

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 089**

51 Int. Cl.:  
**G01M 5/00** (2006.01)  
**G01B 11/16** (2006.01)  
**G01C 19/72** (2006.01)  
**E04H 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07703170 .6**  
96 Fecha de presentación: **31.01.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1979732**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.10.2008**

54 Título: **Método para la determinación de cargas y daños de una estructura mecánica**

30 Prioridad:  
**02.02.2006 DE 102006005258**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.04.2012**

73 Titular/es:  
**NORTHROP GRUMMAN LITEF GMBH  
LORRACHER STRASSE 18  
79115 FREIBURG, DE**

72 Inventor/es:  
**SCHREIBER, Ulrich;  
RASCH, Andreas;  
MANDER, John B. y  
CARR, Athol James**

74 Agente/Representante:  
**Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 378 089 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método para la determinación de cargas y daños de una estructura mecánica

5 La presente invención hace referencia a un método para la determinación de las cargas de una estructura mecánica y/o de los daños o estados de la estructura mecánica, que resultan de las cargas de la estructura mecánica. La presente invención hace referencia, particularmente, a un método para la determinación de las cargas y/o de los daños de un edificio que resultan de las cargas del edificio, así como un dispositivo apropiado para dicho fin.

10 La monitorización de la integridad de la mecánica estructural de los edificios durante y después de cargas en el edificio (por ejemplo, seísmos, tormentas, cargas de peso por nieve sobre un techo plano) resulta una tarea importante. Además de la necesidad de reducir los daños de las personas, también se debe considerar el aspecto de la reducción del tiempo en el que el edificio va a estar inhabilitado. Además, las ciudades en constante crecimiento con diferentes características de terreno, conducen a que los efectos de las cargas en los edificios, por ejemplo, de los seísmos, resulten muy diferentes en los diferentes barrios. También varían considerablemente la clase y la estructura de cada edificio dentro de una zona muy limitada. Por consiguiente, en un caso extremo, un edificio se puede dañar considerablemente, mientras que una construcción directamente adyacente puede permanecer prácticamente intacta.

15 Por lo tanto, desde el punto de vista de la protección contra catástrofes, resulta una situación extremadamente difícil, dado que para la optimización y coordinación de las medidas de rescate, no existen criterios simples para la priorización de las medidas de auxilio en una intervención en caso de catástrofe que afecte a una gran zona urbana.

20 La patente WO 00/43768 describe un método que comprende el proceso de un evento de colisión, de catástrofes naturales o de vandalismo en la estructura de una construcción, y que puede establecer el estado de la estructura de la construcción antes y después del evento, utilizando medios fotográficos. Además, se utilizan, de manera preferente, sensores acústicos, medidores de dilatación, acelerómetros y sensores de rotación en relación con un sistema de cámaras (infrarrojas o de vídeo).

25 La patente WO 03/019113 A1 describe un sistema en el cual un haz láser se dirige desde una posición exterior hacia la estructura a examinar. En dicho punto el haz se refleja en un espejo en la misma dirección, y es proyectado por un divisor de haz hacia un detector de forma plana. Los desfases en la distribución de la luminosidad permiten conclusiones en relación con las vibraciones y los desplazamientos del edificio.

30 La patente US 2003/0019294A1 describe un dispositivo y un método para medir las deformaciones por flexión y las rotaciones de torres y otras construcciones esbeltas, mediante la utilización de dos o más haces láser. Dichos haces son emitidos desde una parte de la estructura por el emisor conectado firmemente en dicha parte, y se registran en otra parte de la estructura con un detector también anclado firmemente. Las deformaciones por flexión de la estructura y las rotaciones alrededor de un eje aproximadamente paralelo a los haces, se pueden identificar como un desplazamiento en una representación de los puntos de incidencia del láser.

35 La patente US 2004/0107671A1 describe la aplicación de un giroscopio para la medición de ángulos y de aumentos de los ángulos. Se proporciona un dispositivo de medición para la determinación de ángulos. Además, no se mencionan las limitaciones que presenta un giroscopio utilizado debido a la deriva del sensor.

La patente EP 0 409 341 A1 describe un telecoordinómetro que mediante su ayuda se pueden medir los movimientos y las vibraciones de una estructura conectada a dicho dispositivo.

40 En la publicación de Daniele Inaudi, Branko Glisic. "Inclinómetro interferométrico para la monitorización estructural" en 2002, en el resumen técnico de la 15ª conferencia de sensores de fibra óptica, Ofs 2002 (CAT. NO. 02EX533) IEEE PISCATAWAY, NJ. EE.UU. vol.1, 2002, páginas 391 - 394. vol.1, XP002433514, ISBN: 0-7803-7289-1)), se describen además las opciones para monitorizar estructuras complejas en relación con su posición, dilatación y deformación.

45 El objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método, así como un dispositivo para la determinación de cargas individuales en edificios y/o de daños individuales en edificios, de manera que se pueda realizar una priorización de las medidas de auxilio en una intervención en caso de catástrofe en una gran zona urbana.

50 Para solucionar dicho objeto, la presente invención proporciona un método para determinar las cargas de un edificio y/o los daños de un edificio que resultan de las cargas en el edificio, de acuerdo con la reivindicación 1. Además, la presente invención proporciona un método para la determinación de las cargas de una estructura mecánica y/o de los daños o estados de la estructura mecánica que resultan de las cargas de la estructura mecánica, de acuerdo con

la reivindicación 8. Los acondicionamientos, o bien los perfeccionamientos, ventajosos del concepto de la presente invención se encuentran en las reivindicaciones relacionadas.

5 El método conforme a la presente invención para la determinación de cargas en el edificio y/o de daños en el edificio que resultan de las cargas del edificio, se distingue mediante el hecho de que las rotaciones de una parte del edificio generadas por las cargas o los daños en el edificio, se miden mediante un sensor de rotación de fibra óptica que se encuentra conectado, de manera mecánicamente fija, con dicha parte del edificio, y a partir de las rotaciones medidas se deducen las cargas y los daños en el edificio.

10 Para precisar la determinación de las cargas y de los daños en el edificio, en lugar de un sensor de rotación de fibra óptica individual se puede utilizar una pluralidad de sensores de rotación: De esta manera, las rotaciones de una pluralidad de partes del edificio generadas por las cargas y los daños en el edificio, se pueden medir mediante sensores de rotación de fibra óptica correspondientes, que se conectan de manera mecánicamente fija con dichas partes del edificio, y a partir de las rotaciones medidas se pueden deducir las cargas y los daños en el edificio. En otras palabras: Cada sensor de rotación mide las rotaciones de aquella parte del edificio con la cual se encuentra conectado. A partir de la suma de las rotaciones determinadas de cada parte del edificio, se puede deducir después el estado general del edificio, o bien se pueden establecer individualmente las cargas y los daños en el edificio para cada parte del edificio. De esta manera, se pueden establecer, por ejemplo, torsiones en el interior del edificio, por ejemplo, entre dos plantas consecutivas del edificio.

20 Cada sensor de rotación se puede diseñar, de acuerdo a la necesidad individual, como un sensor de rotación uniaxial, biaxial o triaxial, es decir, que cada sensor de rotación se puede diseñar individualmente como un sensor que mide las rotaciones alrededor de uno, dos o tres ejes de rotación. De esta manera, por ejemplo, las partes del edificio particularmente críticas se pueden equipar también con sensores de rotación triaxiales, para permitir una medición precisa, mientras que en el caso de las partes del edificio no críticas pueden resultar suficientes los sensores de rotación biaxiales o uniaxiales.

25 En una forma de ejecución de la presente invención, los sensores de rotación se encuentran fijados en paredes laterales del edificio, de tal manera que a partir de las rotaciones medidas se puedan deducir los ángulos relativos entre las paredes laterales y el piso, o bien los techos, del edificio soportados por las paredes laterales. Esta clase de ángulos relativos representan una medida probada para la evaluación de las cargas y de los daños en el edificio, particularmente de los daños por sismos.

30 Además de los sensores de rotación de fibra óptica, en el edificio se pueden proporcionar sensores de aceleración u otros sensores que se encuentren conectados de manera mecánicamente fija con las partes del edificio correspondientes, y mediante los cuales se miden las traslaciones de las partes del edificio generadas por las cargas y los daños del edificio, en donde a partir de las traslaciones medidas se deducen las cargas y los daños en el edificio. La provisión adicional de esta clase de sensores permite una determinación particularmente precisa de las cargas y de los daños en el edificio, dado que de esta manera se pueden medir los seis grados de libertad de movimiento (es decir, los tres grados de libertad de traslación y los tres grados de libertad de rotación).

En una forma de ejecución del método conforme a la presente invención, a partir de las rotaciones y/o traslaciones medidas se deduce la modificación de la orientación del edificio en relación con el eje de rotación de la tierra. La modificación de la orientación se puede evaluar como una medida fiable para las cargas y los daños en el edificio a determinar, particularmente para daños por sismos.

40 En líneas generales, la presente invención proporciona un método para la determinación de las cargas de una estructura mecánica y/o de los daños o estados de la estructura mecánica que resultan de las cargas de la estructura mecánica. El método se caracteriza porque las rotaciones de una parte de la estructura mecánica, generadas por cargas y daños de la estructura mecánica, se miden mediante un sensor de rotación de fibra óptica que se encuentra conectado de manera mecánicamente fija con la parte de la estructura, y a partir de las rotaciones medidas se deducen las cargas, los daños y estados de la estructura mecánica.

45 Además, la presente invención hace referencia a un método para la determinación de las cargas de una estructura mecánica y/o de los daños o estados de la estructura mecánica que resultan de las cargas de la estructura mecánica. El método se caracteriza porque las rotaciones de una pluralidad de partes de la estructura mecánica, generadas por cargas y daños de la estructura mecánica, se miden mediante sensores de rotación de fibra óptica correspondientes, los cuales se encuentran conectados de manera mecánicamente fija con las partes de la estructura, y a partir de las rotaciones medidas se deducen las cargas, los daños y estados de la estructura mecánica.

55 Por el término "estructura mecánica" se entiende, por ejemplo, un edificio o una parte de un edificio (techo), un puente, un túnel, el fuselaje o las superficies sustentadoras de un avión, una parte del suelo (por ejemplo, la roca de una montaña), una tubería o una ruta de tráfico (calles, vía ferroviarias, rutas ferroviarias), etc.

Además, la presente invención proporciona un dispositivo para la determinación de cargas en edificios y/o daños en edificios que resultan de dichas cargas en los edificios. El dispositivo se distingue por

- un sensor de rotación de fibra óptica que se conecta con una parte del edificio de manera mecánicamente fija, y

5 - un dispositivo de evaluación conectado con el sensor de rotación para la determinación de las cargas y de los daños en el edificio, en base a las rotaciones de la parte del edificio que se han detectado mediante el sensor de rotación.

Además, la presente invención hace referencia a un dispositivo para la determinación de las cargas de una estructura mecánica y/o de los daños o estados de la estructura mecánica que resultan de las cargas de la estructura mecánica, que presenta:

10 - un sensor de rotación de fibra óptica que se conecta con una parte de la estructura de manera mecánicamente fija, y

- un dispositivo de evaluación conectado con el sensor de rotación para la determinación de las cargas, los daños y los estados de la estructura, en base a las rotaciones de la parte de la estructura que se han detectado mediante el sensor de rotación.

15 Para los dispositivos conforme a la presente invención, la información (formas de ejecución) en relación con el método conforme a la presente invención, resulta análoga: De esta manera, los dispositivos conforme a la presente invención también pueden estar compuestos de una pluralidad de sensores de rotación de fibra óptica. Los sensores de rotación se pueden diseñar como sensores de rotación uniaxiales, biaxiales o triaxiales, etc.

20 Los dispositivos de evaluación de los sensores de rotación individuales se pueden encontrar conectados en red con otras unidades de equipo, de manera que se puedan recopilar de manera simple los datos de rotación determinados, para poder elaborar una vista general de los daños poco después de las cargas y de los daños en el edificio. Sin embargo, de esta manera cada sensor de rotación se puede proveer de un dispositivo de evaluación propio, así como se puede proporcionar un dispositivo de evaluación central único que se encuentre conectado con todos los sensores de rotación y otros sensores. La conexión en red de los dispositivos de evaluación con otras unidades de  
25 equipo, o bien la conexión en red de los sensores de rotación con un dispositivo de evaluación central, se puede realizar, por ejemplo, mediante líneas de cables o mediante radioenlaces.

30 Por consiguiente, conforme a la presente invención, se utiliza un sensor que se basa en la medición absoluta de la rotación, que con un giroscopio de fibra óptica especializado detecta dinámicamente en tres direcciones espaciales la inclinación del edificio durante un seísmo. Además, se determina en tiempo real la inclinación máxima y la inclinación acumulada de plantas individuales o bien, del edificio completo, y se comparan con una tabla de tolerancias predefinida específica del edificio, que se ha establecido previamente en el sensor o en un dispositivo de evaluación conectado con dicho sensor. El resultado de dicha evaluación del edificio se visualiza para el soporte de las medidas de urgencia, por ejemplo, en un código simple de colores de varios niveles, y simultáneamente se encuentra a disposición desde una interfaz exterior. Esto permite la conexión de una pluralidad de sensores de esta  
35 clase con una unidad funcional superordinada, así como la integración de sensores individuales, o bien de interconexiones de sensores en una red de radio.

A continuación, se explica en detalle la presente invención en relación con las figuras de la forma de ejecución a modo de ejemplo. Muestran:

40 Fig. 1 una representación esquemática de una parte de un edificio con sensores de rotación montados en dicha parte, antes y después de un seísmo;

Fig. 2 una representación esquemática de dos partes de un edificio que limitan entre sí, antes y después de un seísmo; y

Fig. 3 un diagrama de flujo de una forma de ejecución del método conforme a la presente invención.

Fig. 4 la curva característica de una torsión de un edificio durante un seísmo.

45 En las figuras, los componentes, o bien los grupos de componentes, que se corresponden entre sí, se indican con las mismos símbolos de referencia. En la siguiente descripción, por razones de simplificación, se supone que en el caso de las cargas y los daños del edificio se trata de daños por seísmos.

Como se ha indicado anteriormente, el elemento principal del concepto es un sensor de rotación inercial de fibra óptica, preferentemente de tres componentes, que se conecta de manera fija con la estructura de la construcción. De esta manera, el sensor participa de los movimientos del edificio (o de las secciones del edificio), y suministra el índice de rotación en tres direcciones espaciales lineales independientes (por ejemplo, alrededor del "eje longitudinal, del "eje transversal" del edificio y alrededor de su plano horizontal) como una señal de sensor. En el procesador del sensor se integran dichos índices de rotación, y se calcula la inclinación máxima acumulada en relación con un sistema de referencia inercial. El ángulo máximo de inclinación entre una pared que soporta y la capa de hormigón de un edificio, es una de las magnitudes más críticas para la evaluación de la capacidad de soporte restante de dicha parte del edificio. Una inclinación demasiado pronunciada de una placa de techo en contra de su soporte, conduce a un esfuerzo excesivo de la construcción de soporte y, a continuación, conduce a la formación de grietas que perjudica la capacidad de soporte. Además, resulta irrelevante si dicha inclinación se produce de golpe o de manera distribuida a lo largo de un periodo de tiempo prolongado. El ángulo de inclinación máximo resulta decisivo para la estabilidad de la construcción.

En la figura 2 se representa gráficamente dicha relación. Además, la figura 2 a) proyecta una capa de hormigón 2 que engancha, normalmente, en una parte de la pared lateral, sin cargas generadas por inclinaciones del edificio, mientras que b) representa una situación después de un seísmo. Si el ángulo de inclinación (alfa) generado por el seísmo excede un valor umbral determinado, se puede producir el derrumbe del edificio.

En comparación con la utilización de acelerómetros convencionales, el método conforme a la presente invención presenta la ventaja de que se basa en el principio de una medición de rotación absoluta, y que comprende un margen dinámico muy amplio. De esta manera, además de las inclinaciones de alta frecuencia, también se detectan variaciones de la inclinación que se desarrollan lentamente en márgenes de frecuencia que ya no resultan accesibles para los sensores de inercia.

Según la disposición de una pluralidad de sensores en un edificio, no sólo se obtiene de esta manera la inclinación de una construcción supuestamente firme, sino que también se determina la inclinación diferencial o bien, la torsión entre las plantas y las partes del edificio individuales provistas de esta clase de sensores.

En este caso se pueden utilizar adicionalmente los acelerómetros que funcionan en base al concepto de la inercia de masa. De esta manera, por primera vez se puede lograr un sensor completo para los seis grados de libertad de movimiento (es decir, tres grados de libertad de traslación y tres grados de libertad de rotación).

El sensor de edificio 3 conforme a la presente invención (que además de un sensor de rotación de fibra óptica puede presentar también sensores de traslación) detecta índices de rotación, o bien ángulos de inclinación integrales de un edificio, o bien de una parte del edificio sometido a la acción de un seísmo. Además, dicho sensor se debe montar de manera fija en paredes laterales firmes 1 que resulten representativas para el comportamiento del edificio, como muestra la figura 1: en la fig. 1 a) se muestra de manera esquemática la situación antes de un seísmo, en la fig. 1 b) se muestra la situación después de un seísmo, para un sentido espacial (la inclinación obtenida del edificio se encuentra en el plano del papel; el eje de rotación sensible del sensor de edificio 3 se encuentra fuera del plano del papel).

De manera esencial, el perjuicio del edificio también se puede producir en los demás sentidos espaciales horizontales, así como también se puede generar una rotación alrededor del eje vertical (vibraciones de torsión). Un grupo completo de tres sensores cubre todos los sentidos de desplazamiento. Sin embargo, de acuerdo con la estructura del edificio pueden existir sentidos que, por ejemplo, debido a la rigidez elevada, se encuentren poco expuestos, de manera que se puedan suprimir eventualmente componentes de sensor individuales.

Dado que los sensores de rotación detectan de manera absoluta rotaciones en base al efecto Sagnac, la orientación de un edificio en relación con el eje de rotación de la tierra se puede evaluar automáticamente antes, durante, o después de un seísmo en tiempo real como criterio de medida. Esto permite determinar la modificación de la orientación de un edificio, sin remitirse a referencias locales que se podrían haber modificado mediante la acción de un seísmo.

En la figura 3 se muestra una forma de ejecución del método conforme a la presente invención. El sensor 3 mide en una sucesión continua el índice de rotación, el ángulo de rotación (que corresponde a la inclinación del edificio o de la parte del edificio) y determina además el producto escalar entre el vector de rotación de la tierra y las normales del sensor (eje sensible) en una etapa S1. Bajo la acción de un seísmo o de una carga elevada debida al viento (ráfagas), se generan valores mayores en las magnitudes de observación, los cuales son comparados por la electrónica de control con una tabla de valores de tolerancia establecida en el programa (etapa 2). Dicha tabla se adapta específicamente a cada edificio. A partir de la comparación entre las tolerancias individuales del edificio y los valores de medición instantáneos, el procesador determina el potencial de riesgo debido al evento externo (etapa 3). En el caso más simple, esto se indica mediante un código de colores de cuatro niveles: verde, amarillo, naranja y rojo.

Mediante una conexión de radio dinámica de algunos de dichos sensores, por ejemplo, en partes completas del edificio, se puede crear una vista general de los daños que abarque las superficies aproximadamente en tiempo real (aplicación de sensor inteligente). Dicha vista general se puede consultar y utilizar, por ejemplo, para los servicios de protección contra catástrofes para establecer listas de prioridades (etapa S4).

5 En la siguiente descripción se explican otros aspectos de la presente invención:

Los giroscopios de fibra óptica no disponen aún de la sensibilidad de los sensores con un láser circular mayor, sin embargo resultan apropiados debido a sus dimensiones reducidas y a su bajo consumo de energía eléctrica, tanto para un área de aplicación en una zona próxima a un evento sísmico (zonas sísmicas, volcanes, etc.) así como para la detección instantánea de estados del edificio después de la acción sísmica, también para la monitorización de las deformaciones estáticas. Mediante la acción conjunta de sistemas de sensores de rotación y de sismómetros, o bien de acelerómetros, existe la posibilidad de desarrollar y de utilizar un sensor completo para los seis grados de libertad de movimiento. Además, un aspecto importante consiste en considerar las circunstancias especiales de los sensores de rotación para la medición libre de sistemas de referencia locales, por ejemplo, la posibilidad de realizar una orientación absoluta del sensor en tiempo real, así como la autocalibración del sensor mediante la señal de rotación global de la tierra.

Conforme a la presente invención se proporcionan sensores nuevos, móviles y económicos, que junto con el sistema convencional de sensores sísmicos, permiten observar correctamente los movimientos del suelo y en los seis grados de libertad de movimiento: Para una descripción completa de los movimientos del suelo, no sólo se deben observar con una alta resolución las traslaciones, sino también las rotaciones.

Conforme a la presente invención, se puede obtener información a largo plazo de grandes espacios, en relación con la modificación y las deformaciones mediante registros ampliados de seis componentes (nuevos métodos de medición que se pueden utilizar de manera móvil, económica y rápida). La magnitud de observación adicional "movimientos de rotación" se puede utilizar, principalmente, también en el caso de la inversión de los parámetros hipocentrales (rotaciones dinámicas) y puede mejorar su precisión. Además, de lo contrario, se puede examinar particularmente el acoplamiento inseparable de la inclinación y las traslaciones de las señales medidas en el plano del sensor, y se pueden corregir mediante la provisión de mediciones de rotación correspondientes de una alta resolución. Dado que la aceleración transversal y el índice de rotación en el caso de un seísmo se encuentran en fase y resultan proporcionales entre sí, en el caso de los sismógrafos no se debe suprimir un acoplamiento de los componentes de inclinación inducidos por los seísmos en la señal de sensor de las demás direcciones espaciales lineales independientes en el área próxima del evento sísmico. En este caso, sólo se puede aportar una mejora mediante un sensor con los seis grados de libertad independientes de movimiento, es decir, mediante la inclusión de la rotación.

El concepto conforme a la presente invención en la construcción de los giroscopios de fibra óptica, puede incrementar de manera económica la sensibilidad de los sensores de rotación existentes, en base a la fibra de vidrio, hasta dos magnitudes en comparación con el estado del arte que existe hasta el momento, y como complemento de un sismómetro de banda ancha, proporcionan por primera vez los seis grados de libertad del movimiento en una conformación sostenible para utilizar en el área con una sensibilidad suficiente.

La presente invención se concentra en el aprovechamiento y en el desarrollo de sensores de rotación modernos como una tecnología básica nueva e innovadora para la aplicación en sistemas de alerta temprana. La pluralidad de nuevas opciones tecnológicas que resulta de ello, se aplica, particularmente, en el área de la monitorización de estructuras de construcciones, así como en el área de la sismología.

Después de un seísmo, en las grandes metrópolis resulta particularmente de gran importancia una valoración rápida de los daños en los edificios, en particular para optimizar las medidas de rescate de importancia central. En el caso que se puedan medir los movimientos cosísmicos (transcurso del tiempo de las deformaciones, desplazamientos estáticos y rotaciones estáticas), y que se puedan evaluar en un sensor autónomo, aproximadamente en tiempo real, en relación con las magnitudes críticas, de esta manera, se pueden determinar de manera aproximadamente instantánea las modificaciones inducidas por deformación, principalmente para los edificios críticos y líneas críticas o bien, rutas de tráfico críticas. Conforme a la presente invención, se proporciona un sensor 6-C inteligente y económico, que se puede montar como una "caja negra" en edificios, puentes, túneles u otras estructuras, que registra y proporciona para su análisis los datos importantes en relación con el comportamiento de la construcción durante un seísmo o durante otro evento que provoque deformaciones. Por consiguiente, conforme a la presente invención, también se presta especial atención al aprovechamiento de las propiedades de los sensores de rotación como medidores de ángulos absolutos. Los dispositivos conforme a la presente invención se distinguen por un consumo reducido de corriente eléctrica, y resultan apropiados para la producción económica en serie en relación con la técnica de fabricación. La electrónica incorporada, mediante la integración y la diferenciación instantánea de las señales de sensor dentro del sensor, puede suministrar una valoración de riesgos, o bien de daños en tiempo aproximadamente real para la respectiva construcción. También se logra la capacidad adicional para la combinación de unidades de sensores conceptualmente autónomos con redes autónomas locales o regionales.

El objeto, desde el punto de vista de la mecánica constructiva, consiste en un sistema de sensores apropiado para determinar la excitación dinámica debida al seísmo y a otros movimientos del terreno, así como en relación con las amplitudes como también de las longitudes de onda relevantes. Mediante el acoplamiento de geófonos o sensores de aceleración con sensores de rotación como medidores de ángulos absolutos, se pueden detectar ambos parámetros característicos de la excitación dinámica con un número reducido de puntos de medición. Para los componentes lineales se pueden describir, a partir de las rotaciones medidas, las curvaturas generadas por la acción. Conforme a la presente invención, a continuación se puede realizar la evaluación de excitación mediante la comparación de los resultados de la medición con las suposiciones en base al dimensionamiento dinámico de la construcción de la estructura. Además del registro de la excitación dinámica, también resulta de interés la deformación estática que permanece, generada por la acción del evento. Mediante las rotaciones medidas se pueden determinar, por ejemplo, las líneas de deformación permanentes mediante la yuxtaposición de una pluralidad de sensores. La posibilidad de medir la información casi estática y la información dinámica con un sistema de sensores económico, resulta una ventaja considerable en comparación con otros métodos de medición. La autocalibración del sensor y su efecto, independientemente de la posición en relación con el peso, ofrece un campo de aplicación amplio también en relación con el aviso de alerta temprana antes de las consecuencias de las acciones antropógenas, o las acciones o combinaciones de resistencia críticas, como por ejemplo, las cargas debidas a la nieve en estructuras debilitadas, las acciones a partir de cargas extremas debidas al viento, etc., y de esta manera se permite la aplicación del sistema de sensores también en tareas que sólo se podrían realizar con otros métodos de medición muy costosos y no en tiempo real. Un área importante de los sistemas de alerta temprana que parte de la excitación sísmica, y que está incluida en el método conforme a la presente invención, es la monitorización de los movimientos del terreno que se producen, por ejemplo, en la construcción de túneles, en los trabajos de excavación, condicionados por las cargas de los fundamentos, o también en las zonas de subsidencia. De esta manera, la monitorización con la ayuda de un sistema de sensores comprende tanto las acciones dinámicas, es decir, las causas para las deformaciones, o los daños conjuntamente con las deformaciones que permanecen.

#### Observaciones de las deformaciones en el caso de seísmos y de volcanes

Los problemas en la determinación de la deformación estática (y dinámica) a partir de las observaciones de los sismómetros se conocen hace décadas, sin que se haya encontrado hasta el momento una solución satisfactoria estable. La razón principal de dichos problemas son los efectos adicionales en los sismogramas que se presentan debido a las rotaciones y a las modificaciones de la inclinación, y conducen a que no se pueda realizar la integración del sismograma de velocidad o de aceleración. En este caso, los instrumentos GPS representan una mejora sólo parcialmente, dado que (1) la resolución vertical resulta reducida, y (2) la velocidad de muestreo para las observaciones dinámicas no resultan lo suficientemente precisas. Con los sismómetros 6-C económicos y móviles que se pueden utilizar, se podría realizar una observación que abarque las superficies de las deformaciones dinámicas y estáticas. A largo plazo, esto podría permitir también mejoras en la determinación en tiempo real de los parámetros hipocentrales. Resultan válidos argumentos similares para las observaciones sísmicas en volcanes en los que se esperan en parte grandes deformaciones. El acoplamiento inevitable de los movimientos de rotación y de inclinación, influyen en las mediciones de banda ancha estándar con sismómetros, y dificultan la elaboración de modelos. El análisis de datos combinado de rotaciones y de traslaciones permite en dicha zona la representación mejorada de los procesos hipocentrales y del estado de las cámaras magmáticas.

En una forma de ejecución de la presente invención, en la determinación de las cargas y de los daños se debe considerar tanto la interacción dinámica del suelo y de la construcción, así como la dinámica constructiva de la estructura del edificio.

El objeto de la presente invención consiste en la reducción de los peligros y riesgos inducidos por los seísmos. Las observaciones de todos los componentes de movimiento han sido exigidas por los sismólogos teóricos desde hace décadas. Los desarrollos más recientes en la técnica de los sensores, permiten aparentemente la construcción de un instrumento de medición apropiado con la precisión necesaria. Además, se debe considerar que la técnica de medición presenta un potencial de aplicación en el área meramente científica así como en el área de la técnica de la ingeniería.

El rápido crecimiento continuo de las grandes metrópolis en las regiones amenazadas por los seísmos (por ejemplo, Estambul, Tokio, Los Ángeles, y Nuevo México) en el caso de un fuerte seísmo iniciado en dichas regiones, conduce a daños inmensos y a múltiples pérdidas de vidas humanas. Debido a las estructuras de edificios completamente heterogéneas y a las propiedades variables de los terrenos, en dichas mega-metrópolis, para la respectiva dirección responsable ante catástrofes, no resulta posible lograr una vista general en relación con la situación de los daños en un periodo de tiempo reducido. De esta manera, se dificulta considerablemente la iniciación rápida de una acción de rescate coordinada, y no resulta óptimo el resultado esperado. Los sistemas de monitorización autónomos que realizan un protocolo de un evento que haya causado daños, que evalúan aproximadamente en tiempo real, de acuerdo con métodos predefinidos, y que proporcionan rápidamente el resultado, podrían aportar mejoras considerables para este caso. Mediante una ponderación dinámica en correspondencia con la función de un edificio y la evaluación automática de los daños realizada por el sensor, así como otros criterios a establecer (por ejemplo, la

optimización de distancias para las fuerzas de rescate), resulta concebible un aprovechamiento efectivo de las primeras 6 horas críticas después de un evento que haya causado daños.

5 El concepto del sensor para edificios, conforme a la presente invención, resulta innovador en dos sentidos. Por una parte, de esta manera se debe registrar el desarrollo de un sistema de monitorización, en el cual se elabora un protocolo detallado del comportamiento del edificio durante la acción de fuerzas exteriores (seísmos, cargas extremas debidas al viento, subsidencias del suelo, etc.). Además, mediante la propiedad de los sensores de rotación utilizados de funcionar como medidores de ángulos absolutos, se logra una independencia total de los sistemas de referencia locales. En dicho sentido, el sensor corresponde a una "caja negra", como la que se utiliza en los aviones. Además de dichas funciones de protocolización, se examinan parámetros clave (por ejemplo, inclinaciones máximas) durante la medición ante el exceso de valores límites predefinidos específicos del edificio, que dentro de lo posible admiten una clasificación del daño provocado (por ejemplo, grado del riesgo de desplome), y dichos parámetros se pueden transmitir (se utiliza la corriente eléctrica de la red de la tecnología de radio independiente) a una central (célula local de protección ante catástrofes). De esta manera, se puede ejecutar una etapa importante en el sentido de un pronóstico de daños en tiempo aproximadamente real.

15 El sistema de sensores desarrollado para el área de aplicación en relación con los fuertes movimientos del terreno, presenta una pluralidad de deficiencias en la sismología. Las inclinaciones del sismómetro generan también una señal de sensor, como las propias traslaciones a medir. En las zonas de movimientos sísmicos a corta distancia, el vector de movimiento no se puede reconstruir completo debido a los grados de libertad de rotación faltantes. De esta manera, las mediciones resultan incompletas, así como defectuosas debido a la combinación de fuentes de señales. Esto representa un gran obstáculo para la inversión de los parámetros sísmicos. Se espera que la detección completa de los seis grados de libertad de movimiento, y la separación clara de la traslación y la rotación (inclinación), con una sensibilidad suficiente de los sensores, pueda suponer una aportación, claramente, en cuanto al perfeccionamiento de los modelos sismológicos (independientemente de las funciones de transferencia de los equipos).

25 Los láser circulares son interferómetros ópticos activos altamente sensibles, y hasta el momento son los únicos instrumentos que pueden determinar de manera cuantitativa las señales de rotación de los eventos telesísmicos. Incluso para la aplicación en la sismología, en donde la estabilidad a largo plazo no representa una prioridad, aún se requiere de una constancia muy elevada en la temperatura mejor que 0,1 grados diarios. Las dilataciones, o bien las contracciones condicionadas térmicamente del resonador óptico dentro de un margen de algunos centésimos de micrómetros, generan un desfase en la frecuencia óptica de funcionamiento, que conduce a saltos repentinos en el índice de modos longitudinales (variación del modo). Por otra parte, los láseres circulares requieren de una instalación compleja a pesar de todas las simplificaciones que se han podido realizar exitosamente en el transcurso del proyecto del sensor GEO. Esto los convierte en inapropiados para tres casos específicos de aplicación. (1) Una conversión del sensor a corto plazo en las proximidades del epicentro, después de un fuerte seísmo, para registrar seísmos en el área próxima. (2) La detección del movimiento completo (los 6 grados de libertad) bajo la influencia de movimientos fuertes del terreno. (3) Como parte de un sistema de sensores de monitorización para edificios, resultan demasiado costosos y demasiado sensibles. Por otra parte, los sensores de rotación de fibra óptica no presentan la sensibilidad de los láseres circulares, sin embargo, son sensores resistentes y compactos con una tolerancia a las temperaturas considerablemente mayor. Además, resultan particularmente económicos.

40 El método conforme a la presente invención puede utilizar la capacidad de autocalibración del sistema. Dado que los sensores de rotación miden de manera absoluta en base al efecto Sagnac, a la señal de sensor siempre se superpone también la señal de rotación de la tierra. Dicha señal se puede considerar como una referencia constante en el caso de la aplicación aquí recomendada. Dicha señal se encuentra disponible en todo momento, es decir, antes, durante y después de un seísmo, como una referencia independiente del entorno local, y se puede utilizar para determinar la orientación momentánea del sensor en relación con el eje de rotación de la tierra. Una comparación antes, o bien después de un seísmo, proporciona una modificación de la orientación del sensor mediante el evento sísmico, o bien la deformación de la construcción. Dado que el sensor para la medición se encuentra montado de manera fija en una pared, dicha modificación de la orientación corresponde ya sea a una inclinación del edificio, a una deformación o a un desplazamiento entre las plantas individuales. Dicha señal se determina mediante la integración de los índices de rotación medidos, y después de un tiempo de integración reducido de alrededor de 1 minuto se logra una resolución menor a 1 grado. Dicho método resulta válido estrictamente para la determinación de la orientación del sensor, sólo en los sentidos norte y sur, con una capacidad de resolución elevada. En los sentidos este y oeste la resolución es más reducida. Por lo tanto, la investigación en relación con la realización óptima del sensor (sistema de referencia del sensor) es un punto de trabajo propio. De acuerdo con la investigación en relación con la utilización de la señal de orientación, resulta prioritaria la utilización de la señal de rotación del edificio. Para ello, se deben establecer (1) criterios entre la inclinación angular medida y los esfuerzos del edificio, o bien los diferentes materiales. (2) Se debe cuantificar el efecto del desplazamiento de plantas individuales entre sí (rotación entre plantas), y se debe transmitir al sistema de sensores.

60 La señal de salida de un FOG (giroscopio de fibra óptica) es la diferencia de fase entre dos ondas de luz que recorren una superficie en sentidos opuestos. Dicha señal es proporcional a la velocidad de rotación del sensor, así

como a la superficie circunscrita por los haces de luz. La principal ventaja de un FOG, en comparación con un láser circular, consiste en que la señal óptica se puede conducir en una fibra de vidrio. En el caso de un FOG, se puede incrementar la superficie efectiva sin que se deban modificar esencialmente las dimensiones del sensor. Por otra parte, los giroscopios de fibra óptica se diferencian de los láseres circulares por el hecho de que realizan una medición de fase, mientras que los láseres circulares determinan una diferencia de frecuencia por medios interferométricos y, de esta manera, logran una capacidad de resolución más elevada condicionada por dicho concepto. Esto resulta una gran desventaja en la realización de un FOG. El coeficiente de ruido (capacidad de resolución) de un FOG depende, además del factor de escala, también de la densidad de potencia óptica. Por ejemplo, para una fuente luminosa con una longitud de onda de  $1,55 \mu\text{m}$ , una potencia lumínica de  $P_0 = 100 \mu\text{W}$ , una longitud de fibra de vidrio de 1000 m, y un diámetro  $D$  de la bobina de 0,4 m, se obtiene un valor teórico para la sensibilidad de un FOG de  $4.125 \cdot 10^{-8}$  radianes por segundo.

La bobina compuesta de fibras ópticas que mantienen la polarización, representa un componente esencial del circuito óptico. La longitud de la fibra y el diámetro geométrico de la bobina se introducen linealmente en el factor de escala del giroscopio. Fundamentalmente, la prolongación de las fibras de la bobina utilizadas, permite alcanzar precisiones cada vez más elevadas en la medición del índice de rotación. Sin embargo, las pérdidas de reducción de la intensidad lumínica en el paso de las fibras, así como la modificación de fase que se produce por los efectos perturbadores, como por ejemplo, el efecto Shupe o el efecto Kerr, limitan simultáneamente la longitud que se puede realizar de la bobina de fibra. Por lo tanto, para los prototipos se planifican bobinas de alrededor de 1000 m de longitud y de un diámetro de hasta 300 mm.

La figura 4 muestra un fragmento reducido de una medición de la torsión (lado izquierdo), en el que un modelo de edificio (lado derecho) con una distribución de masa excéntrica se ha sometido a un sismo artificial sobre una mesa vibradora.

En dicho contexto, se ha mencionado que las observaciones de la rotación inducida por los sismos de los resultados telesísmicos, son compatibles con las mediciones de traslación de banda ancha combinadas, y que en el coeficiente de amplitud existe información adicional.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para la determinación de daños o de estados de una estructura mecánica que resultan de una carga de la estructura mecánica, en donde antes y después de la carga se determina respectivamente una señal de sensor de un sensor de rotación de fibra óptica conectado de manera mecánicamente fija, al menos, con una parte de la estructura mecánica, y los daños o estados de la estructura mecánica se determinan en base a una modificación de la orientación del sensor de rotación, **caracterizado porque** a partir de la respectiva señal de sensor se determina respectivamente una señal de rotación de la tierra, superpuesta a la señal de sensor; en base a las respectivas señales de rotación de la tierra superpuestas determinadas, se determina una respectiva orientación instantánea del sensor de rotación de fibra óptica en relación con el eje de rotación de la tierra, y a partir de las respectivas orientaciones instantáneas del sensor de rotación de fibra óptica se determina la modificación de la orientación del sensor de rotación antes y después de la carga.
- 10
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** antes y después de la carga se determina respectivamente una señal de sensor adicional de un sensor de rotación de fibra óptica adicional conectado de manera mecánicamente fija, al menos, con otra parte de la estructura mecánica;
- 15 a partir de la respectiva señal de sensor adicional se determina respectivamente otra señal de rotación de la tierra superpuesta a la señal de sensor; en base a las respectivas señales de rotación de la tierra adicionales superpuestas determinadas, se determina una respectiva orientación instantánea adicional del sensor de rotación de fibra óptica adicional en relación con el eje de rotación de la tierra;
- 20 a partir de las respectivas orientaciones instantáneas adicionales del sensor de rotación de fibra óptica adicional, se determina una modificación adicional de la orientación del sensor de rotación adicional, antes y después de la carga, y los daños o estados de la estructura mecánica se determinan en base a las modificaciones de la orientación del sensor de rotación principal y del sensor de rotación adicional.
3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** los respectivos sensores de rotación miden rotaciones alrededor de uno, dos o tres ejes de rotación.
- 25 4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1, 2 ó 3, **caracterizado porque** la estructura mecánica se conforma como un edificio.
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** los sensores de rotación se encuentran fijados en paredes laterales del edificio, de manera tal que a partir de las rotaciones medidas se puedan deducir los ángulos relativos entre las paredes laterales y el piso y los techos del edificio soportados por las paredes laterales.
- 30 6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 ó 5, **caracterizado porque** se miden las traslaciones, al menos, de una parte del edificio, provocadas por las cargas o los daños del edificio mediante sensores de aceleración correspondientes que se conectan de manera mecánicamente fija con la, al menos una, parte del edificio, y a partir de las traslaciones medidas se deducen las cargas o los daños del edificio.
- 35 7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** a partir de las rotaciones y traslaciones medidas se deduce la modificación de la orientación del edificio en relación con el eje de rotación de la tierra, lo cual representa una medida para los daños por seísmos a determinar.
- 40 8. Dispositivo para determinar daños o estados de una estructura mecánica que resulta de una carga de la estructura mecánica, con un sensor de rotación de fibra óptica que se conecta de manera mecánicamente fija, al menos, con una parte de la estructura, y un dispositivo de evaluación conectado con el sensor de rotación, que está diseñado para determinar antes y después de la carga respectivamente una señal de sensor del sensor de rotación de fibra óptica, y para determinar los daños o estados de la estructura mecánica en base a la modificación de la orientación del sensor de rotación, **caracterizado porque** el dispositivo de evaluación conectado con el sensor de rotación está diseñado, además, para determinar respectivamente una señal de rotación de la tierra superpuesta a la señal del sensor, a partir de la respectiva señal de sensor:
- 45 para la determinación de una respectiva orientación instantánea del sensor de rotación de fibra óptica en relación con el eje de rotación de la tierra, en base a las respectivas señales de rotación de la tierra superpuestas determinadas,
- para la determinación de una modificación de la orientación del sensor de rotación antes y después de la carga, a partir de las respectivas orientaciones instantáneas del sensor de rotación de fibra óptica.

9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por** un sensor de rotación de fibra óptica adicional que se encuentra conectado de manera mecánicamente fija con otra parte de la estructura mecánica y que, por otra parte, se conecta con el dispositivo de evaluación.

5 10. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 ó 9, **caracterizado por** dispositivos de evaluación de un sistema de transmisión de datos inalámbrico autónomo, conectados en cada caso con el respectivo sensor de rotación, para la determinación conjunta de los daños o de los estados de la estructura en base a las rotaciones o bien, a las torsiones en relación con el eje de rotación de la tierra, que se detectan mediante los sensores de rotación individuales y que se analizan conjuntamente.

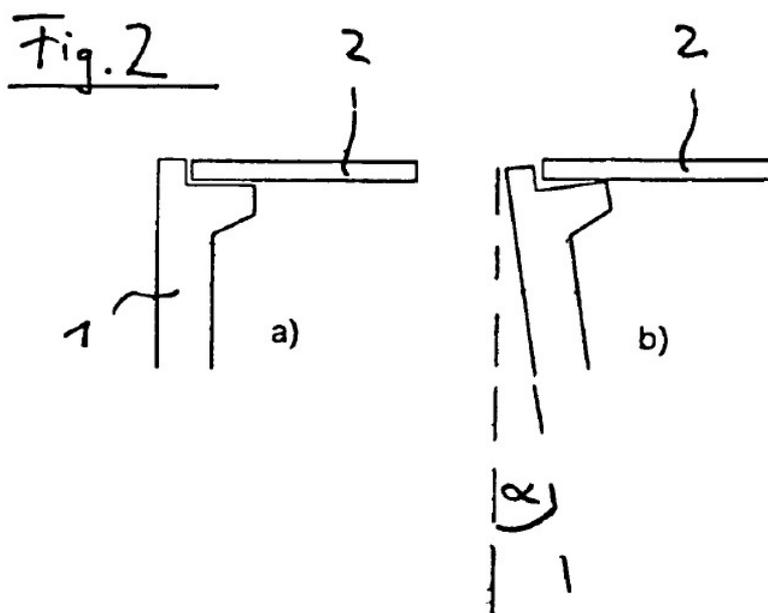
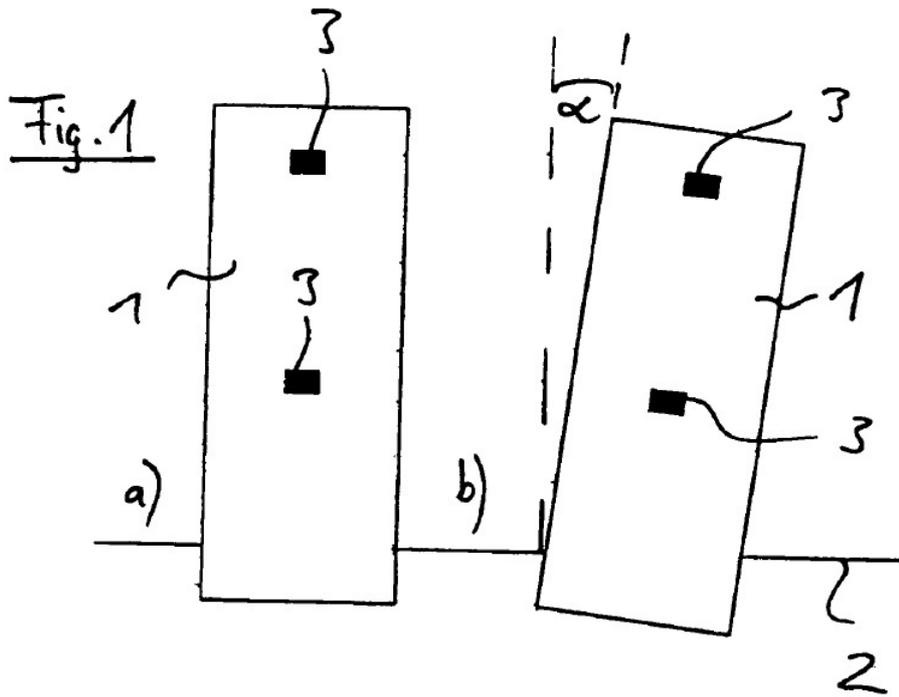


Fig. 3

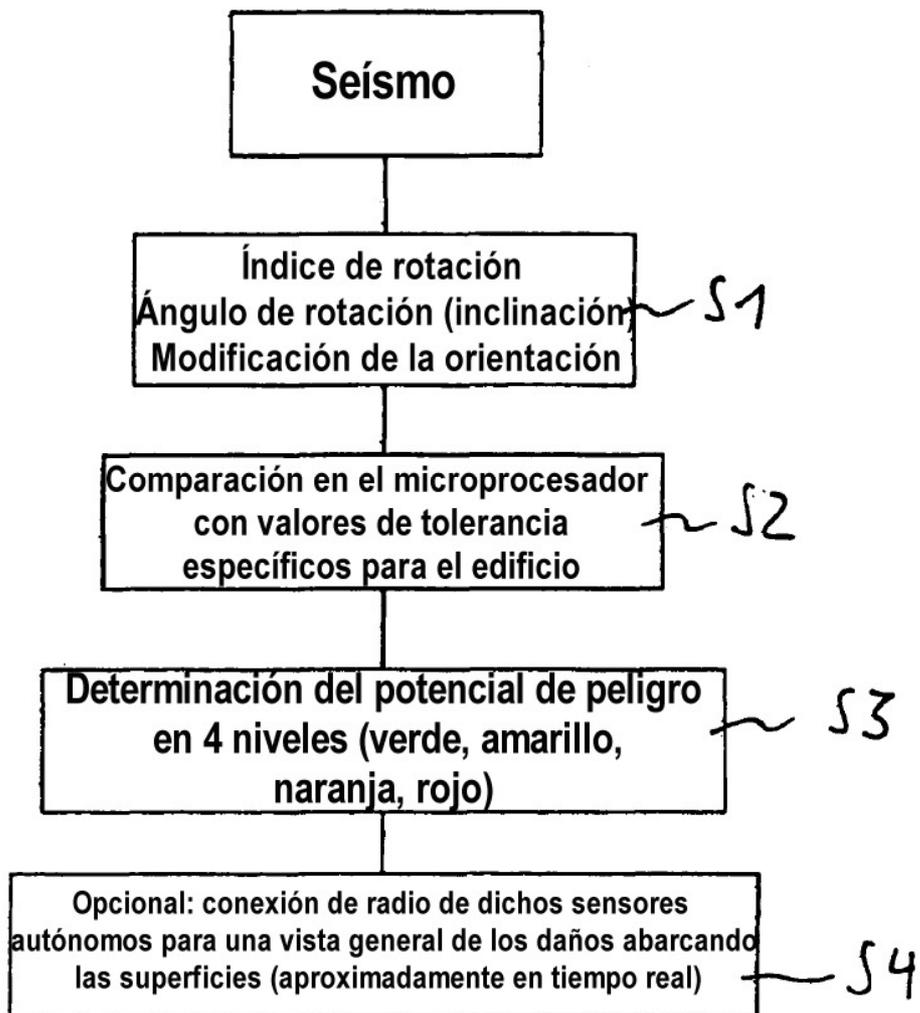


Fig. 4

