

MÉTODO Y DISPOSITIVO DE INVESTIGACIÓN PARA MEDIR TENSIONES EN UNA ESTRUCTURA AGLOMERADA

DESCRIPCIÓN

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un método y a un dispositivo de investigación para medir tensiones en estructuras aglomeradas que tienen las características establecidas en los preámbulos de las respectivas reivindicaciones independientes.

ANTECEDENTE TECNOLÓGICO

En el campo de la investigación de estructuras, un problema técnico frecuente está relacionado con el monitoreo de las tensiones presentes dentro de la estructura.

La medición de una tensión dentro de un cuerpo sólido presenta dificultades considerables, y la medición generalmente se obtiene indirectamente midiendo las deformaciones en la superficie exterior de los elementos que forman la estructura o directamente dentro de dicha estructura. La medida de una deformación se convierte en la medida de una tensión al conocer de antemano la ecuación constitutiva del material que se mide. Esta conversión es simple y confiable para materiales elásticos lineales, cuyas

propiedades mecánicas son: constantes a lo largo del tiempo y uniformes en el espacio dentro de la propia estructura, precisamente conocidas, y sujetas a una baja dispersión estadística. Esta categoría de materiales incluye, por ejemplo, metales tales como aceros y aleaciones de aluminio.

Se producen dificultades importantes cuando se desea obtener una tensión dentro de una estructura en la que las características del material no son uniformes en el espacio ni constantes en el tiempo y, por lo general, no se conocen con precisión de antemano, como es el caso, por ejemplo, de todas las mezclas cementosas. Se producen dificultades adicionales como resultado de la naturaleza viscoelástica del material cementoso (una característica asociada con los aglomerados en general), que tiende a dar como resultado deformaciones no constantes y estados de tensión tanto a corto como a largo plazo, incluso como resultado de cargas aplicadas constantes. Se encuentra así que se producen sistemas de detección específicos y dedicados para monitorear y reconocer el comportamiento mecánico de una estructura aglomerada.

En este campo técnico, un documento relevante es el documento US 3286513 A, que se refiere a una sonda para usar en la medición de deformaciones de un elemento de concreto. Más particularmente, la invención se refiere a una sonda de concreto, destinada a ser incorporada en un elemento de concreto para medir simultáneamente seis deformaciones en un punto deseado en el concreto.

Los elementos responsables de medir las deformaciones están dispuestos en forma tetraédrica, y los extensómetros utilizados están pegados a dicha estructura de soporte tetraédrica.

Además, es importante tener en cuenta que las seis deformaciones detectadas están relacionadas con seis contribuciones localmente diferentes.

Los extensómetros montados en la estructura tetraédrica miden las deformaciones del aglomerado y, por lo tanto, proporcionan datos afectados por la viscosidad del material y, por lo tanto, no proporcionan información sobre el estado de tensión en el aglomerado.

En este campo técnico, el documento US 2002/154029 A1 describe un sistema y un método para análisis inalámbricos que se basan en un dispositivo para detectar el estado de una estructura cementosa (los parámetros investigados pueden ser tanto físicos como químicos). En particular, se proporciona que una señal inalámbrica se transmite a través de las paredes de la estructura mencionada anteriormente. El dispositivo individual está además identificado de manera única para poder reconocerlo y consultarlo, incluso entre una pluralidad de dispositivos similares.

También es apropiado citar el documento US 2012/210780 A1, que se refiere a un método y un aparato para detectar la estabilidad estructural de un área de un objeto que puede ser roca, cemento o suelo. El método y el aparato incluyen proporcionar una pluralidad de electrodos en el área del objeto en una

dirección de profundidad y medir una diferencia micropotencial por medio de electrodos, generando así una diferencia micropotencial cuando el material de relleno se deforma por una fuerza aplicada. El documento no cita enseñanzas sobre las tensiones relevantes o sobre posibles comportamientos viscoelásticos interferentes del sistema.

El documento DE 102013008777 A1 describe un método para determinar las tensiones mecánicas en componentes, preferentemente en cemento, por medio de un cuerpo de medición conectado a un aparato de ultrasonido.

Además, el documento ES 2353544 A1 describe el uso de nanofibras de carbono para estructuras de cemento (por ejemplo, pastas, morteros, hormigones) con el objetivo de usar dichos materiales compuestos para controlar sus deformaciones debido a acciones externas sin un sensor incorporado o conectado. El método descrito se basa en la modificación de la resistencia eléctrica de los compuestos de nanofibras de cemento / carbono cuando se somete a tensión.

Además, también en este campo tecnológico, es apropiado mencionar, entre las soluciones más frecuentemente adoptadas para estas etapas de investigación:

- a) gatos planos;
- b) medidores de deformación;
- c) medidores de tensión de concreto.

a) Gatos planos

Los sistemas de este tipo generalmente se forman utilizando una cubierta aplanada, por ejemplo, dos láminas de acero soldadas en el perímetro, que contienen un fluido (generalmente aceite) cuya presión se mide con un manómetro. Los gatos planos suelen tener una forma ancha y delgada, y normalmente solo se usan para mediciones aisladas, debido a la necesidad de recopilar información sobre una estructura predeterminada: en realidad se insertan temporalmente en cavidades específicas formadas en las estructuras cementosas o estructuras de pared para analizarse y, una vez concluida la investigación, se extraen de la estructura de cemento o pared y las cavidades se llenan con mortero o materiales similares para reducir las tensiones de la estructura debido a la eliminación del material preexistente.

La tensión que actúa sobre la estructura en la dirección ortogonal a las caras del gato se obtiene registrando el valor de la presión a la que se somete el fluido por medio de un complejo de conexiones hidráulicas y dispositivos de lectura.

Esta solución técnica tiene varios inconvenientes:

- Requiere intervenciones de demolición para formar los alojamientos para dichos gatos dentro de la estructura.
- Las dimensiones de las láminas de acero, de varias decenas de centímetros cuadrados, pueden resultar demasiado invasivas para una

estructura que tiene dimensiones reducidas y pueden formar puntos débiles que ponen en riesgo la seguridad estructural.

- Esta es una solución que generalmente se usa en presencia de un operador humano que dirige la instalación, toma las medidas, elimina la instalación y verifica la restauración del daño estructural introducido.

- Este no es un conjunto de herramientas típicamente adecuado para estar conectado permanentemente a una estructura bajo investigación, ya que la presión del fluido también debería mantenerse constante a lo largo del tiempo con una tolerancia extremadamente baja, y el sistema de conexiones hidráulicas a menudo es incompatible con aplicaciones permanentes.

b) Medidores de deformación.

Los medidores de deformación son herramientas adecuadas para medir variaciones en la distancia entre dos puntos que forman la base de medición. Pueden ser dispositivos mecánicos, electromecánicos, eléctricos, inductivos y/o magnéticos, ópticos o láser.

La base de medición generalmente se coloca en las caras externas de la estructura que se va a monitorear, y puede tener una longitud que va desde unos pocos milímetros hasta decenas de centímetros.

Dependiendo de la tecnología en la que se implementen, las herramientas miden el número de rotaciones de un sistema de engranajes, las variaciones en la resistencia eléctrica, en el campo magnético, en la longitud de

onda de una fuente de luz o en el número de ondas del mismo y en la capacitancia eléctrica de un capacitor.

Todas las mediciones se remontan posteriormente al desplazamiento relativo entre los dos puntos que forman la base de medición. La deformación promedio en la base de medición se puede obtener dividiendo el desplazamiento relativo por la longitud inicial de la base de medición. La tensión puede derivarse posteriormente de la deformación si se conoce la ecuación constitutiva del material.

Las soluciones técnicas de este tipo tienen dos grandes inconvenientes:

- Las características mecánicas de las mezclas cementosas, como la ecuación constitutiva, no son constantes ni en el espacio ni en el tiempo y, por lo general, no se conocen con precisión de antemano.

- Las mezclas cementosas son de naturaleza viscoelástica, en otras palabras, las deformaciones varían considerablemente con el tiempo (incluso en cantidades superiores al 200%), incluso en presencia de tensiones constantes, y la ecuación viscoelástica que rige esta variación generalmente no se conoce de antemano de manera precisa.

c) Medidores de tensión de concreto

Otro tipo de solución provista en la técnica implica medidores de tensión de concreto (medidores para medir la tensión del aglomerado). Estas herramientas se pueden insertar dentro del molde de aglomerado, y

comprenden una cubierta porosa en forma de copa dentro de la cual se mantiene una porción de aglomerado de un tipo equivalente al de la estructura bajo investigación. La cubierta permite intercambiar gas y vapores a lo largo de las paredes de la copa (de esta manera, se intenta que los procesos de reacción sean uniformes con la humedad presente en la estructura entre la parte dentro del recipiente y la parte circundante), pero no fuerzas mecánicas, entre el aglomerado dentro del contenedor y el aglomerado fuera del contenedor, mientras que las fuerzas mecánicas pueden transmitirse entre la pieza de fundición de concreto y el aglomerado dentro de la copa en la base de dicha copa y en el lado abierto opuesto. El aglomerado realmente analizado es el aglomerado encerrado dentro de la copa. Un ejemplo de estos productos industriales es el medidor de tensión de concreto Modelo 4370 de Geokon, en el que las tensiones del aglomerado cerrado se leen por medio de una celda de carga ubicada en la base de dicha copa.

Esta solución tiene los siguientes inconvenientes:

- Este es un sistema de investigación voluminoso (el Modelo 4370 de Geokon tiene una estructura cilíndrica de una longitud de aproximadamente 600 mm y un diámetro de aproximadamente 76 mm), y por lo tanto requiere estructuras lo suficientemente grandes como para poder alojarlo, haciéndolo solo aplicable a piezas de fundición que tienen grandes dimensiones, en las que la introducción del dispositivo no conduce a una interferencia significativa en el comportamiento estructural.
- El medidor de tensión debe estar conectado adecuadamente dentro de la estructura cementosa bajo investigación durante los pasos de fundición, y

debe colocarse inmediatamente antes de la fundición y rellenarse con el mismo material que forma la fundición inmediatamente antes de instalarse, interfiriendo así con las otras operaciones del sitio de construcción.

- Dadas las dimensiones del contenedor, adecuadas para insertar componentes inertes del aglomerado en el mismo, la medida obtenida no es información puntual, sino un promedio de más de 600 mm de longitud. Por lo tanto, el dispositivo no puede utilizarse en el caso de gradientes de tensión sensibles que afecten a las dimensiones del dispositivo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El problema técnico abordado por la presente invención es proporcionar un método y un dispositivo de investigación para medir tensiones en una estructura de un aglomerado que están diseñados estructural y funcionalmente para superar los inconvenientes mencionados en relación con la técnica anterior citada.

Dentro del contexto de dicho problema, un objetivo principal de la invención es proporcionar un método y un dispositivo de investigación adecuados para monitorear las condiciones de seguridad de una estructura de aglomerado y detectar variaciones potencialmente peligrosas durante largos períodos.

Este problema se resuelve y este objetivo se logra mediante la presente invención por medio de un método y dispositivo implementado de acuerdo con las siguientes reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las características y ventajas de la invención serán más fácilmente evidentes a partir de la descripción detallada de una modalidad preferida de la misma, ilustrada a modo de ejemplo no restrictivo, y de los dibujos asociados, en los que:

- La Figura 1 es una vista en perspectiva de un dispositivo de investigación que puede conectarse a una estructura de un aglomerado.
- La Figura 2 es una vista en perspectiva de un dispositivo de investigación colocado dentro de un elemento aglomerado cilíndrico que representa una vecindad del dispositivo de investigación sujeto a una carga P distribuida uniformemente.
- La Figura 3 muestra las tensiones generadas por la carga externa P que están presentes en una parte del elemento cilíndrico mostrado en la Figura 2, obtenida usando cualquier semiplano que tiene la línea recta YY como generatriz.

MODALIDAD PREFERIDA DE LA INVENCION

En los dibujos, 1 denota un dispositivo de investigación en su totalidad, que se implementa de acuerdo con la presente invención y es adecuado para medir una tensión dentro de una estructura combinada de aglomerado o cementosa.

En este contexto, el término aglomerado se refiere a un material en el que están presentes un aglutinante (por ejemplo, cemento, betún, cal, resina polimérica, etc.) y una sustancia unida, generalmente conocida como una sustancia inerte (por ejemplo, arena, grava, arcilla, polvos silíceos, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida, etc.). Un aglomerado de este tipo toma una forma fluida en una primera etapa de uso (por ejemplo, en el punto de fundición o formación), y posteriormente, en una segunda etapa, se solidifica para tomar la forma y las características de un sólido (ejemplos claros es el concreto, asfalto, varios materiales compuestos, etc.)

En particular, dentro de esta amplia categoría, las mezclas cementosas son particularmente relevantes, que, específicamente, consisten en un material de construcción, típicamente conocido como un aglutinante hidráulico, que desarrolla propiedades adhesivas cuando se mezcla con agua: estos incluyen, a modo de ejemplo, morteros de cemento, material cementoso, material cementoso reforzado, etc.

Preferentemente, en este contexto, el término mezcla cementosa se refiere a un material en el que dicho aglutinante es cemento y dicha sustancia unida, generalmente llamada sustancia inerte, es arena, grava, arcilla, etc.

Ventajosamente, una mezcla cementosa de este tipo adquiere una forma fluida en una primera etapa de uso (por ejemplo, en el punto de fundición o formación), y posteriormente, en una segunda etapa, se solidifica para tomar la forma y las características de un sólido (ejemplos claros de esto son concreto, asfalto, varios materiales compuestos, etc.)

Además, el término aglomerado o estructura de mezcla cementosa se refiere en este contexto a construcciones que utilizan, en su interior, materiales que tienen las características mencionadas anteriormente, como puentes, edificios, caminos, etc., que comprenden pilares, columnas, vigas, paredes y elementos estructurales similares.

En particular, el dispositivo de investigación 1 se puede conectar a una parte 2 asociada con la estructura del aglomerado o de la mezcla cementosa, que se pretende colocar bajo investigación y monitoreo (por ejemplo, parte de un pilar, viga, pared, etc.).

Ventajosamente, las características del dispositivo de investigación 1 que se divulgan a continuación lo hacen adecuado para el alojamiento simple e inmediato dentro y en contacto directo con la porción 2 del aglomerado o mezcla cementosa bajo investigación.

En una modalidad preferida, el dispositivo de investigación 1 se aloja y/o instala durante el montaje de una armadura de hierro (o de soluciones técnicas similares) de la propia estructura, o en cualquier caso en cualquier momento antes del inicio de las etapas de fundición o conformación del aglomerado o la mezcla cementosa.

Preferentemente, para un tratamiento técnico más claro de la invención en cuestión, la porción 2 de una estructura de aglomerado o de la mezcla cementosa se considera sujeta a una sola tensión S_{YY} , actuando a lo largo del eje de referencia Y y directamente relacionado con una acción externa que actúa sobre dicha estructura del aglomerado o de la mezcla cementosa, por ejemplo, la carga P distribuida uniformemente (ver Figura 2).

La información que se indica a continuación se considera aplicable tanto al aglomerado como a la mezcla cementosa.

En este contexto, la acción externa se refiere tanto a acciones explícitas (o acciones directas) como a acciones implícitas (o acciones indirectas). Una acción se define como cualquier causa o conjunto de causas capaces de provocar estados de tensión y/o deformación en una estructura. Las acciones pueden dividirse, dependiendo de la explicación para ellas, en:

- directa, debido a fuerzas concentradas, cargas distribuidas fijas o móviles;

- indirecta, debido a los desplazamientos impartidos, variaciones de temperatura y humedad, retracción, precompresión, fallas de unión, efectos de viscosidad.

De este modo, es ventajosamente posible identificar una vecindad cilíndrica del dispositivo de investigación 1 que se muestra en la Figura 2, teniendo condiciones de simetría axial alrededor del eje Y en este ejemplo.

Si la tensión S_{YY} no es uniforme en esta vecindad del dispositivo 1, los gradientes de tensión en el espacio terminan siendo lo suficientemente pequeños y, por lo tanto, insignificantes cuando se utiliza una aproximación de ingeniería.

De hecho, para un experto en el campo, será sencillo seleccionar los puntos de la parte 2 de una estructura de aglomerado que se controlará, en los cuales la variación en la tensión S_{YY} en la vecindad del dispositivo es lo suficientemente pequeña como para ser considerada admisible para fines de ingeniería.

En este contexto, el término tensión aplicada significa todos los valores posibles de la tensión aplicada, incluido el cero, que dependen de las acciones externas (por ejemplo, la carga P).

El dispositivo de investigación 1 se puede conectar así a un aglomerado o estructura de mezcla cementosa que incluye un aglutinante y una sustancia

unida, y comprende un cuerpo deformable elástico 10 en el que se dispone por lo menos un medidor de deformación R_i , dicho medidor de deformación es capaz de detectar por lo menos tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 que están orientadas una con respecto a la otra de manera que una tensión S_{YY} dentro de dicho cuerpo deformable 10 es proporcional a una combinación de dichas tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 .

Preferentemente, por lo menos tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 orientadas entre sí están contenidas en el cuerpo deformable 10.

En una modalidad, por lo menos tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 orientadas entre sí son deformaciones del cuerpo deformable 10.

Preferentemente, la tensión S_{YY} dentro de dicho cuerpo deformable 10 es igual a una combinación única de dichas tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 .

Preferentemente, la tensión S_{YY} dentro de dicho cuerpo deformable 10 es igual a una combinación lineal única de dichas tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 .

Como se discutió anteriormente, el valor de la tensión S_{YY} dentro del cuerpo deformable 10 es igual a una combinación lineal única de dichas tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 y puede obtenerse de manera simple a partir de fórmulas mecánicas conocidas. De hecho, el dispositivo cancela todas

las contribuciones viscoelásticas de primer y segundo orden, que generalmente se producen dentro de una estructura de concreto.

A los efectos de aclarar la solución técnica propuesta, sería conveniente enfatizar que el cuerpo deformable 10, así como la cancelación de las contribuciones viscoelásticas, también tiene una acción de "filtro o pantalla" para las irregularidades de contacto entre el aglomerado o la mezcla cementosa y el propio cuerpo deformable 10 del dispositivo de investigación 1.

De esta manera, las tres deformaciones medidas E1, E2, E3 son las deformaciones del cuerpo deformable 10 debido a la estructura, y no las deformaciones de la propia estructura; esto hace posible obtener mediciones de deformaciones dentro del dispositivo de investigación 1 y, si está asociado con la zona A2 no perturbada, no se ve afectado por las contribuciones viscoelásticas de primer orden o de segundo orden.

En este contexto, el término combinación se refiere a una combinación matemática de dichos valores. En un caso particular, si los valores relevantes están asociados con espacios vectoriales lineales, dicha combinación puede representarse mediante una combinación lineal de las tres mediciones de deformación E1, E2, E3 asociadas con espacios vectoriales lineales.

En una modalidad preferida, el cuerpo deformable 10 está hecho de materiales que tienen un módulo de elasticidad que es estrictamente mayor

que el de dicha estructura aglomerada para reducir y uniformizar las irregularidades de contacto entre el aglomerado y dicho cuerpo deformable 10.

Ventajosamente, el cuerpo deformable 10 está hecho de materiales que tienen propiedades químicas y físicas que son estables a lo largo del tiempo, capaces de durar dentro del aglomerado sin deteriorarse o cambiar con el tiempo. Por ejemplo, se puede usar un material metálico (acero inoxidable o similar) o un material cerámico (alúmina o similar).

Esta solución técnica tiene la ventaja tecnológica adicional de poder leer la tensión S_{YY} de manera más precisa y confiablemente utilizando materiales cuyas propiedades químicas, físicas y mecánicas se conocen correctamente y son predecibles con el tiempo: de hecho, la técnica conocida encontrada en este campo no hace posible obtener un nivel tan alto de precisión predictiva, ya que depende de los materiales cuyas características son completamente conocidas o desconocidas, o tienen el potencial de cambiar con el tiempo.

Opcionalmente, el cuerpo deformable 10 puede comprender internamente elementos que exhiben un comportamiento viscoso bajo carga pero que tienen dimensiones para impartir una contribución viscosa insignificante con respecto al comportamiento sustancialmente elástico del cuerpo deformable 10 en su conjunto.

Preferentemente, dichos elementos viscosos 11 (no mostrados en la figura) pueden estar hechos de materiales poliméricos: por ejemplo, una capa

de material polímero utilizada como espaciador (Kapton) o como pegamento (resina polimérica).

Para un experto en el campo, será rutinario modificar y adaptar dichas modalidades utilizando materiales similares para lograr los objetivos de la invención.

Con referencia a la Figura 1, dicho dispositivo de investigación 1 comprende un cuerpo deformable 10 que tiene un comportamiento elástico y está libre de características viscosas, por lo menos en el contexto del esfuerzo admisible en la estructura aglomerada.

Preferentemente, el cuerpo deformable 10 tiene un comportamiento puramente elástico en el contexto de los esfuerzos admisibles en la estructura aglomerada.

En particular, el cuerpo deformable 10 comprende preferentemente dos superficies A y B, cuya dimensión más pequeña es mayor que o igual al diámetro nominal máximo de dicha sustancia unida o sustancia inerte contenida en dicho aglomerado, en otras palabras tiene una dimensión transversal mínima (por ejemplo, el diámetro para una forma cilíndrica) mayor o igual que el diámetro nominal máximo de las sustancias unidas o sustancias inertes del aglomerado.

Además, el cuerpo deformable 10 tiene una forma sustancialmente aplanada con respecto a dos dimensiones prevalentes, para obtener una zona no perturbada A2 de dicha tensión S_{YY} dentro de dicho cuerpo deformable 10, en cuya zona está dispuesto por lo menos un medidor de deformación R_i .

De hecho, el cuerpo deformable 10, que tiene dicha forma sustancialmente aplanada con respecto a dos dimensiones prevalentes, interfiere de manera insignificante con el campo de tensión S_{YY} (XYZ) de la tensión S_{YY} ortogonal a las dos dimensiones prevalentes dentro del propio cuerpo, generando así una zona sin perturbaciones A2 de la tensión S_{YY} que no se ve afectado por fenómenos viscosos de primer orden o de segundo orden.

En física, un campo es una región del espacio en cada punto cuyo valor físico (según su naturaleza, el campo se definirá como escalar, vectorial, tensor, etc.) se define por una ley adecuada. Dicho valor físico puede ser una temperatura (un ejemplo de un campo escalar), una fuerza (un ejemplo de un campo vectorial: un campo gravitacional, eléctrico o magnético), o una tensión como en el presente campo de aplicación.

En este contexto, el término perturbador insignificante significa que la forma sustancialmente aplanada del cuerpo deformable 10 incluye posibles perturbaciones en el campo de tensión S_{YY} (XYZ) de la tensión S_{YY} que son menores que un valor predefinido. En particular, dicho valor predefinido es el 10% del valor local del campo de tensión S_{YY} (XYZ).

En una modalidad preferida, por lo menos tres mediciones de deformación $E1$, $E2$, $E3$ orientadas entre sí se incluyen en la zona no perturbada $A2$ y la tensión S_{YY} es proporcional a una combinación de dichas tres mediciones de deformación $E1$, $E2$, $E3$.

Además, en el presente contexto, una forma sustancialmente aplanada se refiere preferentemente a estructuras tridimensionales que tienen una extensión primaria a lo largo de dos dimensiones prevalentes con respecto a una tercera: los ejemplos pueden ser un modelo prismático o cilíndrico o laminar (ver Figura 1) que tiene dos bases A y B , definidas por dichas dos dimensiones prevalentes y separadas a lo largo de la tercera dimensión por una altura $h1$ que es menor que dichas dos dimensiones prevalentes.

Además, las estructuras cilíndricas descritas en el presente contexto comprenden estructuras cilíndricas regulares y cilíndricas elípticas, así como estructuras prismáticas que tienen una base que tiene cualquier forma deseada.

Ventajosamente, dichas estructuras tridimensionales de acuerdo con un modelo prismático, cilíndrico o laminar tienen bordes unidos mediante vigas de conexión adecuadas para reducir aún más la posibilidad de generar efectos de segundo orden que alteran la viscosidad.

En particular, dicha forma sustancialmente aplanada tiene un desarrollo de acuerdo con un modelo prismático o cilíndrico o laminar, en el cual una

relación de dimensión R entre la menor de las dimensiones de las bases A y B y una altura h_1 del modelo prismático o cilíndrico o laminar está dentro del rango predeterminado de valores.

En una modalidad preferida, dicha relación de dimensión R es mayor o igual que 10. Por ejemplo, la Figura 1 muestra un elemento deformable 10 que tiene una extensión de acuerdo con un modelo cilíndrico, en el que las dos bases A y B son iguales, de un diámetro externo D_1 de 30 mm y una altura total h_1 de 3 mm. En este caso, la relación de dimensión R termina siendo 10.

Estas modalidades pretenden ser ejemplares y no limitativas, y pueden ser alteradas o reemplazadas con materiales similares por un experto en el campo para lograr los objetivos de la invención.

Estas condiciones relacionadas con el tipo de material del cual está hecho el cuerpo deformable 10 y su forma hacen posible que el dispositivo de investigación 1 tenga las siguientes propiedades:

- interferir de manera despreciable con los campos de tensión (específicamente aquellos que tienen componentes ortogonales a dichas superficies aplanadas) generados en la parte 2 por las acciones externas aplicadas y por la presencia del propio sensor,
- afectando de manera despreciable los fenómenos viscoelásticos en el aglomerado,
- que afecta de manera despreciable las variaciones de tensión en el espacio dentro del aglomerado debido a las irregularidades en la propia matriz

del aglomerado, por ejemplo, la presencia de sustancias inertes cuyo módulo de elasticidad es diferente del módulo de elasticidad promedio del aglomerado y/o de burbujas de gas dentro de dicho aglomerado.

Estas propiedades han sido verificadas mediante simulación en elementos terminados.

Por lo tanto, en virtud de las características de la invención, es posible calcular una tensión S_{YY} que está efectivamente relacionada con una acción externa, por ejemplo, la carga P aplicada, o con variaciones en las condiciones de la estructura del aglomerado o la mezcla cementosa independientemente de la naturaleza intrínsecamente viscoelástica del propio aglomerado.

Es importante tener en cuenta que los dispositivos implementados de acuerdo con las enseñanzas de la técnica anterior tienden a perturbar el campo de tensión porque tienen características dimensionales y estructurales que desvían las líneas de fuerza internas con respecto a una carga aplicada al aglomerado bajo examen o, cuando se miden las deformaciones, afectan los fenómenos viscosos en el aglomerado y no hacen posible la evaluación directa de la tensión S_{YY} , independientemente del conocimiento de la ecuación constitutiva del propio aglomerado. Alternativamente, simplemente miden las deformaciones afectadas por el comportamiento viscoelástico del material.

El cuerpo deformable 10 está parcialmente perturbado por dos fenómenos inevitables:

- La desviación en las líneas de fuerza de la tensión S_{YY} debido a la diferencia de rigidez entre el aglomerado y el cuerpo deformable 10.

- La aparición de fenómenos viscosos generados en el aglomerado en una proximidad del dispositivo como resultado de los gradientes de tensión debido a la desviación en las líneas de fuerza de la tensión S_{YY} descrito en el punto anterior y debido a que el cuerpo deformable 10 está libre de comportamiento viscoso.

Esta perturbación se muestra en la Figura 3, donde, asumiendo simetría axial, es posible ver las tensiones radiales S_r , las tensiones verticales S_v y las tensiones circunferenciales S_c presentes en la parte 2 de la Figura 2, seccionadas en cualquier semiplano originado en la línea recta YY .

Se puede ver que las tres tensiones generadas por la carga externa P distribuida uniformemente son constantes en el espacio, excepto en una zona cercana a la periferia externa del cuerpo deformable 10, donde se concentran las desviaciones en las líneas de fuerza y los fenómenos viscosos parasitarios e indeseables descritos anteriormente.

En función de la relación R entre la dimensión mínima de las bases A y B y la altura h_1 del cuerpo deformable 10, la zona perturbada termina confinada espacialmente en una porción más o menos extensa de la porción 2.

Sin embargo, estas perturbaciones solo son relevantes para el borde cilíndrico externo, etiquetado A_1 , del cuerpo deformable 10 para una extensión

igual a una fracción del radio (en el caso del dispositivo cilíndrico presentado en las Figuras 1 y 2, esta extensión es aproximadamente $1/3$ del radio del cuerpo deformable 10).

Por lo tanto, se puede identificar una zona interna del cuerpo deformable 10, denominada zona no perturbada A2, que permanece inalterada por dichos fenómenos viscosos de primer orden y de segundo orden y, por lo tanto, sujeta a una tensión $S_v = S_{YY}$ que es ortogonal a las caras A y B y solo proporcional a las acciones externas (por ejemplo, la carga P).

En particular, la tensión $S_v = S_{YY}$ que es ortogonal a las caras A y B es proporcional a una combinación de una pluralidad de deformaciones incluidas en dicha zona no perturbada A2.

Con referencia a la Figura 1, la zona no perturbada A2 es preferentemente igual a un cilindro dentro del cuerpo deformable 10, que tiene una base que tiene un diámetro D2 de aproximadamente 20 mm (ver Figura 1).

Preferentemente, dicho por lo menos un medidor de deformación Ri está colocado a una distancia h2 desde por lo menos una de dichas dos superficies A, B (ver la Figura 2).

Además, la distancia h2 es mayor o igual que la dimensión de la burbuja de gas más grande que puede estar presente en el aglomerado. De hecho, este posicionamiento de dicho medidor de deformación Ri hace posible que el

material del cual el cuerpo deformable 10 está hecho reduzca la perturbación local provocada en la medición por las burbujas de gas en el aglomerado.

En particular, el medidor de deformación Ri está dispuesto equidistantemente entre las dos caras A y B. Alternativamente, el medidor de deformación Ri está dispuesto asimétricamente dentro de dicho cuerpo deformable, pero manteniendo la distancia mínima entre una parte del mismo y la cara A o B más grande que dicha dimensión de la burbuja de gas más grande.

Preferentemente, el medidor de deformación Ri es un dispositivo que comprende por lo menos tres extensómetros eléctricos u ópticos.

En una modalidad preferida, el medidor de deformación Ri comprende por lo menos tres resistencias (medidor de esfuerzo, piezorresistiva, etc.) cuya deformación se puede detectar fácilmente al controlar las variaciones en la resistencia eléctrica. Alternativamente o además, el medidor de deformación Ri puede comprender un capacitor capacitivo, cuya deformación se puede detectar fácilmente al monitorear las variaciones en la capacitancia.

Estas modalidades pretenden ser ejemplares y no limitativas, y pueden ser modificadas o reemplazadas por sensores de deformación similares por un experto en el campo de una manera simple y rutinaria para lograr los objetivos de la invención.

En una modalidad preferida, el medidor de deformación R_i comprende tres sensores de deformación R_1 , R_2 , R_3 , orientados individualmente de acuerdo con un conjunto predeterminado de tres ejes y adecuados para medir tres deformaciones E_1 , E_2 , E_3 , a partir de los cuales se calcula la tensión S_{YY} mencionada anteriormente combinando dichas tres deformaciones, cuya tensión actúa en la zona no perturbada A_2 y es proporcional a la combinación de las tres mediciones de deformación E_1 , E_2 , E_3 y, por lo tanto, solo a las acciones externas aplicadas (por ejemplo, la carga P), y no está influenciada por los fenómenos viscosos provocados dentro del cuerpo deformable 10.

En particular, el por lo menos un medidor de deformación (R_i) comprende tres sensores de deformación (R_v , R_r , R_c), orientados individualmente según un conjunto predeterminado de tres ortogonales y adecuados para medir tres deformaciones (E_v , E_r , E_c) que están orientadas ortogonalmente entre sí e incluidos en la zona no perturbada (A_2), y la tensión (S_{YY}) es proporcional a una combinación de dichas tres deformaciones (E_v , E_r , E_c) orientadas ortogonalmente entre sí.

Por ejemplo, asumiendo una forma axialmente simétrica tanto del interior de la porción 2 del aglomerado como del dispositivo de investigación 1, y con una carga aplicada P a lo largo del eje de referencia Y , el conjunto de tres ortogonales definidos de acuerdo con las coordenadas cilíndricas universales vertical, radial y circunferencial v , r , c también define las orientaciones de los tres sensores de deformación vertical, radial y circunferencial R_v , R_r , R_c de las tres deformaciones verticales, radiales y circunferenciales correspondientes E_v ,

E_r , E_c y de las tres tensiones verticales, radiales y circunferenciales S_v , S_r , S_c , respectivamente (ver Figura 2).

Además, en la aproximación axialmente simétrica utilizada, las tres deformaciones vertical, radial y circunferencial E_v , E_r , E_c son distintas a cero, mientras que las deformaciones angulares E_{rv} , E_{rc} , E_{vc} son cero o insignificantes. Esto significa que el cálculo de la tensión axial S_{YY} , coincidente con la tensión vertical S_v , se simplifica aplicando la ecuación constitutiva elástica lineal del material del cual está hecho el cuerpo deformable 10, asumiendo un estado axialmente simétrico, de acuerdo con la ecuación (1):

$$\begin{Bmatrix} S_{XX} \\ S_{YY} \\ S_{ZZ} \\ S_{XY} \end{Bmatrix} = C \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G/C \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} E_{XX} \\ E_{YY} \\ E_{ZZ} \\ E_{XY} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Si se desea abandonar el supuesto de simetría axial, se debe aplicar la ecuación constitutiva completa del material, utilizando los seis componentes de deformación y tensión, utilizando una forma más complicada de la ecuación, pero obteniendo resultados sustancialmente idénticos (ver ecuación 2).

$$\begin{Bmatrix} S_{XX} \\ S_{YY} \\ S_{ZZ} \\ S_{XY} \\ S_{XZ} \\ S_{YZ} \end{Bmatrix} = C \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G/C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G/C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G/C \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} E_{XX} \\ E_{YY} \\ E_{ZZ} \\ E_{XY} \\ E_{XZ} \\ E_{YZ} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

En donde

$$C = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

donde ν es la relación de Poisson y E es el módulo de Young.

En ambos casos, se obtiene la ecuación 3:

$$S_v = S_{YY} = C[\nu E_{XX} + (1-\nu)E_{YY} + \nu E_{ZZ}] \quad (3)$$

En virtud del dispositivo de investigación 1 y sus características antes mencionadas, incluso si el modelo del dispositivo no es axialmente simétrico, es posible definir una zona no perturbada A2 dentro del cuerpo deformable 10 en el que el esfuerzo S_v es proporcional solo a las acciones aplicadas externas y no está influenciado por los fenómenos viscosos generados dentro del cuerpo deformable 10 o por las desviaciones en las líneas de fuerza.

En virtud del dispositivo de investigación 1 y sus características antes mencionadas, incluso si el modelo del dispositivo no es axialmente simétrico, es posible definir una zona no perturbada A2 dentro del cuerpo deformable 10 en el que el esfuerzo S_v es proporcional solo a las acciones externas aplicadas y no está influenciado por los fenómenos viscosos generados dentro del cuerpo deformable 10 o por las desviaciones en las líneas de fuerza.

En este caso, los cálculos necesarios para obtener el valor de la tensión requieren el uso de la ecuación constitutiva completa del material del cual se forma el cuerpo deformable 10, como se describió anteriormente.

En una aplicación preferida, si la carga externa aplicada P es constante, la combinación mencionada anteriormente de la ecuación 3 es constante, lo que significa que el valor de S_{YY} también es constante.

En una modalidad preferida, el cuerpo deformable 10 puede comprender salientes (no mostrados en la figura) para aumentar la unión entre este y la estructura del aglomerado o mezcla cementosa.

En particular, los salientes pueden ser elementos cilíndricos o cónicos, que tienen una extensión espacial completa o truncada, colocados en las superficies externas del cuerpo deformable 10 con un tamaño adecuado para enganchar rígidamente con la estructura o la porción 2 del aglomerado y reducir la posibilidad de desplazamiento del dispositivo de investigación 1 una vez que la pieza fundida del aglomerado o mezcla cementosa se solidifique por encima de él.

En una modalidad preferida, una unidad de procesamiento de datos 20 está asociada, a través de medios de comunicación, con el medidor de deformación R_i para calcular una combinación de dichas deformaciones y para obtener la medición de dicha tensión S_v .

Preferentemente, dicha unidad de procesamiento de datos 20 está alojada externamente en la porción 2 del aglomerado o internamente en el cuerpo deformable 10, para no alterar la elasticidad mecánica y las propiedades de rigidez del mismo.

En particular, la unidad de procesamiento de datos 20 es un microprocesador, una computadora, una tableta, un teléfono inteligente, un servidor o dispositivos similares que pueden seleccionarse para lograr el objetivo de la invención.

Preferentemente, los medios de comunicación entre el por lo menos un medidor de deformación R_i y la unidad de procesamiento de datos 20 son conexiones cableadas, conexiones inalámbricas (Wi-Fi, Bluetooth, etc.) o tipos similares que son fácilmente identificables por un experto en el campo.

En una modalidad, el dispositivo de investigación 1 puede instalarse ventajosamente dentro de las estructuras aglomerada o de mezcla cementosa antes de la fundición, de una manera rápida, efectiva y económica.

Preferentemente, esta instalación tiene como objetivo garantizar que el dispositivo de investigación 1 no se mueva (en rotación y/o traslación) durante las etapas de fundición del aglomerado o la mezcla cementosa dentro de un encofrado para garantizar un posicionamiento y orientación firmemente conectados del dispositivo de investigación 1 durante las etapas que siguen el proceso de fundición, también.

De esta manera, de hecho, será posible proporcionar la posición del sensor incluso durante las etapas de maduración / envejecimiento del cemento (en el caso de una mezcla cementosa) durante cualquier etapa de transporte y uso de la estructura cementosa.

Preferentemente, el ensamblaje se lleva a cabo utilizando un soporte del dispositivo de investigación 1 adecuado para conectarse a partes de la armadura o del encofrado y con las características ventajosas que se exponen a continuación.

Preferentemente, el soporte es económico (ya que se dejará dentro de la fundición), es sólido y no forma un punto débil y frágil para la estructura en la que se encuentra, es duradero en el tiempo (no debe causar deterioro por envejecimiento a la estructura en la que se aloja), es rígido y no perturba el comportamiento estático normal de la estructura en la que se aloja, no interfiere con y/o perturba las mediciones llevadas a cabo por el dispositivo de investigación 1, es compacto para para venderse fácilmente con el sensor y es fácil de transportar, es robusto para poder garantizar que el sensor no se mueva durante la fundición, no obstruye el flujo del concreto fresco durante la fundición, lo que da lugar a nidos de grava u otros defectos en la fundición y es adecuado para alojar cualquier otro dispositivo electrónico que haga posible que el sensor funcione y/o se comuniqué con el exterior (por ejemplo, baterías, sistemas electrónicos, antenas).

En una modalidad, dicho soporte es una red formada utilizando alambres de acero electrosoldados o alambres de zinc o alambres pintados o alambres recubiertos con material plástico o alambres de acero inoxidable o similares.

Ventajosamente, dicha red comprende alambres, cuyo diámetro generalmente varía de 1 mm a 2 mm.

En una modalidad, la malla de la red es cuadrada o rectangular, y se puede personalizar, con un calibre de entre 2 cm y 10 cm.

Preferentemente, el dispositivo de investigación 1 está posicionado dentro del soporte.

También preferentemente, el dispositivo de investigación 1 se coloca dentro de una malla de dicha red para mantener una posición y orientación predefinidas durante las etapas de formación de cemento y durante las fases subsiguientes a la misma.

En una modalidad, el dispositivo de investigación 1 puede fijarse a la red utilizando cualquier sistema de anclaje aplicable industrialmente adecuado para conectar dicho dispositivo 1 a la red.

Preferentemente, el sistema de soporte contiene por lo menos un cable eléctrico adecuado para suministrar energía a dicho dispositivo y/o transferir los datos adquiridos por el dispositivo de investigación 1 a las unidades de procesamiento provistas que pueden conectarse operativamente.

En una modalidad, el dispositivo de investigación está conectado a la red a través de un dispositivo de alojamiento para conectar el dispositivo de investigación 1 mediante la interferencia, luego de una deformación elástica, en asientos predeterminados que se pueden separar de manera reversible luego de la aplicación de una fuerza lo que provoca su deformación elástica.

Preferentemente, dicho dispositivo de alojamiento está hecho de material polimérico.

En una modalidad, una vez que el dispositivo de investigación y opcionalmente un cable de alimentación / señal se fijan a la red metálica, dicha red se puede fijar fácilmente a una jaula de armadura de las estructuras o al encofrado de la misma.

Ventajosamente, la red está formada con barras de armadura que tienen un diámetro de 4, 6, 8, 10 o 12 mm (particularmente en ausencia de una armadura dispuesta en el encofrado).

En una modalidad, un sensor de temperatura y/o humedad está contenido en el dispositivo de investigación 1.

Preferentemente, el sensor de temperatura y/o humedad está alojado fuera del dispositivo de investigación 1.

Ventajosamente, dichos sensores de temperatura y/o humedad son adecuados para medir la temperatura y la humedad del concreto para obtener información útil sobre la maduración / envejecimiento del concreto en intervalos de tiempo específicos (típicamente días) posteriores a la modalidad de la fundición.

Preferentemente, el sensor de temperatura es un termistor o termopar o dispositivo digital similar.

Preferentemente, el sensor de humedad es un higrómetro adecuado para calcular la variación en la humedad mediante formas de variaciones en la capacitancia o resistencia eléctrica o similares.

En una modalidad, el sensor de temperatura y/o humedad se inserta en una caja hermética.

Ventajosamente, dicha caja hermética está hecha de material polimérico.

Preferentemente, los sistemas de suministro de energía, una unidad operativa (microcontrolador) y medios de transferencia de datos cableados o inalámbricos conectados operativamente entre sí y/o a dichos sensores de temperatura y/o humedad, están alojados dentro de la caja hermética.

De hecho, el solicitante ha confirmado que es particularmente útil conocer la maduración / envejecimiento del concreto para poder conocer, monitorear y, opcionalmente, modificar la velocidad de fraguado de dicho material. De hecho, dichos parámetros de investigación proporcionan información importante que puede asociarse con el desarrollo a lo largo del tiempo y/o en el espacio de las resistencias mecánicas internas del concreto.

En virtud de esta solución técnica, es posible controlar el proceso de maduración / envejecimiento de forma continua y efectiva, opcionalmente, modificando la humedad y la temperatura a la que se realiza el fraguado y el endurecimiento del material en los días posteriores a la fundición: de esta manera, es posible obtener un cemento de mayor calidad (menos poroso, menos microfisurado, más resistente y de comportamiento uniforme) utilizando los mismos reactivos iniciales (arena, grava, cemento, aditivos).

Los modos de funcionamiento del dispositivo de investigación 1, que definen el método de la presente invención, comprenden las etapas descritas a continuación.

Un operador asignado prepara, en uno o más puntos de una estructura de un aglomerado que incluye un aglutinante y una sustancia unida, por lo menos un dispositivo de investigación 1 capaz de medir por lo menos tres deformaciones orientadas entre sí en tres ejes.

Posteriormente, en cada uno de dichos puntos se obtienen las correspondientes por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3.

Ventajosamente, las correspondientes por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 en cada uno de dichos puntos son por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 del dispositivo de investigación 1.

Preferentemente, las correspondientes por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 en cada uno de dichos puntos son por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 del cuerpo deformable 10.

Como se indicó anteriormente, las por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 son deformaciones del dispositivo de investigación 1 causadas por el aglomerado o la estructura de mezcla cementosa para las cuales dicho dispositivo de investigación funciona como un filtro / pantalla para cualquier contribución viscoelástica presente.

En este punto, se calcula una tensión S_{YY} proporcional a una combinación de dichas por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 en el punto correspondiente.

En otra modalidad preferida de dicho método, se llevan a cabo las siguientes etapas.

Un operador asignado identifica en la estructura que se está monitoreando los puntos en los que se colocarán los dispositivos de investigación 1.

Posteriormente, se proporciona por lo menos un dispositivo de investigación 1, que comprende:

a) un cuerpo deformable 10 que tiene un comportamiento elástico, por lo menos en el contexto de la tensión admisible en dicha estructura aglomerada,

b) dicho cuerpo deformable 10 tiene dos superficies A y B, cuya dimensión menor es mayor o igual al diámetro nominal máximo de la sustancia unida o sustancia inerte utilizada en el aglomerado, y una forma que se aplana con respecto a dos dimensiones predominantes.

En este punto, el por lo menos un dispositivo de investigación 1 se coloca en la posición y orientación identificadas.

Posteriormente, se realiza una fundición del aglomerado que encapsula completamente por lo menos un dispositivo de investigación 1.

Por lo tanto, dichas por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 orientadas entre sí dentro de una zona no perturbada A2 de dicho cuerpo deformable 10, se detectan dentro de dicho cuerpo deformable 10 de dicho dispositivo de investigación 1.

En este punto, se calcula la tensión S_{YY} que es proporcional a una combinación de las por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 y está presente en la zona no perturbada A2 del cuerpo deformable 10.

Preferentemente, dentro de la zona no perturbada A2 del cuerpo deformable 10, a una distancia mayor o igual a h_2 de las caras A y B, se miden por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 orientadas entre sí. En una modalidad preferida de dicho método, por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 están orientadas ortogonalmente entre sí.

En particular, dentro de la zona no perturbada A2 del cuerpo deformable 10, se dispone por lo menos un medidor de deformación R_i , siendo dicho medidor de deformación capaz de medir por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3 a una distancia de las caras A y B que es mayor o igual que h_2 .

En una modalidad preferida, las tres mediciones de deformación E1, E2, E3 se miden utilizando tres sensores de deformación R1, R2, R3 conectados operativamente a una unidad de procesamiento de datos 20.

En este punto, utilizando una combinación de dichas por lo menos tres mediciones de deformación E1, E2, E3, se calcula la tensión S_{YY} presente en la zona no perturbada A2 en dicho cuerpo deformable 10.

Preferentemente, los cálculos relacionados con la tensión constante S_{YY} son implementados por la unidad de procesamiento de datos 20.

En una modalidad preferida, dicho método continúa con las etapas que se exponen a continuación.

Un usuario asignado al control monitorea el progreso a lo largo del tiempo de la tensión S_{YY} calculada para detectar cualquier alteración en el mismo debido a acciones externas aplicadas a dicha estructura aglomerada y/o debido al daño a la estructura en sí.

En un caso particular, las acciones externas aplicadas son la carga P aplicada a la estructura aglomerada.

Además, el usuario asignado al control puede ser una persona física, la propia unidad de procesamiento de datos 20 (PC, tableta, servidor, etc.) o una unidad de archivo adecuada para registrar el progreso a lo largo del tiempo de la tensión S_{YY} .

Posteriormente, el usuario asignado al control activa un mensaje de alarma cuando la tensión S_{YY} calculada varía más allá de una tolerancia predefinida por un valor de umbral establecido previamente.

Por ejemplo, la tolerancia predefinida es un valor igual al 10% del valor de la tensión de umbral considerada crítica para dicho aglomerado según los cálculos específicos que se realizarán para cada estructura individual.

De esta manera, es potencialmente posible identificar, en tiempo real, variaciones en las acciones externas y/o en la estructura con respecto a las condiciones iniciales que pueden ser particularmente peligrosas para la integridad de dicha estructura.

En virtud de las características de la invención, el método y el dispositivo de investigación 1 para medir tensiones en una estructura aglomerada pueden detectar variaciones en las acciones externas aplicadas o variaciones en la estructura (relacionadas con el deterioro, daño, envejecimiento, manipulación,

etc.) y, opcionalmente, activar los mensajes de alarma cuando se excedan los umbrales críticos establecidos al momento de instalar el sistema o en cualquier momento subsiguiente.

Naturalmente, un experto en el campo puede aportar modificaciones y variantes adicionales a la invención descrita anteriormente con el objetivo de cumplir con los requisitos específicos de las aplicaciones contingentes, las modificaciones y variantes que aún están dentro del alcance de la protección como se define en las siguientes reivindicaciones.