de impedancias, el multiplexor y el al menos un sensor piezoeléctrico;

- procesar, por medio del analizador de impedancias y del microcontrolador, los datos recibidos por parte del al menos un sensor piezoeléctrico;

- enviar al al menos un nodo coordinador, por medio del módulo de transmisión inalámbrica, los datos del ensayo de impedancia electromecánica realizado;
 - 5 - desactivar, por medio del microcontrolador del al menos un nodo sensor, el módulo de transmisión inalámbrica de dicho al menos un nodo sensor;
 - enviar, al servidor externo remoto, por medio del microcontrolador y del segundo módulo de conexión inalámbrica del al menos un nodo coordinador, los datos
10 procedentes del ensayo de impedancia electromecánica realizado;
 - enviar, desde el servidor externo remoto, al al menos un dispositivo externo, los datos procedentes del ensayo de impedancia electromecánica realizado.
- 15 Preferentemente, la fase de activación del módulo de transmisión inalámbrica de cada nodo sensor implicado, por medio del correspondiente microcontrolador del al menos un nodo sensor, se produce previa activación del microcontrolador por parte de una señal procedente del reloj en tiempo real (RTC).
- 20 Asimismo, de manera preferente, el método comprende desactivar, por medio del microcontrolador del al menos un nodo sensor, el módulo de transmisión inalámbrica del al menos un nodo sensor, inmediatamente después de acabar la recepción de la orden de realización del ensayo de impedancia electromecánica estructural.
- 25 Lo referido en el párrafo anterior se lleva a cabo con fines de ahorro energético, ya que el módulo de transmisión inalámbrica es uno de los elementos de mayor consumo energético dentro del al menos un nodo sensor.
- 30 Consecuentemente, según lo referido en los dos párrafos anteriores, el método comprende de manera preferente volver a activar, por medio del microcontrolador del al menos un nodo sensor, el módulo de transmisión inalámbrica del al menos un nodo sensor, inmediatamente antes del envío de los datos del ensayo de impedancia electromecánica al al menos un nodo coordinador.
- 35 El sistema inalámbrico propuesto en esta invención es un sistema integral ya que no sólo incluye los sensores para realizar ensayos de impedancia sino el conjunto de nodos

sensores, nodo coordinador e interfaz de usuario para controlar el sistema por vía remota a través de Internet.

Los sensores PZT pueden actuar como sensores y como actuadores y, además, trabajan a frecuencias altas a efectos de monitorización estructural. Su acoplamiento electromecánico les permite detectar cambios en la impedancia mecánica de la estructura a partir de la medición de la impedancia eléctrica. Además, el hecho de trabajar con respuestas a alta frecuencia les hace sensibles a daños muy localizados con lo cual, el sistema implementado es muy adecuado para detectar daños pequeños en regiones muy limitadas. Esto permite mejorar la capacidad del sistema de monitorización ya que se puede llegar a una detección a nivel de componentes (local). Además, debido a su bajo coste se podrían implementar redes más densas de sensores en aquellas zonas más críticas de la estructura.

La invención supone una mejora de las técnicas existentes, ya que nunca antes se había concebido una red inalámbrica de sensores de impedancia capaz de ser controlada remotamente a través de internet. Además, una de las características del sistema es la escalabilidad ya que permite añadir de forma fácil nuevos nodos sensores a la red con un solo coordinador para cubrir distintas partes de una estructura a gran escala. El sistema resultante es un sistema flexible, activo y barato (coste de instalación y material).

Descripción de las figuras

La descripción del sistema inalámbrico se acompaña con una serie de figuras que facilitan la comprensión del mismo:

- La Figura 1 muestra el diseño esquemático simplificado del sistema inalámbrico completo.
- La Figura 2 muestra un diseño esquemático simplificado de los módulos que componen el nodo sensor inalámbrico.
- La Figura 3 muestra una representación física del nodo sensor inalámbrico con todos sus detalles.

- La Figura 4 muestra un diseño esquemático simplificado de los módulos que componen el nodo coordinador.
- La Figura 5 muestra una representación física del nodo coordinador con todos sus detalles.

Descripción de un modo de realización de la invención

El sistema de monitorización inalámbrico aquí descrito se basa en la interrogación activa de la estructura a auscultar mediante sensores-actuadores piezoeléctricos y es adecuado para cualquier tipo de estructura que requiera una diagnosis a nivel local de los distintos componentes de la misma. Además, debido a su escaso coste y facilidad de instalación, es adecuado tanto para una auscultación a corto (varias horas) como a largo plazo (sensorización permanente de la estructura durante meses o varios años).

A. Sistema

La Figura 1 muestra el sistema integral de monitorización. Ello incluye un nodo coordinador (101) conectado a uno o varios nodos sensores-actuadores inalámbricos (102) montados en distintas posiciones de la estructura a analizar y un servidor externo remoto (103) desde el cual se administra todo el sistema.

Con los nodos sensores se interroga a la estructura mediante su excitación en distintas zonas y se registra la respuesta en impedancia a esas mismas excitaciones como parámetro característico del estado de la estructura. La comunicación y transmisión de datos entre los nodos sensores y el correspondiente nodo coordinador se realiza de forma inalámbrica (104) mediante los protocolos definidos por el estándar IEEE 802.15.4.

El nodo coordinador aúna las funciones de coordinación de los nodos sensores-actuadores así como las funciones de pasarela (Gateway) para la comunicación con el exterior de la red inalámbrica. Aunque en la Figura 1 sólo se muestra un nodo coordinador, el sistema está diseñado para incluir más nodos coordinadores con sus correspondientes nodos sensores-actuadores. La conexión del nodo coordinador con un servidor externo remoto, desde el cual se realiza la gestión y procesamiento de la información, se hace a través de una conexión GPRS (105). Asimismo, la gestión del sistema a través del servidor remoto se puede hacer desde cualquier lugar a través de

una aplicación Web (109) que puede ser lanzada desde cualquier dispositivo con conexión a internet (106).

B. Nodo sensor inalámbrico

5

10

15

20

La Figura 2 muestra un esquema de uno cualquiera de los nodos sensores inalámbricos. El nodo sensor incluye un microcontrolador (201), un módulo analizador de impedancias (202) con multiplexor (203), un módulo de radio (204), un reloj en tiempo real (205) y una tarjeta de almacenamiento externo micro-SD (206). La alimentación estable de todos estos elementos se consigue mediante un módulo de gestión de energía (209) que comprende un regulador de tensión continua-continua (207) (convertidor DC-DC) a partir de la tensión de la batería (208). Esta batería (208) se recarga mediante un cargador (215) desde una fuente externa de energía (210). Todos estos dispositivos se disponen adecuadamente, según sus características, sobre una misma placa de circuito impreso (PCB) (301). El conjunto se dispone sobre una caja de aluminio con grado de protección IP65 (302) como se muestra en la Figura 3. La unión entre la PCB y la caja hermética se realiza mediante diversas uniones atornilladas (303). Sobre esta caja se añaden los conectores de los sensores-actuadores piezoeléctricos (304), el conector de la fuente de energía externa (305), un botón exterior de encendido-apagado (306) y la antena externa (307) para el módulo de radio. Se dispone de un conector específico (308) para unir los circuitos de la PCB con los conectores de los sensores PZT (304). Los sensores-actuadores piezoeléctricos consisten en unas pastillas de material piezoeléctrico (214 y 309).

25

30

35

Como microcontrolador (201) se utiliza el chip Atmega644PA de 8 bits y bajo consumo. El chip incorpora una memoria flash de 64 KB en la que se almacenan las instrucciones del programa principal y otra memoria de 4 KB con los datos utilizados por dicho programa. Entre estos datos es importante programar la dirección que identifica al nodo coordinador correspondiente al cual debe estar conectado el nodo sensor. El programa consiste en una primera configuración inicial del nodo sensor tras la cual queda correctamente añadido a la red inalámbrica. Posteriormente, el programa pregunta periódicamente al nodo coordinador por nuevas tareas pendientes, típicamente no hacer nada, calibrarse, realizar un ensayo nuevo o enviar los datos del ensayo realizado al nodo coordinador. El microcontrolador se comunica con el módulo radio mediante un puerto serie UART (211). Asimismo, se utiliza un bus I²C (212) para programar el reloj en tiempo real (205) y el chip analizador de impedancias AD5933 (202). Como dispositivo de almacenamiento adicional se utiliza una tarjeta micro-SD (206) que se controla desde el microcontrolador mediante

un bus SPI (213). La gestión eficiente de la energía consumida se hace mediante el microcontrolador. En modo de hibernación se produce la desactivación no sólo de la mayor parte del hardware interno del microcontrolador sino también del módulo radio, el multiplexor y el chip analizador de impedancias. El reloj en tiempo real (205), RTC, es un chip diseñado exclusivamente para mantener unos registros de la hora y fecha actual con un ínfimo consumo de energía. En estado de hibernación permanece despierto esperando a producir una interrupción tras un determinado tiempo, previamente programado, que se usará para despertar al microcontrolador. Desde éste se determinará si es necesario realizar alguna operación con el nodo inalámbrico consultando al nodo coordinador. En caso afirmativo, se procederá a despertar al resto de módulos del nodo mientras que, en caso negativo, se volverá a este estado de hibernación. Con este enfoque, se consigue reducir al orden de microamperios el consumo del nodo sensor mientras está en estado de hibernación.

El módulo sensor-actuador incluye el chip AD5933 (202). Es un analizador de impedancias de alta precisión que combina un generador de ondas sinusoidales de alta frecuencia basado en la técnica de síntesis digital directa (DDS) con un circuito de lectura basado en un procesador digital de señal (DSP). El generador de ondas permite excitar la estructura a través del actuador piezoeléctrico con un rango de frecuencias conocido. La señal de respuesta generada por el sensor piezoeléctrico se muestrea con un conversor analógico-digital y se procesa con el DSP integrado que calcula la transformada discreta de Fourier (DFT). El algoritmo DFT proporciona directamente la parte real y la parte imaginaria de la impedancia para cada una de las frecuencias de salida generadas. Una vez calibrado, la magnitud de la impedancia y la fase relativa de la impedancia para cada punto del barrido en frecuencia se calculan de manera muy fácil. Los valores obtenidos pueden ser leídos fácilmente por el microcontrolador a través de la interface serie I²C. Por tanto, mediante este chip se consigue interrogar de forma activa la estructura a través de los diferentes sensores-actuadores piezoeléctricos y obtener la respuesta a dicha excitación en forma de impedancia.

Para conseguir reducir la impedancia de salida del chip analizador de impedancias se añade un amplificador operacional en una configuración de seguidor de tensión con una impedancia de salida muy baja ($< 1 \text{ Ohm}$) en el rango de operación y permitiendo analizar de forma precisa piezoeléctricos con impedancias de respuesta por debajo de 500 Ohm. La conversión de la señal de corriente en una señal de tensión que se produce

en el interior del chip AD5933 también se mejora haciendo esa conversión externamente con un amplificador operacional de mayor calidad.

En el nodo inalámbrico se incluye un chip multiplexor ADG706 (203) de consumo reducido. Este chip permite conectar hasta 16 sensores-actuadores piezoeléctricos (214) a cada nodo sensor inalámbrico, de forma que se puede trabajar con una red de sensores-actuadores más densa sin necesidad de trabajar con más nodos inalámbricos. Los sensores-actuadores piezoeléctricos se conectan al nodo inalámbrico mediante los 16 conectores (304) disponibles en la caja de protección del nodo que, a su vez, se conectan a cada una de las 16 entradas del chip ADG706. La elección de este chip se basa en el criterio de que no añada mucha impedancia extra en la línea de salida.

El módulo de radio (204) proporciona las funciones necesarias para la conexión inalámbrica entre el nodo sensor y el coordinador. El módulo elegido es compatible con el protocolo Zigbee y se conecta con el microcontrolador mediante un puerto serie (211). Se ha elegido un módulo de bajo consumo tanto en transmisión como en recepción de datos. El módulo dispone de una entrada de control a partir de la cual se le da la orden desde el microcontrolador de que entre en estado de hibernación o funcionamiento.

El cargador (215) implementado, consta preferentemente de un chip MCP73871 que recarga oportunamente la batería (208) Li-Ion a partir de una fuente de alimentación externa de entre 4,4 V y 6 V. Este rango lo hace idóneo para conectar directamente un pequeño panel solar o un conector USB. Se pueden instalar hasta 4 baterías (208) Li-Ion de tipo cilíndrico 18650 en el nodo sensor aunque con una sola de ellas sería capaz de funcionar correctamente. Dependiendo de la aplicación concreta se debe decidir cuántas instalar según el gasto de energía del nodo, la utilización o no de panel solar (210), cantidad de energía media disponible por el panel solar, etc. Debido al bajo consumo del nodo, con un panel solar de 0,5 vatios operando incluso en condiciones ambientales bastante severas y con una sola celda Li-Ion 18650 instalada se podrá dar servicio a la mayoría de las aplicaciones. De esta forma, se reservaría el uso de las cuatro celdas para el caso más desfavorable donde no se pueda instalar el panel solar y se necesite una autonomía elevada.

C. Nodo coordinador

El nodo coordinador representado en la Figura 4 es el elemento principal de la red de sensores. Este nodo aúna las funciones de coordinación de los demás nodos de la red inalámbrica así como las funciones de pasarela de comunicación con el exterior de la red. El módulo dispone de un módulo de conexión GPRS (401) para la comunicación con el servidor externo (103), un microcontrolador ATmega2560 (402) y un módulo de radio (403) encargado de la comunicación con los nodos inalámbricos, una tarjeta de almacenamiento externo micro-SD (404). Tanto el módulo GPRS como el módulo de radio se comunican con el microcontrolador por medio de los puertos serie (405) y (406) respectivamente. La tarjeta micro-SD se controla mediante una interfaz SPI (407).

Los distintos módulos hardware del nodo coordinador se disponen sobre una placa de circuito impreso específica (501). Dicha PCB es embebida en una caja hermética con grado de protección IP65 (502) mediante uniones atornilladas (503). Además, se dispone de una antena para el módulo de radio (504), una antena para el módulo GPRS (505), y un conector para la alimentación eléctrica del nodo (506). El nodo necesita una alimentación de tensión externa permanente que se puede conseguir con un convertidor AC-DC externo al nodo (408). También se puede integrar dentro del nodo coordinador un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) basado en baterías de Li-Ion.

La información relativa al número de nodos sensores instalados, las direcciones de sus módulos radio y cuántos sensores piezoeléctricos tiene cada uno, es una información que se almacena en la memoria del microcontrolador del nodo coordinador y que se obtiene de forma actualizada de la base de datos (107) del servidor (103). Cuando se conecte por primera vez un nodo sensor inalámbrico a la red éste será detectado por el nodo coordinador y, si es un nodo nuevo en la red, actualizará su información interna a partir de la información almacenada en la base de datos externa. Posteriormente el nodo sensor será configurado basándose en dicha información. De esta forma se logra tener un solo programa genérico para todos los nodos sensores que se configurarán correctamente cada vez que se conectan a la red.

En la coordinación de los nodos sensores conectados a un nodo coordinador se deben evitar conflictos en el envío de información, es decir, que se produzca saturación en el envío que pueda provocar colapso del canal inalámbrico y, consecuentemente, malfuncionamiento como la pérdida de paquetes de información. Para ello, se implementan algoritmos de exclusión mutua en el coordinador que permiten poder

compartir el canal inalámbrico restringiendo su uso cuando varios nodos sensores quieren enviar gran cantidad de datos simultáneamente.

D. Servidor central

5

La gestión, el almacenamiento y el procesamiento de la información del sistema inalámbrico se realizan a través de un servidor central (103). Los nodos coordinadores (101) acceden al servidor mediante una conexión GPRS (105).

10

El centro de coordinación de todo el sistema es una base de datos relacional MySQL (107), disponible en el servidor, que almacena de forma estructurada toda la información de las diferentes redes inalámbricas, los nodos instalados, el registro de todos los ensayos hechos, los datos estructurados de los ensayos, etc. La información procedente de las redes inalámbricas a través de los diferentes nodos coordinadores se analiza a través de unas aplicaciones PHP (108) que aumentan la seguridad y protección del sistema evitando accesos directos indeseados a la base de datos.

15

E. Aplicación Web

20

Mediante la implementación de una aplicación Web (109) se puede interactuar desde cualquier localización remota con la base de datos del servidor sin necesidad de manejar el lenguaje de consultas de la base de datos. El acceso a la base de datos por parte de la aplicación Web no es directo sino mediante aplicaciones PHP (108) que permiten obtener información de la base de datos y proporcionársela a la aplicación Web.

25

Entre las acciones que se pueden realizar con la aplicación Web están la creación de un nuevo cliente o infraestructura a analizar con el sistema inalámbrico, la adición de nuevos nodos sensores inalámbricos dentro de la red de sensores correspondiente, la petición de realización de un ensayo por parte de uno o varios nodos sensores, la modificación de la información almacenada concerniente a una infraestructura o nodo ya guardado y la descarga de los archivos con los resultados del ensayo.

30

REIVINDICACIONES

1. Sistema de monitorización estructural que comprende:

5 • al menos un nodo sensor (102) inalámbrico, que a su vez comprende:

 ○ al menos un sensor piezoeléctrico (214);

 ○ un microcontrolador (201);

10

 ○ un módulo de transmisión inalámbrica (204);

 ○ un módulo analizador de impedancias (202);

15

 ○ un multiplexor (203), y;

 ○ un módulo de gestión de energía (209);

20

donde el módulo analizador de impedancias (202) está conectado al microcontrolador (201) y está conectado, a través del multiplexor (203), al al menos un sensor piezoeléctrico (214), donde el microcontrolador (201) está conectado al módulo de transmisión inalámbrica (204) y donde el módulo de transmisión de energía (209) está conectado al microcontrolador (201), al módulo de transmisión inalámbrica (204), al módulo analizador de impedancias (202) y al multiplexor (203);

25

donde el al menos un nodo sensor (102) está configurado para fijarse a una estructura a monitorizar, para la realización de ensayos de impedancia electromecánica sobre la estructura;

30

caracterizado por que el sistema comprende:

 • al menos un nodo coordinador (101) inalámbrico, que a su vez comprende:

35

 ○ un microcontrolador (402);

 ○ unos medios de alimentación;

- un primer módulo de conexión inalámbrica (403), y;
- un segundo módulo de conexión inalámbrica (401);

5

donde el primer módulo de conexión inalámbrica (403) del al menos un nodo coordinador (101) y el módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102) están configurados para conectarse bidireccionalmente entre sí, y; donde el segundo módulo de conexión inalámbrica (401) del al menos un nodo coordinador (101) está configurado para conectarse bidireccionalmente con un servidor externo (103) remoto;

10

de manera que, el sistema está configurado para que, mediante una orden enviada desde el servidor externo (103) remoto al al menos un nodo coordinador (101) correspondiente, por medio de al menos un dispositivo externo (106) conectado al servidor externo (103) remoto, el al menos un nodo coordinador (101) ordene al al menos un nodo sensor (102) correspondiente la realización de un ensayo de impedancia electromecánica de la estructura;

15

y donde el sistema está configurado para que el al menos un nodo sensor (102) envíe los datos procedentes del ensayo de impedancia electromecánica de la estructura al servidor externo (103) remoto, a través del al menos un nodo coordinador (101).

20

2. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el módulo de gestión de energía (209) comprende una batería (208).

25

3. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** por que:

30

- el al menos un nodo coordinador (101) comprende una tarjeta de memoria (404) micro-SD, configurada para almacenar los datos de los ensayos recibidos del al menos un nodo sensor (102) asociado al al menos un nodo coordinador (101), y;

35

- el al menos un nodo sensor (102) comprende una tarjeta de memoria (206) micro-SD, configurada para almacenar los datos de los ensayos de impedancia electromecánica estructural realizados.

- 5 4. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende una pluralidad de nodos sensores (102) inalámbricos.
- 10 5. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102) está configurado para mantener en estado de hibernación al analizador de impedancias (202) y al multiplexor (203), en tanto no reciba, a través del módulo de transmisión inalámbrica (204) una orden de realización de un análisis procedente del al menos un nodo coordinador (101) correspondiente.
- 15 6. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 5, **caracterizado** por que el microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102) está configurado para mantener en estado de hibernación al módulo de transmisión inalámbrica (204), en tanto no reciba una orden de activación procedente de un reloj en tiempo real (205) del al menos un nodo sensor (102), donde dicho reloj en tiempo real (205) está conectado al módulo de gestión de energía (209) y al microcontrolador (201).
- 20 7. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 6, **caracterizado** por que el microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102) está configurado para mantenerse a sí mismo en estado de hibernación en tanto no reciba una orden de activación procedente del reloj en tiempo real (205).
- 25 8. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el al menos un nodo sensor (102) comprende un número de sensores piezoeléctricos (203) seleccionado entre uno y dieciséis.
- 30 9. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el módulo de gestión de energía (209) del al menos un nodo sensor (102) comprende una batería (208), un regulador de tensión continua-continua (207) y un cargador (215) conectado a la batería (208), donde dicho cargador (215) está configurado para conectarse a una fuente de alimentación externa.
- 35

10. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 9, **caracterizado** por que la fuente de alimentación externa es un panel solar (210).
- 5 11. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el módulo analizador de impedancias (202) comprende un chip AD5933.
- 10 12. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 11, **caracterizado** por que el módulo analizador de impedancias (202) comprende un amplificador operacional configurado en modo seguidor de tensión, de manera que dicho amplificador operacional está conectado entre el chip AD5933 y el multiplexor (203).
- 15 13. El sistema de monitorización estructural según la reivindicación 11, **caracterizado** por que el módulo analizador de impedancias (202) comprende un amplificador operacional para realizar la conversión de la señal de corriente en una señal de tensión de forma externa al chip AD5933.
- 20 14. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el servidor externo (103) remoto comprende una base de datos (107) para el almacenamiento de los datos de los ensayos realizados, de información relativa a los nodos sensores (102) del sistema, y de información relativa a los nodos coordinadores (101) del sistema; donde la base de datos (107) está configurada para permitir acceder a dicha base de datos (107) únicamente a través de unas aplicaciones PHP (108).
- 25 15. El sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que está configurado para ser gestionado por medio de una aplicación Web (109) ejecutable en el al menos un dispositivo externo (106).
- 30 16. Método de monitorización estructural empleando el sistema de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende:
 - 35 - introducir una orden, a través de un dispositivo externo (106) conectado a un servidor externo (103), de realizar un ensayo de impedancia electromecánica de una estructura seleccionada;

- activar el módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102), por medio del microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102);
- 5 - interrogar, por medio del microcontrolador (201) del nodo sensor (102), y por medio del módulo de transmisión inalámbrica (204), al al menos un nodo coordinador (101), acerca de la existencia de una orden de realización de un ensayo de impedancia electromecánica estructural;
- 10 - recibir, por medio del módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102), dicha orden de realización del ensayo de impedancia electromecánica estructural;
- 15 - activar, por medio del microcontrolador (201) del nodo sensor (102), el analizador de impedancias (202) y el multiplexor (203) del nodo sensor (102);
- 20 - ordenar, por medio del microcontrolador (201) del nodo sensor (102), la realización del ensayo de impedancia electromecánica, a través del analizador de impedancias (202), el multiplexor (203) y el al menos un sensor piezoeléctrico (214);
- 25 - procesar, por medio del analizador de impedancias (202) y del microcontrolador (201), los datos recibidos por parte del al menos un sensor piezoeléctrico (214);
- 30 - enviar al al menos un nodo coordinador (101), por medio del módulo de transmisión inalámbrica (204), los datos del ensayo de impedancia electromecánica realizado;
- 35 - desactivar, por medio del microcontrolador (201) del nodo sensor (201), el módulo de transmisión inalámbrica (204) del nodo sensor (201);
- enviar, al servidor externo (103) remoto, por medio del microcontrolador (402) y del segundo módulo de conexión inalámbrica (401) del al menos un nodo coordinador (101), los datos procesados procedentes del ensayo de impedancia electromecánica realizado;

- enviar, desde el servidor externo (103) remoto, al al menos un dispositivo externo (106), los datos procesados procedentes del ensayo de impedancia electromecánica realizado.

5 17. Método de monitorización estructural según la reivindicación 15, **caracterizado** por que la activación del módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102), por medio del microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102), se produce previa activación del microcontrolador (201) por parte de una señal procedente de un reloj en tiempo real (205).

10

18. Método de monitorización estructural según cualquiera de las reivindicaciones 15 ó 16, **caracterizado** por que comprende:

15

- desactivar, por medio del microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102), el módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102), inmediatamente después de terminar la recepción de la orden de realización del ensayo de impedancia electromecánica estructural, y;

20

- activar, por medio del microcontrolador (201) del al menos un nodo sensor (102), el módulo de transmisión inalámbrica (204) del al menos un nodo sensor (102), inmediatamente antes de iniciar el envío, al al menos un nodo coordinador (101), de los datos del ensayo de impedancia electromecánica realizado.

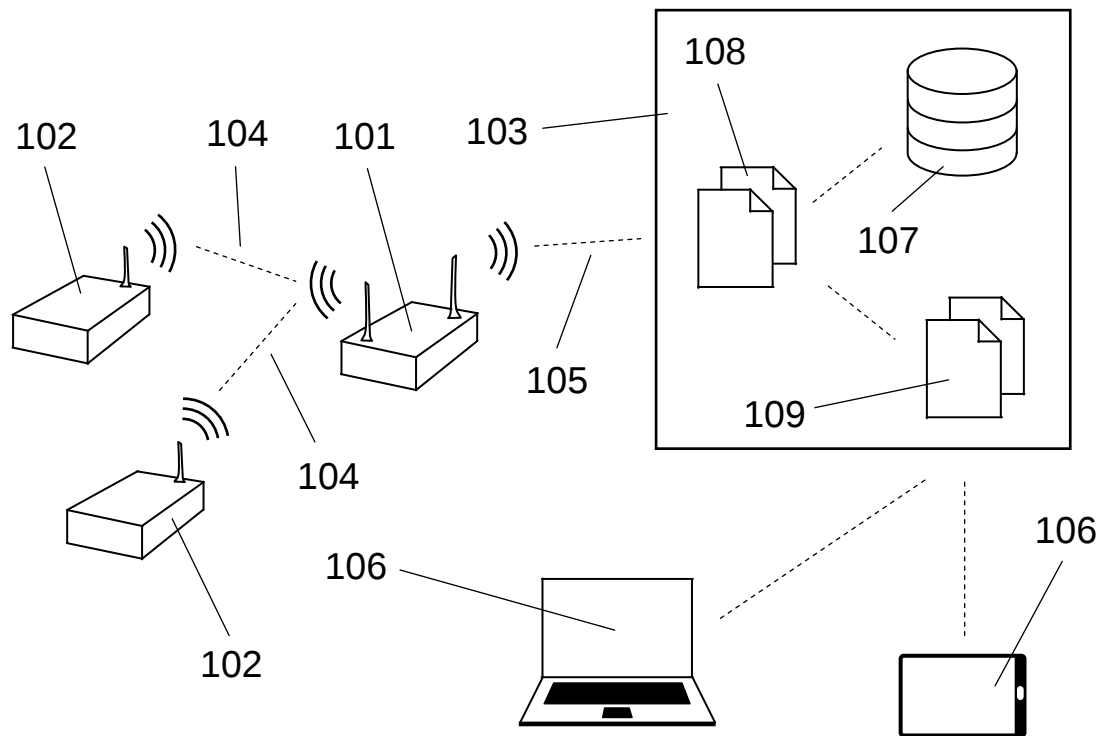


FIG. 1

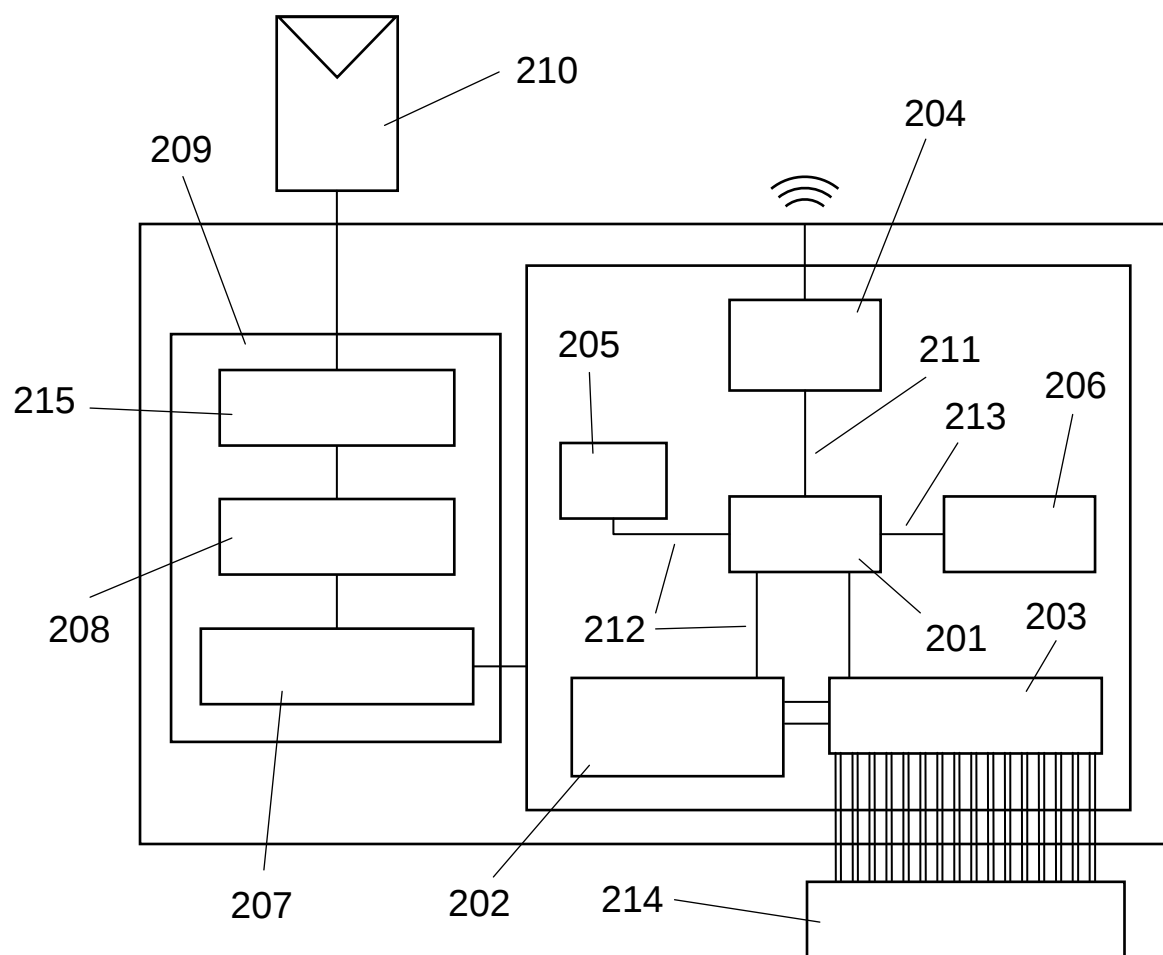


FIG. 2

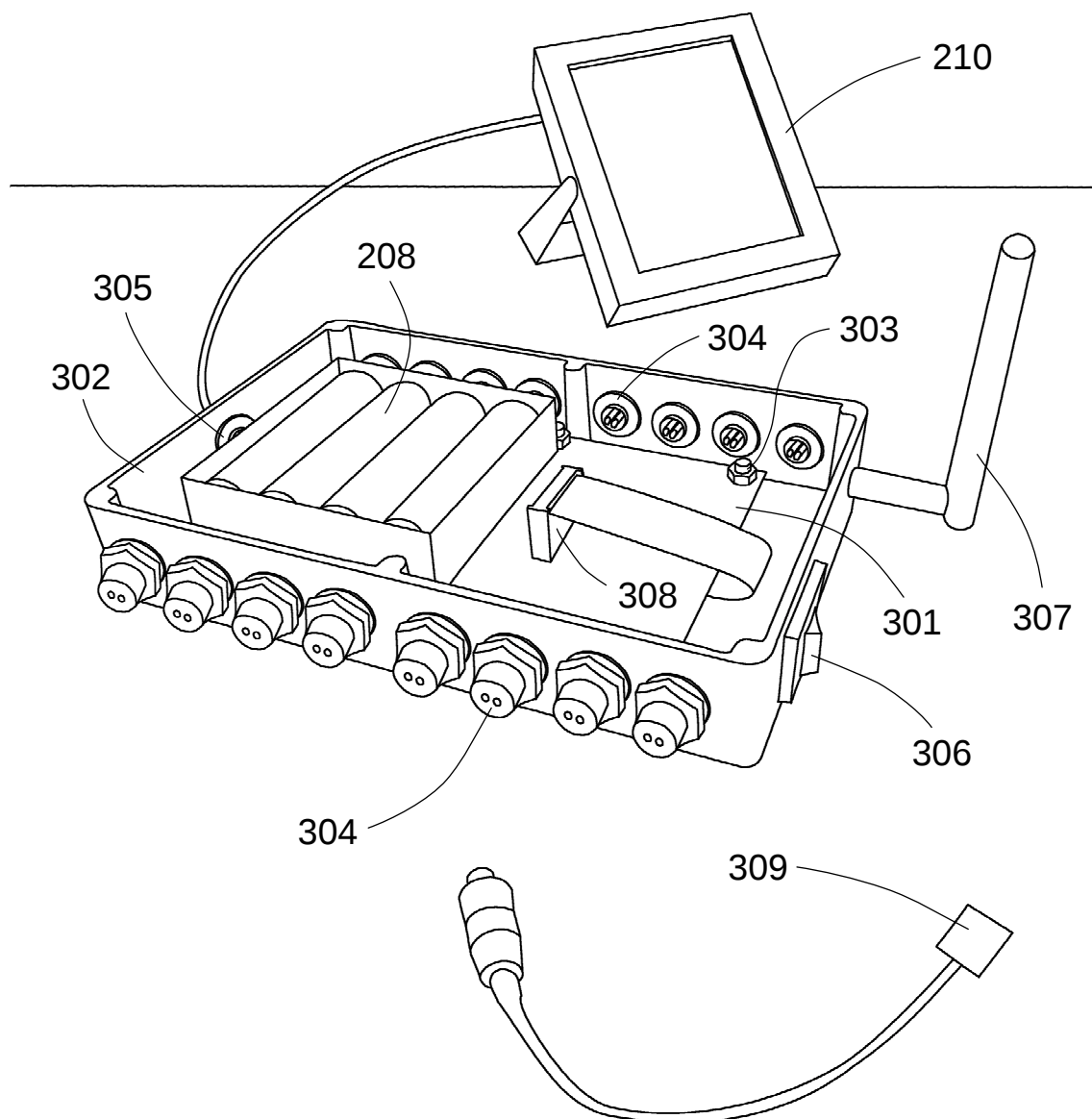


FIG. 3

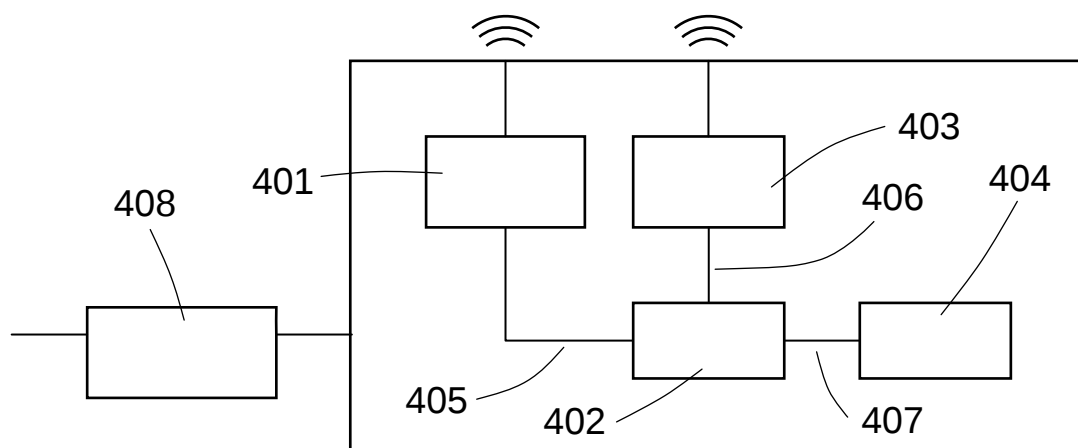


FIG. 4

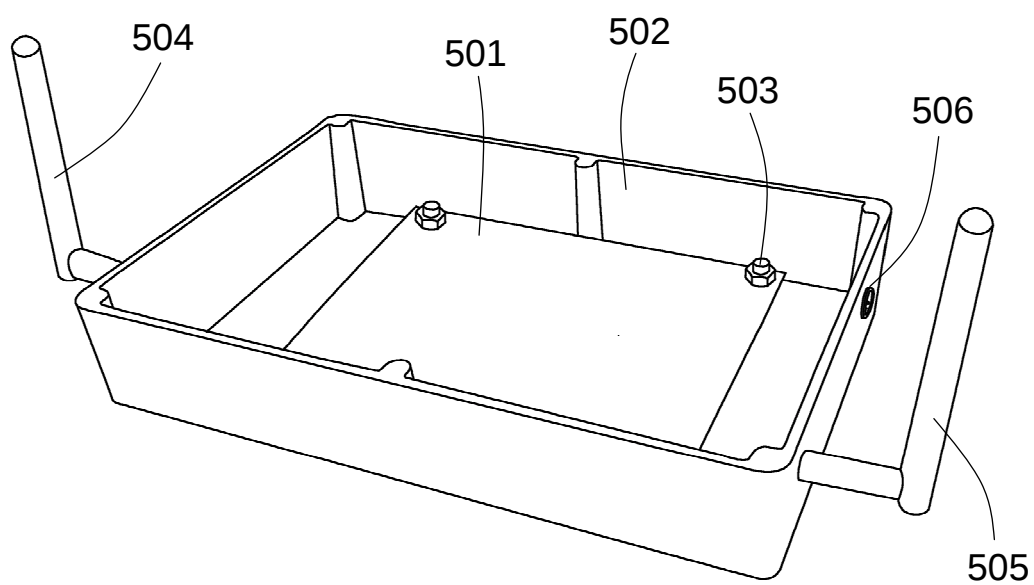


FIG. 5



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201730734

②② Fecha de presentación de la solicitud: 26.05.2017

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N29/22** (2006.01)
G05B23/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	(NGUYEN et al.) " <i>Imote2-based multi-channel wireless impedance sensor nodes for local SHM of structural connections</i> ". Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 7981, páginas 7981P (11pp). En particular: Apartados 4, 5; páginas 4-7. Marzo 2011 ISSN 0277-786X (print) doi:10.1117/12.879613	1-18
Y	US 2008155357 A1 (YU et al.) 26/06/2008, párrafos [5-7; 18, 19, 22-24, 26-31, 35, 38, 41]; figuras 1, 3b, 4c	1-18
A	CN 102435853 A (UNIV BEIJING TECHNOLOGY) 02/05/2012, párrafos [7 - 36]	1-18
Y	US 2010161283 A1 (QING et al.) 24/06/2010, párrafos 6-8, 19, 36, 37, 41-43, 45-50; 54, 57, 60; 71-73; 78; figuras 1, 3b, 4c, 8-10, 12A	1-18
Y	(PROVIDAKIS et al.) " <i>Web-based concrete strengthening monitoring using an innovative electromechanical impedance telemetric system and extreme values statistics</i> ". Structural Control and Health Monitoring, Vol. 21, No. 9; Páginas 1252 - 1268, En particular: Apartado 3, páginas 1256-1258. Septiembre/2014 ISSN 1545-2255 doi:10.1002/stc.1645	1-18
A	(PROVIDAKIS et al.) " <i>Nondestructive Wireless Monitoring of Early-Age Concrete Strength Gain Using an Innovative Electromechanical Impedance Sensing System</i> " Smart Materials Research, ID Artículo 932568. En particular: Apartado 3, página 3-5 Volumen 2013 (2013) http://dx.doi.org/10.1155/2013/932568 http://downloads.hindawi.com/archive/2013/932568.pdf	1-18

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
02.03.2018

Examinador
Javier Olalde Sánchez

Página
1/3



- ②① N.º solicitud: 201730734
②② Fecha de presentación de la solicitud: 26.05.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N29/22** (2006.01)
G05B23/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	(PARK et al.) " <i>Impedance-based wireless debonding condition monitoring of CFRP laminated concrete structures</i> ". NDT&E International , Vol. 44, N° 2, Páginas 232 – 238. En particular: páginas 234-236; apartados 2.3; 3.1; figuras 2-5, 8. Marzo/2011 ISSN 0963-8695 doi:10.1016/j.ndteint.2010.10.006	1-18
A	(MASCARENAS et al.) " <i>Development of an impedance-based wireless sensor node for structural health monitoring</i> ". Smart Materials and Structures, Vol. 16, N° 6, Páginas 2137 - 2145, En particular: Apartado 2. Diciembre/2007 ISSN 0964-1726 doi:10.1088/0964-1726/16/6/016	1-18

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
02.03.2018

Examinador
Javier Olalde Sánchez

Página
2/3

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G05B, G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, ELSEVIER, INSPEC, COMPENDEX, IEEE, INTERNET