

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 807**

51 Int. Cl.:

G01M 5/00 (2006.01)

G01N 3/06 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.01.2016 PCT/GB2016/050062**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.07.2016 WO16113551**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2016 E 16700667 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 3245493**

54 Título: **Detección de daño estructural**

30 Prioridad:

13.01.2015 GB 201500496
13.01.2015 EP 15275007

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.07.2019

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

CHEN, JIYE y
MAMAND, HEMAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 720 807 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

Detección de daño estructural

La presente invención se refiere a la provisión de un método o un aparato para evaluar un efecto de una carga en una estructura.

5 Las formas de realización de la invención encuentran utilización particular, pero no exclusiva, cuándo se aplica una carga mecánica y/o térmica a una estructura de hormigón que comprende una parte fabricada de hormigón. Cuando se aplica una carga mecánica y/o térmica de este tipo a una estructura de hormigón, se pueden producir daños estructurales tales como fisuras, tanto visibles como invisibles mirando a simple vista en una superficie externa de la estructura. Dichos daños estructurales o fisuras pueden a continuación conducir a defectos estructurales adicionales que, finalmente, conducen a inestabilidad estructural.

10 Por ejemplo, una fisura en una estructura de hormigón armado expuesta a una exposición cíclica o de marea al agua del mar, es decir, aquellas situadas en una zona costera o en el agua, puede permitir que los iones del agua del mar entren en la estructura de hormigón y alcancen el acero del armado incrustado en la estructura de hormigón a través de la fisura. Esto puede a continuación conducir a la corrosión del acero del armado que, a su vez, puede reducir el área de la sección transversal del acero, debilitar la unión entre el acero y la parte de hormigón a través de la expansión del óxido y disminuir la resistencia de la parte de hormigón. Dichos defectos estructurales empeoran significativamente la capacidad de servicio, la durabilidad y la resistencia de las estructuras de hormigón armado.

15 Sería ventajoso poder detectar y/o predecir dichos defectos estructurales antes de que afecten significativamente la estabilidad/integridad estructural de la estructura de hormigón armado. Uno de dichos métodos es una técnica de medición no destructiva que utiliza una correlación de imágenes digitales. Sin embargo, como la correlación de imágenes digitales depende de que los defectos estructurales sean visibles en la superficie exterior de la estructura, lo cual también depende de la resolución máxima de la técnica de correlación de imágenes digitales, no puede detectar y/o predecir muchos defectos estructurales potencialmente destructivos, tales como microfisuras, antes de que la estabilidad/integridad estructural se haya comprometido en un grado irreversible.

20 Mouhmid, B., Imad, A., Benseddiq, N. y Lecompte, D. "An experimental analysis of fracture mechanisms of short fibre reinforced polyamide 6,6" *Composites Science and Technology*, vol. 69, no. 15 - 16, 01 de diciembre de 2009, pp. 2521 - 2526, describe la utilización de la correlación de imágenes digitales (DIC) con una sola cámara para mediciones de campo del desplazamiento en el plano y, a continuación, el cálculo de la deformación de la poliamida reforzada con fibras cortas 6,6.

25 El documento US 2013/202192 A1 describe un método de medición de la deformación por fatiga en un componente de un motor de turbina de gas, en el que al menos una parte del componente tiene un material dispuesto sobre el mismo, y en el que el material tiene varias marcas que proporcionan un patrón visualmente distinto.

30 El documento US 2011/106459 A1 describe un método de detección de fisuras en un objeto que incluye: capturar una primera imagen de un patrón de marcas en una región de interés sobre una superficie del objeto; construir un modelo de elementos finitos de la región de interés con nodos que correspondan a las marcas en el patrón; someter el objeto a una primera carga mecánica para producir deformaciones en el objeto; capturar una segunda imagen del patrón; calcular las deformaciones en el objeto basándose en los cambios relacionados con las ubicaciones de las marcas en las imágenes primera y segunda; modificar el modelo de elementos finitos para producir un mapa de fisuras frente a deformación superficial; capturar una tercera imagen del patrón; y comparar las ubicaciones de las marcas en la tercera imagen con el mapa de fisuras frente a deformación superficial para identificar una fisura en el objeto.

35 Dautriat, J., Bornert, M., Gland, N., Dimanov, A. y Raphanel, J. 'Localized deformation induced by heterogeneities in porous carbonate analysed by multi-scale digital image correlation' *Tectonophysics*, vol. 503, no. 1, 21 de septiembre de 2010, páginas 100 - 116 describe la aplicación de la correlación de imágenes digitales 2D (DIC) a secuencias de imágenes tomadas a partir de muestras de carbonato durante ensayos de compresión uniaxial.

40 El documento US 5.726.907 A describe un método para medir la deformación en una muestra de material. Se obtiene una imagen de referencia de una superficie de la muestra. Una máquina de ensayo se utiliza para aplicar una carga a la muestra, según lo determinado por una señal de control de un procesador del sistema. A continuación, se obtiene una imagen de mediciones, y los puntos de ensayo en la imagen de referencia se sitúan en la imagen de mediciones, utilizando un procesador de imágenes programado para realizar la visión artificial. Se determinan los desplazamientos entre la ubicación de los puntos de ensayo en las dos imágenes. Estos desplazamientos se utilizan para calcular la deformación. Cada nuevo valor de deformación puede ser utilizado por el procesador del sistema para determinar el siguiente valor de carga, de modo que la carga se ajuste en términos de los parámetros de deformación.

45 El documento US 2011/316712 A1 describe un dispositivo de medición de la deformación para evaluar la integridad de una reparación estructural de una superficie que comprende un detector, un procesador y un módulo de memoria

- acoplado al procesador. El módulo de memoria comprende instrucciones lógicas almacenadas en un medio legible por ordenador que, cuando son ejecutadas por el procesador, configuran el procesador para que utilice el detector para obtener una primera medición de deformación a partir de un indicador de deformación externo, utilizan el detector para obtener una segunda medición de deformación a partir del sensor de medición después de que se haya aplicado al menos un ensayo de deformación a la reparación estructural y generan una señal cuando una diferencia entre la primera medición de deformación y la segunda medición de deformación supera un umbral.
- 5 Un objetivo de las formas de realización de la presente invención es proporcionar un método o un aparato para evaluar un efecto de la carga sobre una estructura de modo que el daño estructural se pueda detectar o predecir utilizando el método o el aparato.
- 10 De acuerdo con la presente invención se proporciona un método y un aparato según se describen a continuación y en las reivindicaciones adjuntas. Otras características de la invención serán aparentes a partir de las reivindicaciones dependientes y la siguiente descripción.
- De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura, comprendiendo el método las etapas de:
- 15 determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura,
 capturar una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga;
 capturar una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga;
 asignar una matriz de posiciones en la primera imagen capturada;
- 20 obtener una matriz de alargamientos que comprenda un valor de alargamiento en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre las imágenes primera y segunda, y comparando el alargamiento de las partes correspondientes de la superficie capturada en las mismas;
 calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida; y
- 25 determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que representa la deformación en la posición es mayor o igual que un valor de deformación crítica con daño predeterminado,
 en donde el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que se detecta o se predice que aparecerá o se propagará una microfisura,
 en donde el método comprende una etapa para determinar y/o detectar una trayectoria de propagación de la fisura que comprende las subetapas de:
- 30 determinar una zona de daño potencial que es un conjunto de todas las posiciones vecinas en las que se ha determinado que hay una microfisura presente;
 obtener una matriz de deformaciones con daño potencial seleccionando los elementos relacionados con la zona de daño potencial de la matriz de deformaciones;
- 35 determinar al menos un valor de deformación máxima local para cada fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial si un elemento en la misma representa una deformación con mayor valor que ambos de los elementos anterior y posterior en la matriz de deformaciones con daño potencial; y
 determinar la trayectoria de propagación de la fisura como un conjunto de posiciones relacionadas con al menos uno de los valores de deformación máxima local.
- 40 Convenientemente, la estructura comprende una parte fabricada de material heterogéneo. Convenientemente, la estructura comprende una parte de hormigón.
- Convenientemente, la matriz de posiciones, la matriz de alargamientos y/o la matriz de deformaciones se asignan/obtienen/calculan sólo para una parte de la primera o segunda imagen capturada.
- Convenientemente, la matriz de alargamientos comprende elementos que representan un desplazamiento de cada posición de la matriz de posiciones.
- 45 Convenientemente, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa una propiedad del material relacionada con la aparición y/o propagación de fisuras. Preferiblemente, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa un valor de deformación en cada posición. Alternativamente, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa un valor de tensión en cada posición.

Convenientemente, las condiciones de carga primera y segunda comprenden una cantidad de carga física equivalente, pero la segunda imagen se captura en un momento diferente del momento de captura de la primera imagen.

5 Convenientemente, la primera imagen de la estructura se captura cuando la estructura está bajo una primera carga. A continuación, después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado, se captura la segunda imagen con la carga equivalente a la carga de la primera carga.

Convenientemente, las condiciones de carga primera y segunda comprenden una cantidad de carga física diferente entre sí.

10 Convenientemente, la primera condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo su condición de trabajo normal sin carga externa aplicada a la misma; y la segunda condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo una carga externa aplicada a la misma.

15 Convenientemente, una carga externa es una carga aplicada a la estructura por una masa que no forma parte de la estructura, por ejemplo, no es una parte integral y/o permanente de la estructura. Convenientemente, bajo su condición normal de trabajo, la estructura puede acoplar una masa separada que se acopla a la estructura durante un período de tiempo, y la primera carga comprende la carga y/o el peso aplicado a la estructura por la masa separada.

20 Convenientemente, la primera condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo una carga externa de un valor predeterminado distinto de cero; y la segunda condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo una carga externa de un valor distinto de cero diferente del valor predeterminado.

25 Convenientemente, el método comprende además una etapa de capturar una tercera imagen de la superficie de la estructura bajo una tercera condición de carga, en donde el obtener la matriz de alargamientos, el calcular la matriz de deformaciones y el determinar una microfisura presente en una posición comprende además obtener un valor de alargamiento en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre la tercera imagen con al menos una de las imágenes primera o segunda.

30 Convenientemente, la obtención de la matriz de alargamientos, el cálculo de la matriz de deformaciones y la determinación de una microfisura presente en una posición comprenden el promediar y/o interpolar a partir de los valores de alargamiento y/o los valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la comparación de las imágenes primera y segunda, la comparación de las imágenes primera y tercera y/o la comparación de las imágenes segunda y tercera.

Convenientemente, la tercera condición de carga es la misma que la primera o segunda condición de carga, y el promediar comprende promediar los valores de alargamiento y/o los valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la primera o segunda imagen bajo las mismas condiciones de carga que la tercera condición de carga.

35 Convenientemente, la tercera condición de carga es diferente de la primera o segunda condición de carga, y la interpolación comprende interpolar a partir de los valores de alargamiento y/o los valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la primera o segunda imagen bajo la condición de carga diferente de la tercera condición de carga.

40 Convenientemente, el método comprende además una etapa de aplicar o fijar un indicador en una parte de la superficie de modo que el indicador se pueda detectar a partir de la primera, segunda o tercera imagen capturada, por lo que la parte se puede identificar en la primera, segunda o tercera imagen utilizando el indicador.

45 Convenientemente, el indicador es un recubrimiento de material detectable, tal como una pintura. Convenientemente, el indicador se aplica a toda o al menos a una parte de la superficie, de modo que un defecto de la superficie, tal como una fisura, se pueda detectar más fácilmente a partir de una imagen capturada de la superficie.

Convenientemente, la carga, primera, segunda o tercera condición de carga comprende una carga mecánica y/o una carga térmica.

50 Convenientemente, la carga mecánica comprende una carga dinámica de una masa externa tal como el agua de mar, una carga estática de una masa tal como la masa de la propia estructura y/o una carga variable de una masa separada que se acopla a la estructura durante la utilización normal.

Convenientemente, el método determina/predice una trayectoria de propagación de la fisura dentro de la estructura y/o de la parte de hormigón. Convenientemente, la trayectoria de propagación de la fisura comprende al menos dos ubicaciones de fisura determinadas, en donde una ubicación de fisura es una posición en el que se ha determinado que hay una microfisura presente.

- Convenientemente, las posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local se obtienen seleccionando los elementos relacionados con el al menos uno de los valores de deformación máxima local de la matriz de posiciones. Convenientemente, la trayectoria de propagación de la fisura comprende una colección de posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local que sólo comprende
- 5 posiciones relacionadas con valores de deformación máxima local que estén próximas entre sí, ya sea en dirección de la columna y/o en dirección de la fila de la matriz de deformaciones con daño potencial. Convenientemente, la trayectoria de propagación de la fisura comprende más de una colección de las posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local.
- Convenientemente, una macrofisura se puede detectar a partir de una sola imagen cuando la fisura es visible para el
- 10 ojo humano a partir de una sola imagen y/o se puede detectar utilizando una técnica de reconocimiento de imágenes digitales a partir de una sola imagen.
- Convenientemente, el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación crítica en el que es probable que se produzca una fisura. Convenientemente, la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura comprende las subetapas de:
- 15 capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable;
- capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable;
- establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho;
- realizar las etapas del método para asignar la matriz de posiciones, obtener la matriz de alargamientos y calcular la
- 20 matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño, para determinar una posición con una microfisura presente; y
- realizar la siguiente subetapa al menos una vez hasta que exista un grado aceptable de correlación entre la posición determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,
- 25 en donde, si existe un grado aceptable de correlación, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y
- si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño después de establecer un segundo valor de deformación crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño;
- 30 en donde existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la trayectoria de propagación de la fisura determinada comprende la ubicación de la macrofisura detectable.
- Convenientemente, el método comprende además una etapa para determinar y/o detectar una trayectoria de propagación de la fisura según se describió anteriormente, y la determinación del al menos un valor de deformación
- 35 crítica con daño de la estructura comprende las subetapas de:
- capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable;
- capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable;
- establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho;
- 40 realizar las etapas del método para asignar la matriz de posiciones, obtener la matriz de alargamientos y calcular la matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño, para determinar la trayectoria de propagación de la fisura; y
- realizar la siguiente subetapa al menos una vez hasta que exista un grado aceptable de correlación entre la
- 45 trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,
- en donde, si existe un grado aceptable de correlación, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y
- si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño después de establecer un segundo valor de deformación

crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño;

5 en donde existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la trayectoria de propagación de la fisura determinada comprende la ubicación de la macrofisura detectable.

Convenientemente, existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior o segunda cuando la macrofisura detectable se encuentra cerca de una periferia de la trayectoria de propagación de la fisura determinada.

10 Convenientemente, el valor de deformación crítica guardado se utiliza como un valor umbral para determinar una ubicación y/o trayectoria de propagación de la fisura de una microfisura que resulta de la carga sobre la estructura. Convenientemente, el primer y/o segundo valor de deformación crítica predicho se obtiene a través de un ensayo de materiales estándar, tal como el ensayo de tracción ASTM (American Society for Testing and Materials), realizado en una muestra que represente la estructura y/o un material de la composición a partir de la cual se fabrica la estructura. Convenientemente, el segundo valor de deformación crítica predicho se extrapola y/o interpola a partir de dos valores de deformación crítica predichos diferentes que no mostraban el grado de correlación aceptable de las subetapas anteriores para predecir o determinar el valor de deformación crítica con daño.

Convenientemente, la técnica de correlación de imágenes digitales se utiliza con la etapa para predecir o determinar el valor de deformación crítica con daño según se describe en la presente memoria.

20 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato de evaluación para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura, comprendiendo el aparato:

una unidad de comunicación configurada para recibir los primeros datos relativos a una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga, y para recibir los segundos datos relativos a una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga; y

un procesador configurado para:

25 determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura;

asignar una matriz de posiciones en la primera imagen capturada;

obtener una matriz de alargamientos que comprenda un valor de deformación en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre las imágenes primera y segunda, y comparando la deformación de las partes correspondientes de la superficie capturada en las mismas;

30 calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida; y

determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que representa la deformación en la posición es mayor o igual que un valor de deformación crítica con daño predeterminado,

35 en donde el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que se detecta o se predice que aparecerá o se propagará una microfisura,

en donde el procesador se configura para realizar una etapa para determinar y/o detectar una trayectoria de propagación de la fisura que comprende las subetapas de:

determinar una zona de daño potencial que es un conjunto de todas las posiciones vecinas en las que se ha determinado que hay una microfisura presente;

40 obtener una matriz de deformaciones con daño potencial seleccionando los elementos relacionados con la zona de daño potencial de la matriz de deformaciones;

determinar al menos un valor de deformación máxima local para cada fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial si un elemento en la misma representa una deformación con mayor valor que ambos de los elementos anterior y posterior en la matriz de deformaciones con daño potencial; y

45 determinar la trayectoria de propagación de la fisura como una colección de posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local.

Convenientemente, la unidad de comunicación se configura para recibir los datos primero y/o segundo de una unidad de captura de imágenes utilizando una comunicación por cable y/o inalámbrica. Convenientemente, la unidad de comunicación se configura para recibir los primeros datos de una primera unidad de captura de imágenes y los segundos datos de una segunda unidad de captura de imágenes.

50

Convenientemente, el aparato de evaluación comprende además una unidad de captura de imágenes configurada para capturar la primera imagen de al menos una parte de la superficie de la estructura bajo la primera condición de carga, y para capturar la segunda imagen de al menos la parte de la superficie de la estructura bajo la segunda condición de carga.

- 5 Convenientemente, la unidad de captura de imágenes se configura para capturar la segunda imagen en un momento diferente del momento de captura de la primera imagen. Convenientemente, las posiciones temporales se miden a partir de la aplicación inicial de las cargas primera y/o segunda sobre la estructura.

Convenientemente, la unidad de captura de imágenes se configura para capturar varias imágenes sobre un período de tiempo, por ejemplo, una imagen en movimiento, por lo que se obtienen datos relativos a varias imágenes.

- 10 Convenientemente, el procesador se configura para obtener la matriz de alargamientos utilizando las varias imágenes.

Convenientemente, el aparato de evaluación se configura para operar el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

- 15 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un programa de ordenador en un medio de almacenamiento legible por ordenador para operar el método de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

Para una mejor comprensión de la invención, y para mostrar cómo se pueden llevar a efecto las formas de realización de la misma, se hará referencia ahora, a modo de ejemplo, a los dibujos esquemáticos adjuntos en los que:

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo para realizar una forma de realización de la presente invención;

- 20 La Figura 2A muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para recibir datos de las imágenes primera y/o segunda;

La Figura 2B muestra una técnica de correlación de imágenes digitales en escala de grises de ejemplo que se utiliza sobre imágenes antes y después de la deformación;

- 25 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para obtener una matriz de alargamientos;

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar la presencia de una microfisura;

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para recibir datos de la tercera imagen;

- 30 La Figura 6 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar y/o predecir una trayectoria de propagación de la fisura;

La Figura 7 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar al menos un valor de deformación crítica con daño;

- 35 La Figura 8A muestra una fisura de ejemplo y las ubicaciones de fisura determinadas y/o predichas y/o las trayectorias de propagación obtenidas utilizando diferentes valores de deformación crítica con daño;

La Figura 8B muestra una comparación entre una fisura de ejemplo y una ubicación de fisura determinada y/o predicha y/o una trayectoria de propagación obtenida utilizando un valor de deformación crítica con daño determinado;

- 40 La Figura 9 muestra una forma de realización de un aparato de evaluación de la presente invención en comunicación con un proveedor de datos de imágenes de ejemplo;

La Figura 10 muestra una forma de realización de un aparato de evaluación de la presente invención en comunicación con un proveedor de datos de imágenes alternativo al mostrado en Figura 9;

La Figura 11 muestra una forma de realización de un aparato de evaluación de la presente invención alternativo; y

La Figura 12 muestra un entorno ilustrativo de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

- 45 Para el propósito de esta solicitud, una macrofisura es una fisura y/o una separación de la estructura en una superficie de la estructura de hormigón que se puede detectar visiblemente a partir de una imagen capturada de la superficie, ya sea por el ojo humano o utilizando la técnica de correlación de imágenes digitales. Por lo tanto, una macrofisura se puede detectar a partir de una sola imagen cuando la fisura es visible al ojo humano a partir de la sola imagen y/o se puede detectar utilizando una técnica de reconocimiento de imágenes digitales a partir de una

sola imagen. Una microfisura es una fisura y/o una separación de la estructura en una superficie y/o dentro de la estructura de hormigón, que no se puede detectar visiblemente a partir de una imagen capturada de la superficie, ya sea por el ojo humano o utilizando la técnica de correlación de imágenes digitales. Por ejemplo, la macrofisura podría estar en la escala milimétrica y la microfisura podría estar en la escala micrométrica.

- 5 Se entiende que la detectabilidad de la macrofisura y/o la microfisura, y la escala cuantitativa pertinente de las mismas, dependerá de una serie de factores tales como la técnica de reconocimiento y/o de correlación de imágenes digitales utilizada en la imagen de la superficie.

10 En general, la estabilidad/integridad estructural se ve comprometida de forma irreversible, o al menos de forma significativa, una vez que se ha producido una macrofisura. Además, una presencia de una microfisura y la propagación de la misma tiende a conducir a una aparición de la macrofisura si no se toman acciones para tratar la región afectada de la estructura.

15 La presente invención tiene por objetivo explotar esta relación entre las macrofisuras y las microfisuras para predecir las ubicaciones potenciales y/o la propagación de las macrofisuras detectando las ubicaciones y/o la propagación de las microfisuras. Esto permite a continuación el tratamiento de la estructura, tal como proporcionar una capa adicional de hormigón y/o de refuerzo, antes de que sufra daños/defectos estructurales irreversibles/importantes. Además, esto permite determinar si la estructura todavía es capaz de hacer frente a la condición de carga de uso normal y/o por cuánto tiempo la estructura podría seguir siendo segura para ser utilizada en la condición de carga de uso normal. Esta determinación permite realizar a continuación una reparación, reemplazo y/o eliminación de la condición estructural y/o ajuste de la condición de carga de uso normal, según corresponda.

20 Por ejemplo, una estructura tal como una viga de hormigón sin refuerzos puede experimentar una reducción del 25% en la resistencia a la flexión debido a las macrofisuras y/o microfisuras. Esta viga de hormigón será entonces peligrosa para su utilización bajo las condiciones normales de carga, es decir, en las condiciones normales de servicio. Incluso aunque la viga de hormigón esté sometida sólo a microfisuras, lo cual conduce a una reducción del 10% de la resistencia a la flexión, podría ser insegura, en particular, bajo condiciones de carga cíclica repetida del agua del mar, por ejemplo. Dichas vigas con resistencia a la flexión reducida se deben reparar y/o reemplazar. Mediante la predicción de las posibles ubicaciones y/o la propagación de las macrofisuras a través de la detección de las ubicaciones y/o la propagación de las microfisuras, se detecta una zona vulnerable de la estructura con macrofisuras y/o microfisuras, de modo que se pueda implementar un esquema de reparación y/o sustitución de la estructura afectada y/o dañada, es decir, de la viga.

30 En la Figura 1 se muestra un método para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura. La estructura comprende una parte de hormigón que puede presentar un defecto estructural de este tipo bajo una condición de carga.

35 Para el propósito de la presente invención, se elige una parte de hormigón porque el hormigón es un material heterogéneo en donde las fisuras que aparecen en el mismo se pueden modelar en diferentes escalas. Sin embargo, la naturaleza quebradiza del hormigón significa que es improbable que cualquier fisura que aparezca en una estructura/parte del mismo se propague progresivamente y, por lo tanto, pueda conducir a un efecto perjudicial en la estabilidad/integridad estructural sin una advertencia muy visible/detectable. Esto hace que el hormigón sea un buen material para explotar la mencionada relación entre las macrofisuras y las microfisuras para predecir posibles ubicaciones y/o propagación de las macrofisuras mediante la detección de las ubicaciones y/o la propagación de las microfisuras.

40 Sin embargo, se entiende que el método se puede aplicar a una estructura que comprenda una parte fabricada de cualquier otro material susceptible de experimentar un defecto estructural, tal como una fisura, que pueda afectar a la estructura y/o a la estabilidad/integridad estructural de la parte.

45 En la etapa 800, el método determina al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura. El al menos un valor de deformación crítica con daño se puede determinar obteniendo y/o recibiendo el al menos un valor de deformación crítica con daño de un aparato para determinar y/o almacenar los valores de deformación crítica con daño.

50 De acuerdo con una forma de realización, cuando se realiza la etapa 800, se establece al menos un valor arbitrario como el al menos un valor de deformación crítica con daño. Alternativamente, cuando se realiza la etapa 800, se obtiene el al menos un valor de deformación crítica con daño a partir de un ensayo de materiales estándar tal como el ensayo de tracción ASTM (American Society for Testing and Materials), que se realiza en una muestra que representa la estructura y/o un material de la composición a partir de la cual se ha fabricado la estructura.

55 El valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que es probable o se prevé que ocurra, aparezca y/o se propague una microfisura. Por lo tanto, el valor de deformación crítica con daño se puede utilizar para comparar con un valor de deformación particular en una posición o ubicación particular para determinar si es probable que se presente una microfisura y/o se propague hacia la posición o ubicación particular.

Detalles adicionales sobre cómo se pueden determinar dichos valores de deformación crítica para una estructura particular se proporcionan más adelante en relación con las etapas mostradas en la Figura 7. De acuerdo con una forma de realización, el método para determinar y/o almacenar los valores de deformación crítica con daño comprende las etapas mostradas en la Figura 7, que se realizan para determinar al menos un valor de deformación crítica con daño para una estructura particular dada.

En la etapa 100, los datos de la primera imagen se obtienen a partir de una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga. En la etapa 200, los datos de la segunda imagen se obtienen a partir de una segunda imagen de la misma superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga. La forma en que se pueden obtener los datos de la primera y/o segunda imagen se proporciona con más detalle más adelante en relación con las Figuras 2A y 2B.

Una carga, primera o segunda condición de carga comprende una carga mecánica y/o una carga térmica. Por ejemplo, la carga mecánica puede ser una carga dinámica de una masa externa tal como el agua del mar sobre la estructura, una carga estática de una masa tal como la masa de la propia estructura y/o una carga variable de una masa separada que se acopla a la estructura durante la utilización normal. La carga térmica pueden ser las diferentes temperaturas que la estructura podría experimentar a lo largo de su vida útil. Dichos cambios de temperatura pueden entonces conducir a la expansión y/o contracción térmica de al menos una parte de la estructura, lo que puede dar como resultado una aparición de un defecto estructural.

De acuerdo con una forma de realización, la primera imagen de la estructura se captura cuando la estructura está bajo una primera carga. A continuación, después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado, se captura la segunda imagen con la carga equivalente a la primera carga. Por lo tanto, las condiciones de carga primera y segunda comprenden una cantidad de carga física equivalente, tal como el mismo peso que se coloca en la estructura, mientras que la segunda imagen se captura en un momento diferente del momento de captura de la primera imagen. En este caso, el tiempo se puede medir a partir de la aplicación inicial del peso sobre la estructura. Esto permite que el método evalúe la presencia y/o propagación de la fisura sobre un período de tiempo bajo las mismas condiciones de carga, lo que puede ser útil para evaluar los riesgos sobre un período de tiempo prolongado.

De acuerdo con otra forma de realización, la primera imagen de la estructura se captura cuando la estructura está bajo una primera carga. A continuación, después de que haya transcurrido un tiempo predeterminado, se captura la segunda imagen con una segunda carga que es diferente de la primera carga, es decir, el peso colocado en la estructura cuando se captura la primera imagen es diferente del peso colocado en la estructura cuando se captura la segunda imagen. Por lo tanto, las condiciones de carga primera y segunda comprenden diferentes cantidades de carga física entre sí. Esto permite que el método evalúe la presencia y/o propagación de la fisura bajo diferentes condiciones de carga, lo que puede ser útil para evaluar los riesgos en entornos en los que sea probable que la carga cambie.

De acuerdo con todavía otra forma de realización, tanto la cantidad de carga física como el tiempo de captura de la primera y segunda imagen varían. Esto permite que el método evalúe la presencia y/o propagación de la fisura bajo diferentes condiciones de carga a lo largo del tiempo, por ejemplo, una estructura expuesta a una carga cíclica aplicada por el agua del mar.

De acuerdo con una forma de realización, la primera condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo su condición de trabajo normal sin carga externa aplicada a la misma, y la segunda condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura tiene una carga externa aplicada a la misma. La carga externa es una carga aplicada a la estructura por una masa que no forma parte de la estructura, por ejemplo, no es una parte integral y/o permanente de la estructura. Por lo tanto, bajo su condición normal de funcionamiento, la estructura no se puede acoplar con una masa separada, la cual a continuación se puede acoplar con la estructura durante un período de tiempo. Cuando la masa separada se acopla a la estructura, la estructura experimenta la segunda carga que comprende la carga y/o el peso aplicado a la estructura por la masa separada. Por ejemplo, la estructura es una viga de hormigón sobre un puente y la carga bajo la primera condición de carga se experimenta cuando no hay ningún vehículo desplazándose sobre el puente. La carga bajo la segunda condición de carga se experimenta entonces cuando al menos un vehículo se está desplazando sobre el puente en la forma del peso del al menos un vehículo.

De acuerdo con otra forma de realización, la primera condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo una carga externa de un valor predeterminado distinto de cero, y la segunda condición de carga comprende una carga experimentada por la estructura cuando la estructura está bajo una carga externa de un valor distinto de cero diferente del valor predeterminado. Esto permite que el método realice evaluaciones cuando la estructura se expone a una carga externa todo el tiempo, pero en cantidades diferentes.

En la etapa 300, el método obtiene una matriz de alargamientos que comprende un valor de alargamiento a partir de los datos de la primera y segunda imagen obtenidos en las etapas 100 y 200. Se utiliza una técnica de correlación de imágenes para procesar las imágenes primera y segunda y/o los datos de la primera y segunda imagen obtenidos en las etapas 100 y 200. La técnica de correlación de imágenes correlaciona partes de las imágenes primera y segunda como si fueran la misma parte de la misma superficie de la estructura, de modo que se pueda

hacer una comparación entre las partes correlacionadas de la superficie capturada en las imágenes primera y segunda. Más adelante, en relación con la Figura 3, se ofrecen detalles adicionales sobre cómo se obtiene la matriz de alargamientos.

5 En la etapa 400, se determina si una microfisura está presente en una posición particular o no basándose en un valor de deformación crítica con daño predeterminado elegido de entre los al menos uno de los valores de deformación crítica con daño determinados en la etapa 800. Más adelante, en relación con la Figura 4, se ofrecen detalles adicionales sobre cómo se determina la presencia de microfisuras.

La Figura 2A muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para obtener o recibir datos de la primera y/o segunda imagen.

10 La etapa 100 de obtener los datos de la primera imagen comprende una etapa 110 de capturar una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga, y una etapa 120 de procesar la primera imagen capturada para obtener los datos de la primera imagen. La etapa 200 de obtener los datos de segunda imagen comprende una etapa 210 de capturar una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga, y una etapa 220 de procesar la segunda imagen capturada para obtener los datos de la
15 segunda imagen.

Los datos de la primera y segunda imagen comprenden información sobre las características presentes en la superficie capturada. Las características presentes pueden ser color, contraste, forma y/o cualquier entidad que represente una característica de la superficie, y la información sobre las características puede ser un valor de escala de grises o cualquier valor indicativo de las características, que se pueda utilizar para distinguir una región de la
20 superficie de otra región de la superficie.

Los datos obtenidos de la primera y segunda imagen se utilizan a continuación en la etapa 300 para obtener una matriz de alargamientos.

25 La Figura 2B muestra una técnica de correlación de imágenes digitales en escala de grises de ejemplo que se utiliza sobre imágenes antes y después de una deformación, de modo que la matriz de alargamientos se pueda obtener en la etapa 300.

Las imágenes primera y segunda capturadas comprenden regiones con diferentes colores y/o contrastes, de modo que los datos de la primera y segunda imagen obtenidos de las mismas comprenden diferentes valores de escala de grises relacionados con las regiones. Los valores de escala de grises en los datos de la primera imagen obtenidos a partir de la primera imagen 190 capturada antes de la deformación se comparan con los valores de escala de grises
30 de los datos de la segunda imagen 290 capturados después de la deformación para correlacionar cada región en la primera imagen 190 con su región equivalente en la segunda imagen 290.

De acuerdo con una forma de realización, el método comprende además una etapa de aplicar y/o fijar un indicador sobre la superficie de modo que el indicador se pueda detectar a partir de la imagen capturada, por ejemplo, la primera o segunda imagen. El indicador permite entonces identificar la parte o la región en la imagen utilizando el
35 indicador. Por ejemplo, como un indicador se podría utilizar un recubrimiento de material detectable, tal como pintura. El indicador o la pintura, se puede aplicar a toda o al menos a una parte de la superficie, de modo que una región y/o un defecto superficial, tal como una fisura, se pueda detectar más fácilmente a partir de una imagen capturada de la superficie utilizando la técnica de correlación de imágenes digitales.

40 Se entiende que cualquier técnica de correlación de imágenes capaz de distinguir una región de la superficie de otra, y también capaz de correlacionar la región con otra región a partir de una imagen diferente de la misma superficie se podría utilizar para lograr el mismo efecto. Mientras dicha distinción sea posible y las regiones distinguidas de la primera imagen se puedan correlacionar con las regiones distinguidas de la segunda imagen, la técnica de correlación de imágenes de las mismas se puede utilizar sobre las imágenes para obtener la matriz de alargamientos en la etapa 300.

45 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para obtener una matriz de alargamientos, es decir, la etapa 300.

La etapa 300 comprende una etapa 310 de asignación de una matriz de posiciones en la primera imagen capturada, y una etapa 320 de obtención de una matriz de alargamientos utilizando la matriz de posiciones asignadas.

50 La etapa 310 de asignación de una matriz de posiciones comprende asignar una cuadrícula y/o un sistema de coordenadas a la primera imagen de modo que cada ubicación o posición en la misma se pueda identificar utilizando la matriz de posiciones. Se entiende que se puede utilizar cualquier otro sistema para identificar una ubicación o una posición, pero para el propósito de la presente invención en la presente memoria se describe la utilización de un sistema de coordenadas bidimensional (x, y).

La etapa 320 para obtener una matriz de alargamientos comprende utilizar una técnica de correlación de imágenes para correlacionar diferentes regiones en la primera imagen con las diferentes regiones en la segunda imagen. El valor de alargamiento se puede calcular considerando el cambio en la ubicación o posición de las regiones correlacionadas en las imágenes primera y segunda.

5 La matriz de alargamientos comprende el valor de alargamiento calculado en cada ubicación o posición de la superficie. Por lo tanto, el valor de alargamiento se obtiene utilizando una técnica de correlación de imágenes, tal como la descrita en relación con la Figura 2B, en las imágenes primera y segunda. Comparando la ubicación, la posición y/o el área superficial parcial de la ubicación, es decir, la deformación, de las correspondientes regiones o partes correlacionadas de la superficie, se puede calcular un cambio en la ubicación, la posición y/o la superficie, y se obtiene el valor de alargamiento en la ubicación o posición.

10 De acuerdo con una forma de realización, la matriz de posiciones, la matriz de alargamientos, y/o la matriz de deformaciones se asignan/obtienen/calculan para sólo una parte de la primera o segunda imagen capturada. Esta parte de la primera o segunda imagen capturada es una parte de la superficie que representa una región de particular interés. Esta región de particular interés se puede elegir en función de su posición en la superficie. Por ejemplo, se elige una región que está colocada cerca de un borde, que es probable que experimente una deformación y/o tensión elevadas, ya que es más probable que aparezca una fisura en una región de este tipo.

15 De acuerdo con una forma de realización, un valor de deformación es un desplazamiento de una región o parte de la superficie, y la matriz de alargamientos comprende elementos que representan el desplazamiento en cada posición de acuerdo con la matriz de posiciones asignada de la primera imagen. El desplazamiento se calcula a partir del cambio de posición de la región o parte correlacionada correspondiente entre las imágenes primera y segunda. Por ejemplo, el desplazamiento en cada ubicación o posición está representado por $(u(x, y), v(x, y))$, donde $u(x, y)$ y $v(x, y)$ son funciones de desplazamiento en coordenadas (x, y) en los ejes x e y respectivamente. A continuación, el valor de deformación de la matriz de alargamientos se utiliza para calcular una matriz de deformaciones que se utiliza para determinar una presencia de una microfisura en la etapa 400.

20 La Figura 4 muestra un diagrama de flujo para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar una presencia de una microfisura, es decir, la etapa 400.

25 La etapa 400 comprende una etapa 410 para calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida, y una etapa 420 para determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que representa la deformación en la posición es mayor o igual a un valor de deformación crítica con daño predeterminado.

30 De acuerdo con una forma de realización, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa una propiedad del material relacionada con la aparición y/o propagación de fisuras. Preferiblemente, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa un valor de deformación en cada posición. Por lo tanto, la matriz de deformaciones comprende un valor de deformación en cada ubicación o posición de la superficie como un elemento.

35 Un valor de deformación en la matriz de deformaciones se calcula a partir del desplazamiento en la matriz de alargamientos y la matriz de posiciones asignada de la primera imagen. El valor de deformación se calcula para cada región o parte de la superficie que se puede identificar claramente utilizando la matriz de posiciones asignada. Por ejemplo, si

$$40 \quad \epsilon_{xx} = \frac{du}{dx} = \frac{u_{t2} - u_{t1}}{\Delta x_{t1}}, \epsilon_{yy} = \frac{dv}{dy} = \frac{v_{t2} - v_{t1}}{\Delta y_{t1}}, \quad \text{y} \quad \epsilon_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} = \frac{u_{t2} - u_{t1}}{\Delta y_{t1}} + \frac{v_{t2} - v_{t1}}{\Delta x_{t1}}$$

son la deformación normal en el eje x , la deformación normal en el eje y , y la deformación por cizallamiento respectivamente, los valores de deformación calculados

$$\epsilon_{max} = \frac{\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy}}{2} + \sqrt{\frac{(\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy})^2}{4} + \epsilon_{xy}^2},$$

45 para la matriz de deformaciones pueden ser una deformación principal máxima en cada ubicación o posición, donde Δx_{t1} y Δy_{t1} son longitudes en el eje x y en el eje y bajo $t1$ respectivamente, y (u_{t1}, v_{t1}) y (u_{t2}, v_{t2}) son valores de desplazamiento bajo la condición $t1$ y $t2$ respectivamente.

50 Las $t1$ y $t2$ se pueden utilizar para indicar el momento en el que se capturó la imagen correspondiente. Por lo tanto, si la primera imagen fue capturada bajo la primera condición de carga en el momento $t1$ y la segunda imagen fue capturada bajo la segunda condición de carga en el momento $t2$, las anotaciones $t1$ y $t2$ se pueden utilizar para indicar tanto las diferentes condiciones de carga, así como las diferentes posiciones temporales. Siempre que haya habido una deformación entre la captura de las imágenes primera y segunda, y esta deformación de cómo resultado valores de desplazamiento distintos de cero en al menos uno de (u_{t1}, v_{t1}) y (u_{t2}, v_{t2}) , se puede calcular la matriz de deformaciones.

- De acuerdo con otra forma de realización, la matriz de deformaciones comprende un elemento que representa un valor de tensión en cada posición y cada etapa de determinación, cálculo, predicción y/o detección del método se puede realizar en base a un valor de tensión. Se entiende que cualquier parámetro que esté relacionado con y/o pueda afectar la aparición y/o propagación de una fisura se puede utilizar como un elemento de la matriz de deformaciones. Ejemplos de este tipo de parámetros podrían ser los valores de tensión o de energía de deformación/tensión. También se entiende que la utilización de dicho parámetro alternativo puede implicar la conversión de la matriz y/o el valor de deformación calculado en el parámetro alternativo utilizando una propiedad del material predeterminada antes de la etapa de determinación, cálculo, predicción y/o detección.
- La Figura 5 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para recibir los datos de la tercera imagen de modo que se puedan utilizar datos de más de dos imágenes para evaluar la presencia de un defecto estructural en la estructura.
- De acuerdo con una forma de realización, el método comprende además una etapa para obtener los datos de la tercera imagen 500. La etapa 500 para obtener los datos de la tercera imagen comprende una etapa 510 para capturar una tercera imagen de la superficie de la estructura bajo una tercera condición de carga, y una etapa 520 para procesar la tercera imagen capturada para obtener los datos de la tercera imagen.
- A continuación, los datos de la tercera imagen se utilizan para promediar y/o interpolar los valores de alargamiento para cada región o parte de la superficie correlacionada correspondiente.
- Por lo tanto, la etapa 300 para obtener la matriz de alargamientos, la etapa 410 para calcular la matriz de deformaciones y la etapa 420 para determinar la presencia de una microfisura en una posición, comprenden además una etapa para obtener un valor de alargamiento en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre la tercera imagen con al menos una de las imágenes primera o segunda. Además, la etapa 300 para obtener la matriz de alargamientos, la etapa 410 para calcular la matriz de deformaciones y la etapa 420 para determinar la presencia de una microfisura en una posición comprenden etapas para promediar y/o interpolar a partir de los valores de alargamiento y/o valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la comparación de las imágenes primera y segunda, de la comparación de la imágenes primera y tercera y/o de la comparación de las imágenes segunda y tercera.
- De acuerdo con una forma de realización, la tercera condición de carga es la misma que la primera o la segunda condición de carga, y el promedio comprende promediar los valores de alargamiento y/o los valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la primera o segunda imagen bajo la misma condición de carga que la tercera condición de carga.
- De acuerdo con otra forma de realización, la tercera condición de carga es diferente de la primera o la segunda condición de carga, y la interpolación comprende interpolar a partir de los valores de alargamiento y/o los valores de deformación obtenidos/calculados a partir de la primera o la segunda imagen bajo la diferente condición de carga de la tercera condición de carga.
- Al promediar y/o interpolar los valores de los datos de la imagen a partir de más de una imagen capturada de esta manera, se puede reducir un error o efecto no deseado introducido en los datos de la imagen por una anomalía en una imagen capturada. Se entiende que, de acuerdo con otra forma de realización, se pueden utilizar más de tres imágenes para una ventaja similar.
- La Figura 6 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar y/o predecir una trayectoria de propagación de la fisura.
- De acuerdo con una forma de realización, el método determina/predice una trayectoria de propagación de la fisura dentro de la estructura y/o la parte de hormigón de la estructura en la etapa 600. La trayectoria de propagación de la fisura comprende al menos dos posiciones en las que se ha determinado que hay una microfisura presente en la etapa 400. Al determinar y/o predecir la trayectoria de propagación de la fisura, el método ilustra el progreso de una trayectoria de la fisura y cómo se podría propagar adicionalmente a medida que la condición de carga cambia y/o el tiempo pasa.
- La etapa 600 para determinar y/o predecir una trayectoria de propagación de la fisura comprende las subetapas de:
- una etapa 610 para determinar una zona de daño potencial que es un conjunto de todas las posiciones vecinas en las que se ha determinado que hay una microfisura presente a partir de la etapa 400;
 - una etapa 620 para obtener una matriz de deformaciones con daño potencial seleccionando los elementos relacionados con la zona de daño potencial de la matriz de deformaciones;
 - una etapa 630 para determinar al menos un valor de deformación máxima local para cada fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial si un elemento en la misma representa una deformación con mayor valor que ambos de los elementos anterior y posterior en la matriz de deformaciones con daño potencial; y

una etapa 640 para determinar la trayectoria de propagación de la fisura que será una colección de posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local.

5 De acuerdo con una forma de realización, en la etapa 630, la al menos una deformación máxima local se determina comparando la magnitud de un elemento en una fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial con la magnitud de un segundo elemento que es anterior en la fila y/o columna, y también con la magnitud de un
10 tercer elemento que es posterior al elemento en la fila y/o columna. Seleccionando los elementos con mayor valor/magnitud que ambos de los elementos anterior y posterior en la fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial, se determina al menos un valor de deformación máxima local. A continuación, la trayectoria de propagación de la fisura se determina como una colección de posiciones que están relacionadas con al menos uno de los valores de deformación máxima local.

15 En la etapa 640, las posiciones relacionadas con el al menos un valor de deformación máxima local se obtienen seleccionando los elementos relacionados con el al menos uno de los valores de deformación máxima local de la matriz de posiciones. Por lo tanto, la colección de las posiciones es un subconjunto del conjunto de todas las posiciones vecinas de la etapa 610, que experimenta uno del al menos uno de los valores de deformación máxima local.

De acuerdo con una forma de realización, la trayectoria de propagación de la fisura se determina de modo que sólo comprenda posiciones que estén relacionadas con valores de deformación máxima local, a partir del al menos uno de los valores de deformación máxima local determinados, que estén próximos entre sí, ya sea en dirección de la columna y/o en dirección de la fila de la matriz de deformaciones con daño potencial.

20 De acuerdo con una forma de realización, la trayectoria de propagación de la fisura también puede comprender más de una colección de las posiciones relacionadas con al menos uno de los valores de deformación máxima local. Esto permite, potencialmente, que la trayectoria de propagación de la fisura comprenda más de un bolsillo de la colección de las posiciones relacionadas con la al menos una deformación máxima local, de modo que la trayectoria de la fisura no se limite únicamente a la trayectoria continua.

25 De acuerdo con una forma de realización, en la etapa 640 para determinar la trayectoria de propagación de la fisura, se utiliza una función de distribución para proporcionar una regla para definir la distribución de la trayectoria de la fisura dentro de la zona de daño potencial determinada de la etapa 610, de modo que la trayectoria de propagación de la fisura determinada se adhiera a la regla de la función de distribución. Preferiblemente, la regla de la función de distribución asegura que la trayectoria de propagación de la fisura sea una buena aproximación a una propagación
30 de la fisura en la vida real dentro de una zona de daño potencial.

De acuerdo con una forma de realización, se puede utilizar una función de transformación de distancias, digamos $d((x, y))$, en conjunto con al menos un valor de deformación máximo local determinado de la etapa 630. Para todas las posiciones en la zona de daño potencial determinadas de la etapa 610, se aplica la función de transformación de distancias que representa la distancia más corta de la posición desde el límite exterior de la zona de daño potencial determinada, de modo que la trayectoria de propagación de la fisura determinada conecte continuamente al menos
35 todas las posiciones con el valor de la función de transformación de distancias más alto, es decir, las posiciones que estén más alejadas del límite exterior de la zona de daño potencial determinada.

Se entiende que se puede utilizar cualquier otra función de distribución con la etapa 640. Por lo tanto, se puede utilizar cualquier función de distribución de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención mientras
40 pueda proporcionar una regla para distribuir la trayectoria de propagación de la fisura dentro de la zona de daño potencial determinada. Por ejemplo, se puede utilizar una función de distribución aleatoria con sus posiciones máximas locales estrechamente correlacionadas con las posiciones de los valores de deformación máxima local en la zona de daño potencial.

45 La Figura 7 muestra un diagrama de flujo parcial para realizar una forma de realización de la presente invención con etapas adicionales para determinar al menos un valor de deformación crítica con daño en la etapa 800. El valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación crítica en el que es probable que se produzca un defecto estructural tal como una fisura.

De acuerdo con una forma de realización, el método que comprende la etapa 400 para determinar una posición con una microfisura presente en la misma, según se describió anteriormente, también comprende la etapa 800 para
50 determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura que comprende las subetapas de:

una etapa 810 para capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable;

una etapa 820 para capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable;

una etapa 830 para establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho;

una etapa 840 para realizar al menos algunas de las demás etapas del método utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño, para determinar si una microfisura está presente en una posición en la etapa 400; y

- 5 una etapa 850 para realizar la siguiente subetapa al menos una vez hasta que haya un grado aceptable de correlación entre la posición determinada con una microfisura presente y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,

en donde, si existe un grado aceptable de correlación, como una etapa 860, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y

- 10 si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño después de que, como una etapa 870, se establezca un segundo valor de deformación crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño.

- 15 En la etapa 850 de la evaluación del grado de correlación, la posición determinada con una microfisura presente y la ubicación de la macrofisura detectable en la segunda imagen, es decir, la imagen posterior, muestra un grado de correlación aceptable si la posición determinada está cerca de la ubicación de la macrofisura detectable en un grado aceptable predeterminado.

- 20 De acuerdo con una forma de realización, el método que comprende la etapa 600 para determinar y/o predecir una trayectoria de propagación de la fisura según se describió anteriormente, también comprende la etapa 800 para determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura que comprende las subetapas de:

una etapa 810 para capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable;

una etapa 820 para capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable;

una etapa 830 para establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho;

- 25 una etapa 840 para realizar al menos algunas de las demás etapas del método utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como valor de deformación crítica con daño, para determinar la trayectoria de propagación de la fisura en la etapa 600; y

- 30 una etapa 850 para realizar la siguiente subetapa en al menos una vez hasta que exista un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,

en donde, si existe un grado aceptable de correlación, como una etapa 860, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y

- 35 si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la etapa 800 para determinar al menos un valor de deformación crítica con daño después de que, como una etapa 870, se establezca un segundo valor de deformación crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño.

- 40 Al menos algunas de las demás etapas del método en la etapa 840 pueden ser las etapas 100, 200, 300 y 400, de modo que si una microfisura está presente o no en una posición se pueda evaluar y/o determinar utilizando los datos de imagen obtenidos de las imágenes anterior y posterior. Se entiende que se puede realizar cualquier combinación y/o etapas parciales de las etapas del método en su lugar siempre que la posición determinada resultante con una microfisura presente permita a la etapa de comparación 850 determinar o comprobar si existe un grado aceptable de correlación entre la posición determinada con una microfisura presente y la ubicación de la macrofisura detectable en la segunda imagen, es decir, la imagen posterior. También se entiende que una técnica de correlación de imágenes digitales similar a la descrita en la presente memoria se puede utilizar con la etapa 850 para evaluar el grado de correlación.

- 45 Las al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño descrito en las etapas 850 y 870 pueden ser las subetapas 830, 840 y 850 con el segundo valor de deformación crítica predicho establecido como el valor de deformación crítica con daño. Se entiende que se puede realizar cualquier combinación y/o subetapas parciales de las subetapas siempre que, después de utilizar el segundo valor de deformación crítica predicho como valor de deformación crítica con daño, la posición determinada resultante con una microfisura presente y/o trayectoria de propagación de la fisura permita que la etapa de comparación 850 determine o compruebe si existe un grado aceptable de correlación con la macrofisura detectable en la segunda imagen, es decir, la imagen posterior.

De acuerdo con una forma de realización, en la etapa 850 de la evaluación del grado de correlación, la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la segunda imagen, es decir, la imagen posterior, muestra un grado aceptable de correlación si la ubicación de la macrofisura detectable está suficientemente cerca de un punto en la trayectoria de propagación de la fisura determinada.

- 5 Existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la trayectoria de propagación de la fisura determinada comprende la ubicación de la macrofisura detectable.

Alternativamente, existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la macrofisura detectable está cerca de una periferia de la trayectoria de propagación de la fisura determinada.

- 10

Adicional y/o alternativamente, existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior si la zona de daño potencial determinada en la etapa 610 utilizando el valor de deformación crítica con daño establecido muestra una estrecha correlación con la zona de daño físico detectable o visible a partir de la imagen posterior.

- 15 De acuerdo con una forma de realización, cuando se realiza la etapa 800 por primera vez, en la etapa 830 se utiliza un valor arbitrario como primer valor de deformación crítica predicho. Alternativamente, cuando se realiza la etapa 800 por primera vez, el primer valor de deformación crítica predicho se obtiene realizando un ensayo de materiales estándar, tal como el ensayo de tracción ASTM (American Society for Testing and Materials), en una muestra que representa la estructura y/o un material de la composición a partir de la cual se fabrica la estructura.

- 20 El valor de deformación crítica con daño guardado de la etapa 860 se utiliza como valor umbral, es decir, el valor de deformación crítica con daño predeterminado de la etapa 400, para determinar la posición o ubicación y/o la trayectoria de propagación de una microfisura que resulta de la carga sobre la estructura.

De acuerdo con una forma de realización, el segundo valor de deformación crítica predicho de la etapa 870 es de un valor arbitrario. Adicional y/o alternativamente, el segundo valor de deformación crítica predicho de la etapa 870 se obtiene realizando un ensayo de materiales estándar tal como el ensayo de tracción ASTM (American Society for Testing and Materials), en una muestra que representa la estructura y/o un material de la composición a partir de la cual se fabrica la estructura.

- 25

Adicional y/o alternativamente, el segundo valor de deformación crítica predicho de la etapa 870 se obtiene aumentando o disminuyendo el primer valor de deformación crítica predicho en una magnitud predeterminada, por ejemplo, en un determinado porcentaje. Adicional y/o alternativamente, el segundo valor de deformación crítica predicho de la etapa 870 se extrapola y/o interpola a partir de al menos dos valores de deformación crítica predichos diferentes en los que se realiza la etapa 850 en subetapas anteriores de la etapa 800 para determinar el al menos un valor de deformación crítica con daño.

- 30

La Figura 8A muestra una fisura 895 de ejemplo y las trayectorias de propagación 891, 892, 893, 894 y/o las ubicaciones de fisura determinadas y/o predichas obtenidas utilizando diferentes valores de deformación crítica con daño cuando se repiten las etapas 850-870. La ubicación y/o la trayectoria de propagación 891, 892, 893 y 894 de la fisura se determinan después de establecer el valor de deformación crítica con daño en 0,08, 0,07, 0,05 y 0,04 respectivamente. Se puede observar que en esta ocasión las trayectorias de propagación de la fisura 893, 894 determinadas utilizando valores de deformación crítica con daño más pequeños, es decir, 0,05 o 0,04, muestran mejor correlación con la fisura 895 de ejemplo. Por lo tanto, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, los valores críticos más pequeños 0,05 o 0,04 se guardan como los valores de tensión crítica con daño determinados en la etapa 800/860 de modo que se puedan utilizar en la etapa 400 para determinar si hay una microfisura presente en una posición, es decir, para determinar una ubicación de fisura como la ubicación con una microfisura detectada.

- 35

40

La Figura 8B muestra una comparación entre una fisura 897 de ejemplo, una cuadrícula o sistema de coordenadas 898 que muestra la deformación de la fisura de ejemplo, y una ubicación y/o trayectoria de propagación de la fisura 899 determinada y/o predicha obtenida utilizando un valor de deformación crítica con daño determinado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Se puede ver que existe una buena concordancia, es decir, correlación, entre la ubicación y/o la trayectoria de propagación 899 de la fisura determinada y/o predicha y la fisura 897 de ejemplo real. Incluso cada curva/curvatura de la fisura 897 de ejemplo está bien determinada y/o predicha por la forma de realización.

- 45

La Figura 9 muestra un aparato de evaluación 900 de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El aparato de evaluación 90 está en comunicación con un proveedor de datos de imágenes de ejemplo. Un ejemplo de un proveedor de datos de imágenes de este tipo es una unidad de captura de imágenes 910 que captura y/o almacena imágenes de la superficie de la estructura.

- 55

El aparato de evaluación 900 para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura comprende:

una unidad de comunicación 960 para recibir los primeros datos 930 relativos a una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga, y recibir los segundos datos 935 relativos a una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga; y

un procesador 920 para:

5 determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura;

asignar una matriz de posiciones en la primera imagen capturada;

obtener una matriz de alargamientos que comprenda un valor de deformación en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre las imágenes primera y segunda, y comparando la deformación de las partes correspondientes de la superficie capturada en las mismas;

10 calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida; y

determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que representa la deformación en la posición es mayor o igual que un valor de deformación crítica con daño predeterminado,

15 en donde el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que se detecta o se predice que aparecerá o se propagará una microfisura.

La unidad de comunicación 960 recibe los primeros y/o segundos datos 930, 935 a partir de la unidad de captura de imágenes 910 utilizando una comunicación por cable y/o inalámbrica. El aparato de evaluación 900 y/o el procesador 920 también operan y/o realizan cualquiera de los métodos y/o etapas del método descritas en la presente memoria para evaluar la presencia de defectos estructurales en la estructura.

20 La Figura 10 muestra el aparato de evaluación 900 de la Figura 9 en comunicación con un proveedor de datos de imágenes alternativo al mostrado en la Figura 8. El proveedor de datos de imágenes comprende una primera unidad de captura de imágenes 913 que captura y/o almacena la primera imagen de la superficie de la estructura, y una segunda unidad de captura de imágenes 915 que captura y/o almacena la segunda imagen de la superficie de la estructura. La unidad de comunicación 960 del aparato de evaluación 900 recibe los primeros datos 930 de la primera unidad de captura de imágenes 913 y los segundos datos 935 de la segunda unidad de captura de imágenes 915.

Se entiende que donde se utilizan más de dos imágenes de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, más de dos unidades de captura de imágenes pueden estar en comunicación con la unidad de comunicación 960 para enviar los datos de imagen desde allí.

30 La Figura 11 muestra un aparato de evaluación 950 alternativo que comprende un proveedor de datos de imágenes, es decir, una unidad de captura de imágenes 919. La unidad de captura de imágenes 919 captura y/o almacena los primeros datos 930 y los segundos datos 935, que se proporcionan a continuación al procesador 920 para procesar los primeros y segundos datos 930 y 935. Se entiende que en la Figura 11 la unidad de comunicación 960 puede ser simplemente un canal de comunicación, tanto por cable como inalámbrico, o un bus para transferir los primeros y segundos datos 930, 935 desde la unidad de captura de imágenes 919 al procesador 920.

De acuerdo con una forma de realización, la unidad de captura de imágenes 910, 913, 915, 919 captura la primera imagen de al menos una parte de la superficie de la estructura bajo la primera condición de carga, y captura la segunda imagen de al menos la parte de la superficie de la estructura bajo la segunda condición de carga.

40 De acuerdo con una forma de realización, la unidad de captura de imágenes 910, 913, 915, 919 captura la segunda imagen en un momento diferente del momento de captura de la primera imagen.

La unidad de captura de imágenes 910, 913, 915, 919 también puede capturar varias imágenes sobre un período de tiempo, por ejemplo, una imagen en movimiento, por la que se obtienen datos relativos a las varias imágenes. El procesador 920 puede a continuación obtener la matriz de alargamientos utilizando las varias imágenes.

45 De acuerdo con una forma de realización, se proporciona un medio legible por ordenador que almacena un programa de ordenador para operar el método de acuerdo con las formas de realización descritas en la presente memoria.

50 La Figura 12 muestra un entorno ilustrativo 1010 de acuerdo con una forma de realización de la invención. La persona experta en la técnica se dará cuenta y comprenderá que las formas de realización de la presente invención se pueden implementar utilizando cualquier sistema informático adecuado, y el sistema de ejemplo mostrado en la Figura 12 es sólo de ejemplo y se proporciona solamente con el propósito de exhaustividad. Para este fin, el entorno 1010 incluye un sistema informático 1020 que puede realizar un proceso descrito en la presente memoria para realizar una forma de realización de la invención. En particular, el sistema informático 1020 se muestra que incluye

un programa 1030, el cual hace que el sistema informático 1020 se pueda operar para implementar una forma de realización de la invención para realizar un proceso descrito en la presente memoria.

Se muestra el sistema informático 1020 que incluye un componente de procesamiento 1022 (por ejemplo, uno o más procesadores), un componente de almacenamiento 1024 (por ejemplo, una jerarquía de almacenamiento), un componente de entrada/salida (E/S) 1026 (por ejemplo, una o más interfaces y/o dispositivos de E/S), y una vía de comunicación 1028. En general, el componente de procesamiento 1022 ejecuta el código de programa, tal como el programa 1030, que se fija al menos parcialmente en el componente de almacenamiento 1024. Durante la ejecución del código de programa, el componente de procesamiento 1022 puede procesar datos, lo que puede dar como resultado la lectura y/o escritura de datos transformados desde/hacia el componente de almacenamiento 1024 y/o el componente de E/S 1026 para su procesamiento adicional. La ruta 1028 proporciona un enlace de comunicación entre cada uno de los componentes del sistema informático 1020. El componente de E/S 1026 puede comprender uno o más dispositivos de E/S humanos, que permiten al usuario humano 1012 interactuar con el sistema informático 1020 y/o uno o más dispositivos de comunicación para permitir al usuario del sistema 1012 comunicarse con el sistema informático 1020 utilizando cualquier tipo de enlace de comunicaciones. Para este fin, el programa 1030 puede manejar un conjunto de interfaces (por ejemplo, interfaz(ces) gráfica(s) de usuario, interfaz del programa de aplicación, y/o similares) que permiten a los usuarios humanos y/o del sistema 1012 interactuar con el programa 1030. Además, el programa 1030 puede gestionar (por ejemplo, almacenar, recuperar, crear, manipular, organizar, presentar, etc.) los datos, tales como varios archivos de datos 1040, utilizando cualquier solución.

En cualquier caso, el sistema informático 1020 puede comprender uno o más artículos de cálculo de ámbito general de fabricación (por ejemplo, dispositivos de cálculo) capaz de ejecutar el código de programa, tal como el programa 1030, instalado en el mismo. Según se utiliza en la presente memoria, se entiende que "código de programa" significa cualquier colección de instrucciones, en cualquier idioma, código o notación, que haga que un dispositivo de cálculo que tiene capacidad de procesamiento de información realice una acción particular, ya sea directamente o después de una combinación de las siguientes: (a) conversión a otro idioma, código o notación; (b) reproducción en una forma material diferente; y/o (c) descompresión. Para este fin, el programa 1030 se puede incorporar como cualquier combinación de software de sistema y/o software de aplicación.

Además, el programa 1030 se puede implementar utilizando un conjunto de módulos. En este caso, un módulo puede permitir que el sistema informático 1020 realice un conjunto de tareas utilizadas por el programa 1030, y se puede desarrollar y/o implementar por separado, aparte de otras partes del programa 1030. Según se utiliza en la presente memoria, el término "componente" significa cualquier configuración de hardware, con o sin software, que implemente la funcionalidad descrita en conjunción con el mismo utilizando cualquier solución, mientras que el término "módulo" significa el código de programa que permite que un sistema informático 1020 implemente las acciones descritas en conjunción con la mismo utilizando cualquier solución. Cuando se fija en un componente de almacenamiento 1024 de un sistema informático 1020 que incluye un componente de procesamiento 1022, un módulo es una parte sustancial de un componente que implementa las acciones. Independientemente, se entiende que dos o más componentes, módulos y/o sistemas pueden compartir parte o la totalidad de su respectivo hardware y/o software. Además, se entiende que algunas de las funcionalidades descritas en la presente memoria no se pueden implementar o funcionalidades adicionales se puede incluir como parte del sistema informático 1020.

Cuando el sistema informático 1020 comprende múltiples dispositivos de cálculo, cada dispositivo de cálculo puede tener sólo una parte del programa 1030 fijado en el mismo (por ejemplo, uno o más módulos). Sin embargo, se entiende que el sistema informático 1020 y el programa 1030 son sólo representativos de varios sistemas informáticos equivalentes posibles que pueden realizar un proceso descrito en la presente memoria. Para este fin, en otras formas de realización, la funcionalidad proporcionada por el sistema informático 1020 y el programa 1030 se pueden implementar al menos parcialmente por uno o más dispositivos de cálculo que incluyan cualquier combinación de hardware de propósito general y/o específico con o sin código de programa. En cada forma de realización, el hardware y el código de programa, si están incluidos, se pueden crear utilizando técnicas de ingeniería y de programación estándar, respectivamente.

Independientemente, cuando el sistema informático 1020 incluye múltiples dispositivos de cálculo, los dispositivos de cálculo se pueden comunicar sobre cualquier tipo de enlace de comunicaciones. Además, al realizar un proceso descrito en la presente memoria, el sistema informático 1020 se puede comunicar con uno o varios sistemas informáticos utilizando cualquier tipo de enlace de comunicaciones. En cualquier caso, el enlace de comunicaciones puede comprender cualquier combinación de varios tipos de enlaces de fibra óptica, por cable y/o inalámbricos; comprender cualquier combinación de uno o más tipos de redes; y/o utilizar cualquier combinación de varios tipos de técnicas y protocolos de transmisión.

En cualquier caso, el sistema informático 1020 puede obtener datos de los archivos 1040 utilizando cualquier solución. Por ejemplo, el sistema informático 1020 puede generar y/o se puede utilizar para generar los archivos de datos 1040, recuperar datos de los archivos 1040, que se pueden almacenar en uno o más almacenes de datos, recibir datos de los archivos 1040 de otro sistema y/o similares.

5 Se entiende que una matriz se puede referir a cualquier conjunto o colección de al menos un elemento. Por ejemplo, una matriz de posiciones puede ser un mero conjunto o colección de varias posiciones que se asignan a una ubicación o parte de una superficie en particular. También se entiende que la asignación de la posición a la ubicación o parte de la superficie puede ser en forma de cuadrícula o de forma aleatoria, siempre y cuando cada ubicación o parte se pueda identificar con la posición.

10 Se entiende que, si se predice una inestabilidad estructural potencialmente significativa a partir de la microfisura determinada en la etapa 400 y/o la trayectoria de propagación de la fisura en la etapa 600 de acuerdo con cualquiera de las formas de realización de la presente invención, se toma una acción para notificar a un usuario de la inestabilidad estructural predicha y/o tratar la región afectada de la estructura. Por ejemplo, la acción puede estar emitiendo una advertencia a un usuario. La acción podrá comprender además el refuerzo mecánico de la zona de daño potencial de la etapa 610 y/o de las regiones alrededor de la zona de daño potencial para mejorar la estabilidad estructural. Alternativamente, la acción puede comprender retirar, reparar y/o reemplazar la estructura, la parte de hormigón y/o una región de la estructura que causa la inestabilidad estructural.

15 Mediante la detección y/o predicción de los defectos estructurales potencialmente destructivos, tales como las microfisuras, y la realización de una acción para tratar la región afectada, se evita la propagación y/o el desarrollo adicional de los defectos estructurales que puedan conducir finalmente a una inestabilidad estructural y/o se evita un peligro antes de que alcance un grado irreversible, por ejemplo, a través del desarrollo en una macrofisura. La presente invención predice ubicaciones potenciales y/o la propagación de las macrofisuras detectando las ubicaciones y/o la propagación de las microfisuras a través del modelado de las mismas. Esto permite entonces la notificación y/o el tratamiento, tal como proporcionar una capa y/o refuerzo adicional de hormigón de la estructura antes de que sufra daños/defectos estructurales irreversibles/significativos. Además, esto permite la determinación de si la estructura todavía es capaz de hacer frente a la condición de carga de uso normal y/o por cuánto tiempo podría seguir siendo segura la estructura para ser utilizada en la condición de carga de uso normal. Esta determinación permite realizar a continuación una reparación, reemplazo y/o eliminación de la estructura, y/o ajuste de la condición de carga de uso normal, según corresponda.

25 De acuerdo con una forma de realización, si se determina que una microfisura está presente en una posición particular en la etapa 400 y/o se determina que una trayectoria de propagación de la fisura se extiende sobre una longitud umbral en la etapa 640, el método y/o aparato evalúa que existe una inestabilidad estructural potencialmente significativa. De acuerdo con una forma de realización, la posición particular es una ubicación con una debilidad mecánica y/o la longitud umbral se predetermina a través de un experimento en una muestra.

30 Se entiende que, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, varias imágenes son capturadas sobre un período de tiempo de modo que el método y/o aparato de la presente invención se utiliza en las varias imágenes capturadas para evaluar, detectar, determinar y/o predecir cómo podría progresar en el futuro una posición de una ubicación de fisura y/o una trayectoria de propagación de la fisura. A continuación, esta evaluación, detección, determinación y/o predicción se utiliza para notificar a un usuario, y/o tratar, eliminar, reparar y/o reemplazar la región afectada o parte de la estructura, y/o ajustar las condiciones de carga de uso normal de la estructura según corresponda, a través de lo cual se evita una inestabilidad estructural potencialmente perjudicial o significativa en el futuro.

REIVINDICACIONES

1. Un método para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura, comprendiendo el método las etapas de:
- determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura (800),
- 5 capturar una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga (100);
capturar una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga (200);
asignar una matriz de posiciones en la primera imagen capturada (310);
- 10 obtener una matriz de alargamientos que comprenda un valor de deformación en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre las imágenes primera y segunda, y comparando la deformación de las partes correspondientes de la superficie capturada en las mismas (320);
calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida (410); y
- determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que represente la deformación en la posición es mayor o igual a un valor de deformación crítica con daño predeterminado (420),
- 15 en donde el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que se detecta o se predice que aparecerá o se propagará una microfisura,
caracterizada por una etapa para determinar y/o detectar una trayectoria de propagación de la fisura que comprende las subetapas de:
- 20 determinar una zona de daño potencial que es un conjunto de todas las posiciones vecinas en las que se ha determinado que hay una microfisura presente (610);
obtener una matriz de deformaciones con daño potencial seleccionando los elementos relacionados con la zona de daño potencial de la matriz de deformaciones (620);
- 25 determinar al menos un valor de deformación máxima local para cada fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial si un elemento en la misma representa una deformación con mayor valor que ambos de los elementos anterior y posterior en la matriz de deformaciones con daño potencial (630); y
- determinar la trayectoria de propagación de la fisura como una colección de posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local (640).
2. El método de la reivindicación 1, en donde la estructura comprende una parte de hormigón.
- 30 3. El método de reivindicación 1 o 2 comprende además una etapa para capturar una tercera imagen de la superficie de la estructura bajo una tercera condición de carga, en donde la obtención de la matriz de alargamientos, el cálculo de la matriz de deformaciones y la determinación de la presencia de una microfisura comprenden además la obtención de un valor de deformación en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre la tercera imagen con al menos una de las imágenes primera o segunda.
- 35 4. El método de la reivindicación 3 comprende además una etapa para aplicar o fijar un indicador en una parte de la superficie de modo que el indicador se pueda detectar a partir de la primera, segunda o tercera imagen capturada, por lo que la parte se puede identificar en la primera, segunda o tercera imagen utilizando el indicador.
5. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde las posiciones relacionadas con el al menos un valor de deformación máxima local se obtiene seleccionando los elementos relacionados con el al menos un valor de deformación máxima local a partir de la matriz de posiciones.
- 40 6. El método de la reivindicación 5, en donde la trayectoria de propagación de la fisura comprende una colección de las posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local, que sólo comprende posiciones relacionadas con los valores de deformación máxima local que están próximos entre sí, ya sea en dirección de la columna o en dirección de la fila de la matriz de deformaciones con daño potencial.
- 45 7. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la determinación del al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura comprende las subetapas de:
- capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable (810);
capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable (820);

- establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho (830);
- realizar las etapas del método para asignar la matriz de posiciones, obtener la matriz de alargamientos y calcular la matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño, para determinar una posición con una microfisura presente; y
- 5 realizar la siguiente subetapa al menos una vez hasta que exista un grado aceptable de correlación entre la posición determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,
- en donde, si existe un grado aceptable de correlación, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y
- 10 si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño después de establecer un segundo valor de deformación crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño;
- 15 en donde existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la trayectoria de propagación de la fisura determinada comprende la ubicación de la macrofisura detectable.
8. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la determinación del al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura comprende las subetapas de:
- capturar una imagen anterior antes de que se haya producido una macrofisura detectable (810);
- 20 capturar una imagen posterior después de que se haya producido la macrofisura detectable (820);
- establecer el valor de deformación crítica con daño como un primer valor de deformación crítica predicho (830);
- realizar las etapas del método de asignar la matriz de posiciones, obtener la matriz de alargamientos y calcular la matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida utilizando la imagen anterior como la primera imagen, la imagen posterior como la segunda imagen y el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño, para determinar la trayectoria de propagación de la fisura; y
- 25 realizar la siguiente subetapa al menos una vez hasta que exista un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior,
- en donde, si existe un grado aceptable de correlación, se guarda el primer valor de deformación crítica predicho como el valor de deformación crítica con daño determinado, y
- 30 si no existe un grado aceptable de correlación, se repiten al menos algunas de las subetapas para la determinación de al menos un valor de deformación crítica con daño después de establecer un segundo valor de deformación crítica predicho, que es diferente del primer valor de deformación crítica predicho, como el valor de deformación crítica con daño;
- 35 en donde existe un grado aceptable de correlación entre la trayectoria de propagación de la fisura determinada y la ubicación de la macrofisura detectable en la imagen posterior cuando la trayectoria de propagación de la fisura determinada comprende la ubicación de la macrofisura detectable.
9. Un aparato de evaluación (900) para evaluar la presencia de un defecto estructural en una estructura, comprendiendo el aparato (900):
- 40 una unidad de comunicación (960) configurada para recibir los primeros datos (930) relativos a una primera imagen de una superficie de la estructura bajo una primera condición de carga, y para recibir los segundos datos (935) relativos a una segunda imagen de la superficie de la estructura bajo una segunda condición de carga; y
- un procesador (920) configurado para:
- determinar al menos un valor de deformación crítica con daño de la estructura;
- 45 asignar una matriz de posiciones en la primera imagen capturada;
- obtener una matriz de alargamientos que comprenda un valor de deformación en cada posición de la matriz de posiciones utilizando una técnica de correlación de imágenes sobre las imágenes primera y segunda, y comparando la deformación de las partes correspondientes de la superficie capturadas en las mismas;

calcular una matriz de deformaciones utilizando la matriz de alargamientos obtenida; y

determinar la presencia de una microfisura en una posición si un elemento de la matriz de deformaciones que representa la deformación en la posición es mayor o igual que un valor de deformación crítica con daño predeterminado,

- 5 donde el valor de deformación crítica con daño es un valor de deformación en el que se detecta o se predice que aparecerá o se propagará una microfisura,

caracterizado por que el procesador (920) se configura para realizar una etapa para determinar y/o detectar una trayectoria de propagación de la fisura que comprende las subetapas de:

- 10 determinar una zona de daño potencial que es un conjunto de todas las posiciones vecinas en las que se ha determinado que hay una microfisura presente (610);

obtener una matriz de deformaciones con daño potencial seleccionando los elementos relacionados con la zona de daño potencial de la matriz de deformaciones (620);

- 15 determinar al menos un valor de deformación máxima local para cada fila y/o columna de la matriz de deformaciones con daño potencial si un elemento en la misma representa una deformación con mayor valor que ambos de los elementos anterior y posterior en la matriz de deformaciones con daño potencial (630); y

determinar la trayectoria de propagación de la fisura como una colección de posiciones relacionadas con el al menos uno de los valores de deformación máxima local (640).

- 20 10. El aparato de evaluación (900) de la reivindicación 9, que comprende además una unidad de captura de imágenes configurada para capturar la primera imagen de al menos una parte de la superficie de la estructura bajo la primera condición de carga, y para capturar la segunda imagen de al menos la parte de la superficie de la estructura bajo la segunda condición de carga.

11. El aparato de evaluación (900) de la reivindicación 10, en donde la unidad de captura de imágenes se configura para capturar varias imágenes sobre un período de tiempo, por lo que se obtienen datos relativos a varias imágenes y el procesador se configura para obtener la matriz de alargamientos utilizando las varias imágenes.

- 25 12. El aparato de evaluación (900) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde el aparato de evaluación se configura para operar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

13. Un medio legible por ordenador que almacena un programa informático para operar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

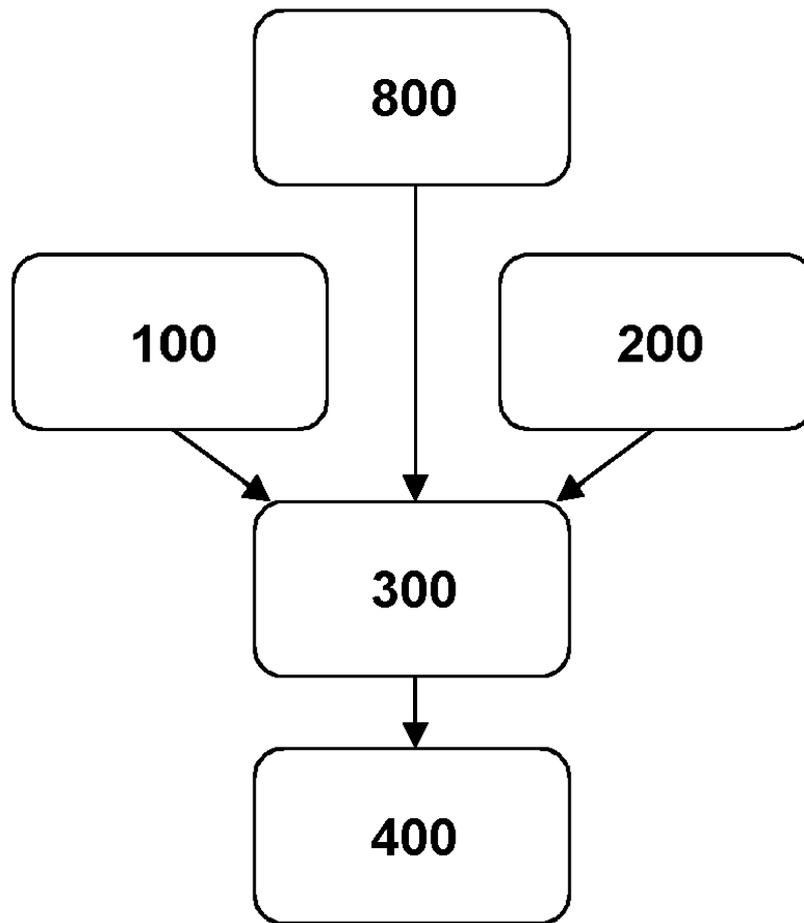


Fig. 1

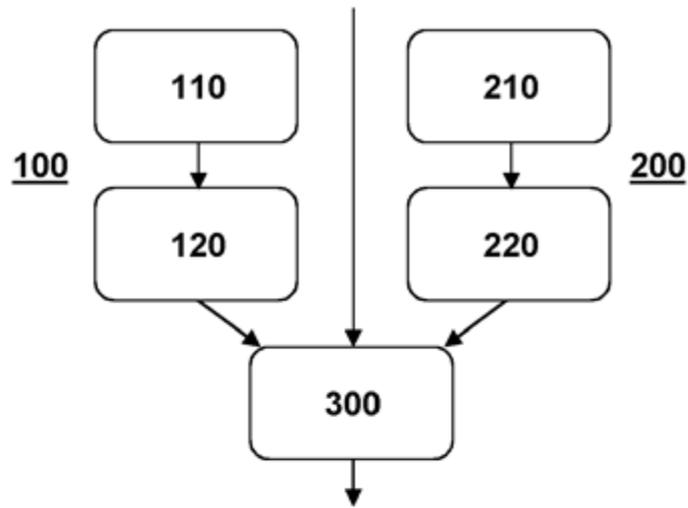


Fig. 2A

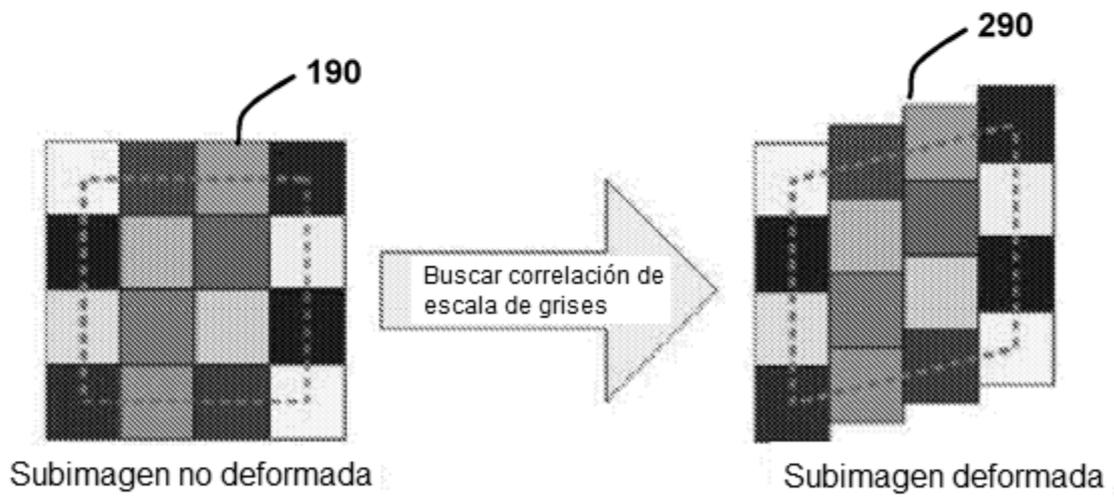


Fig. 2B

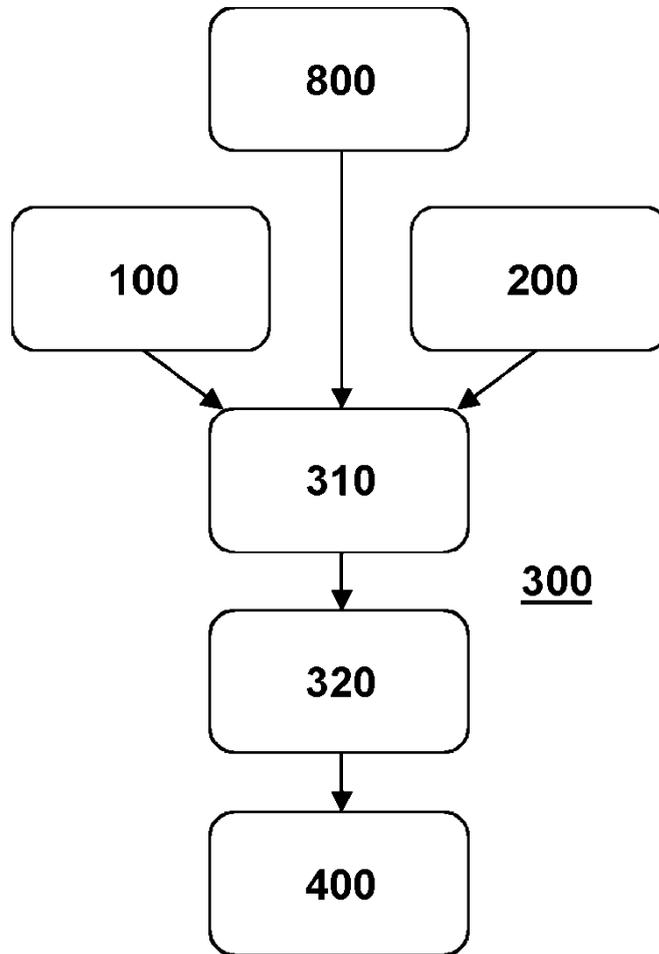


Fig. 3

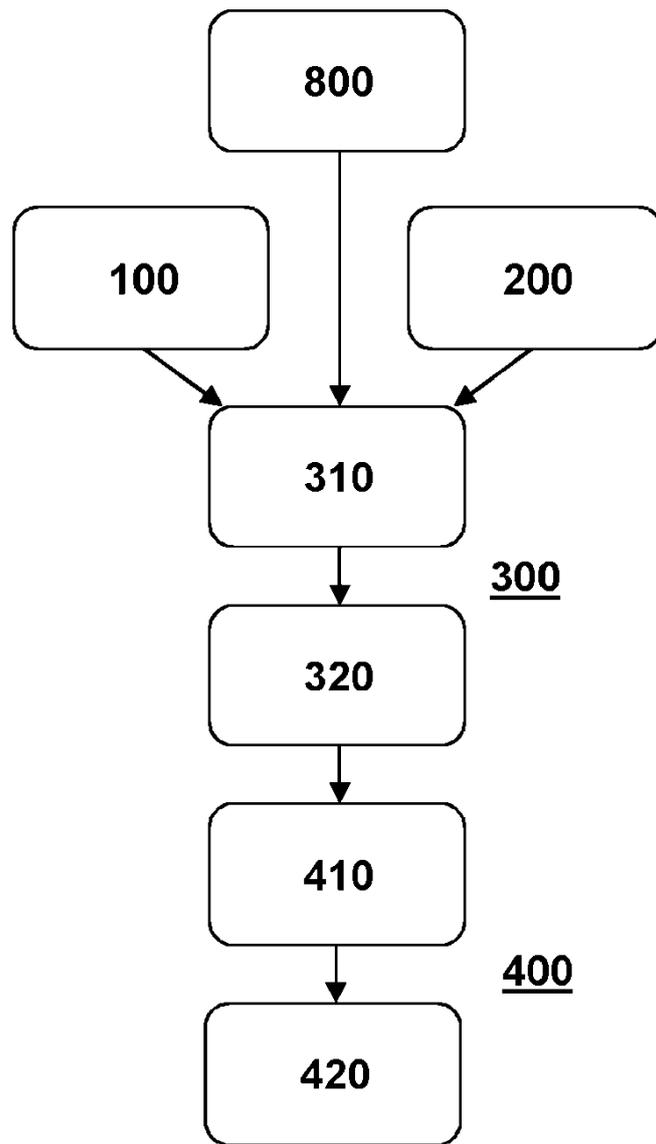


Fig. 4

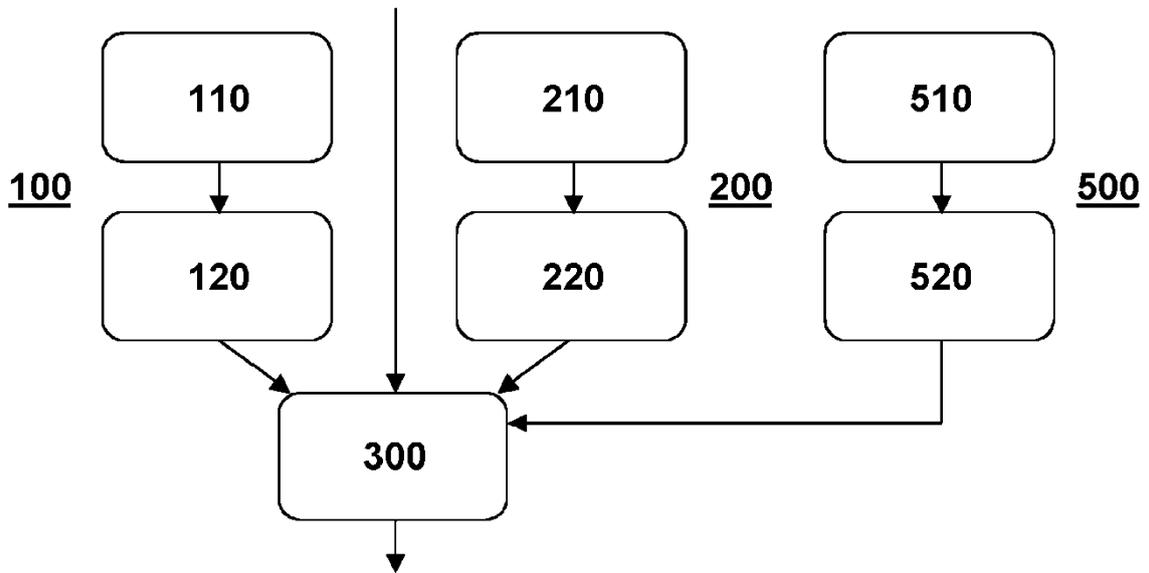


Fig. 5

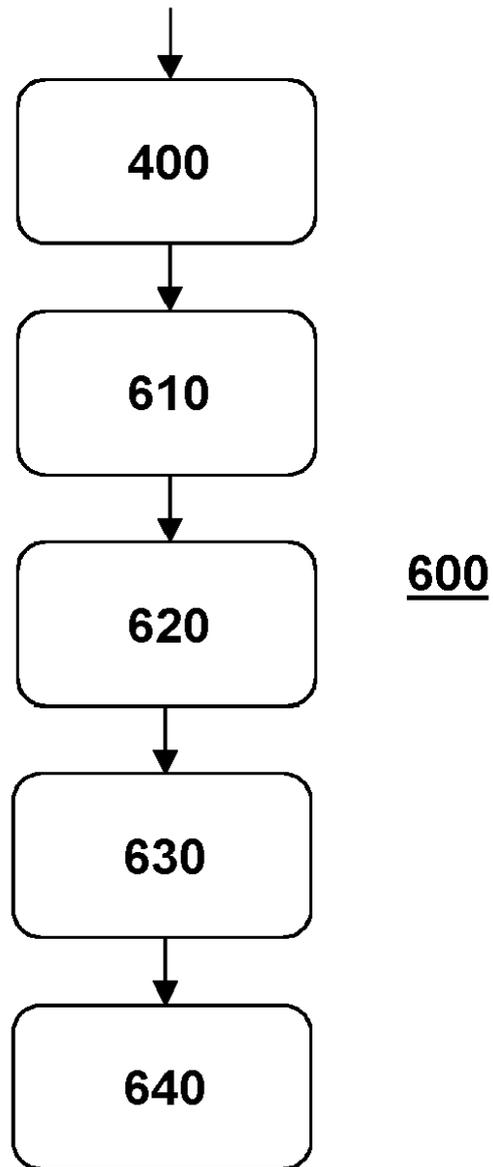


Fig. 6

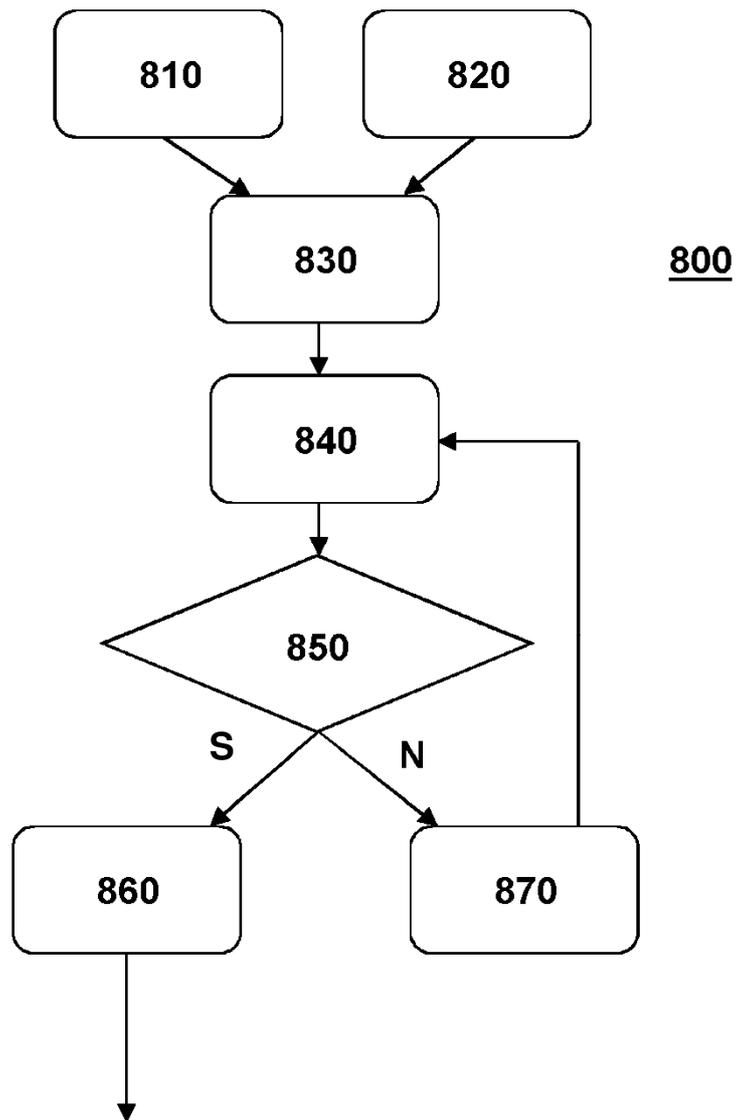


Fig. 7

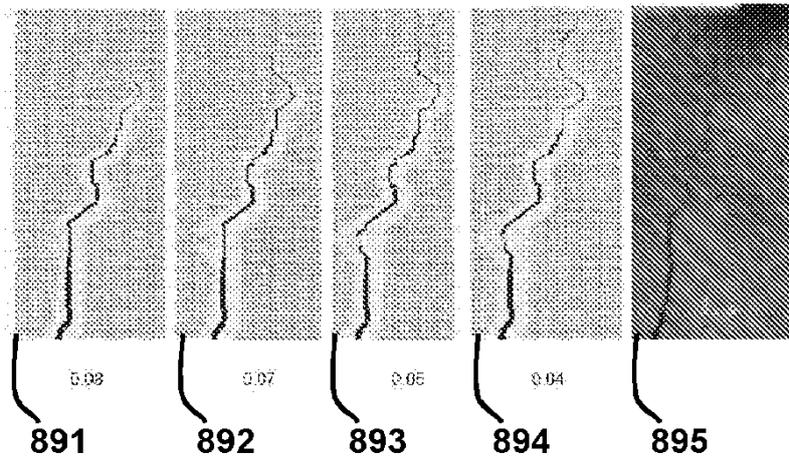


Fig. 8A

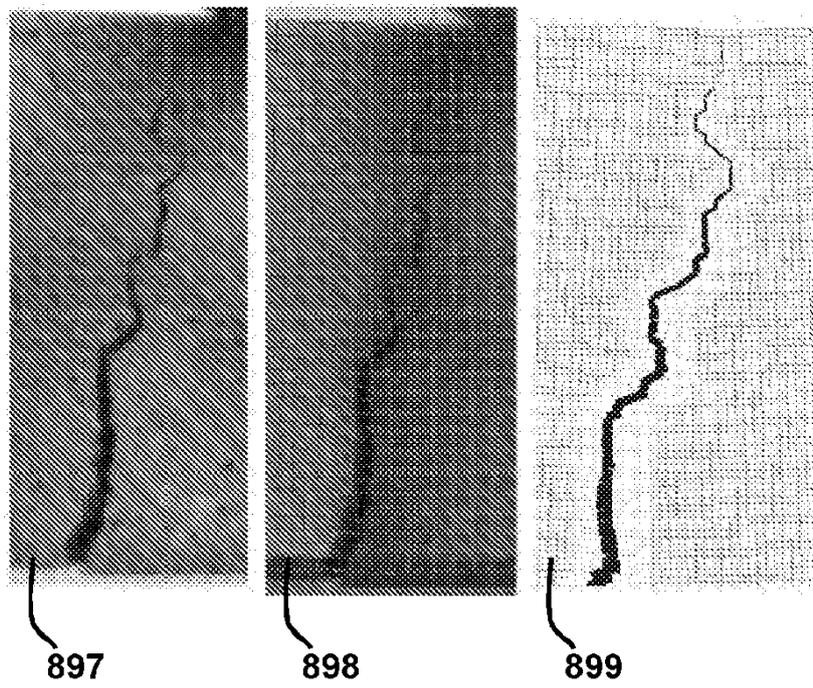


Fig. 8B

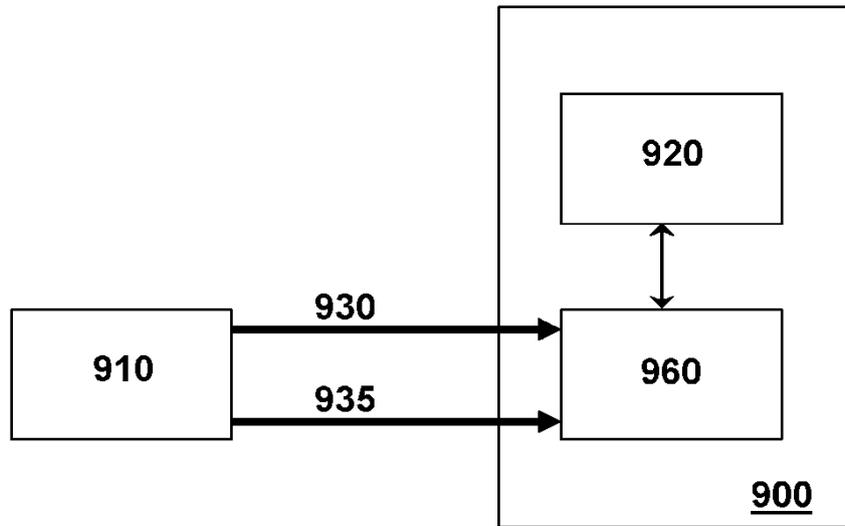


Fig. 9

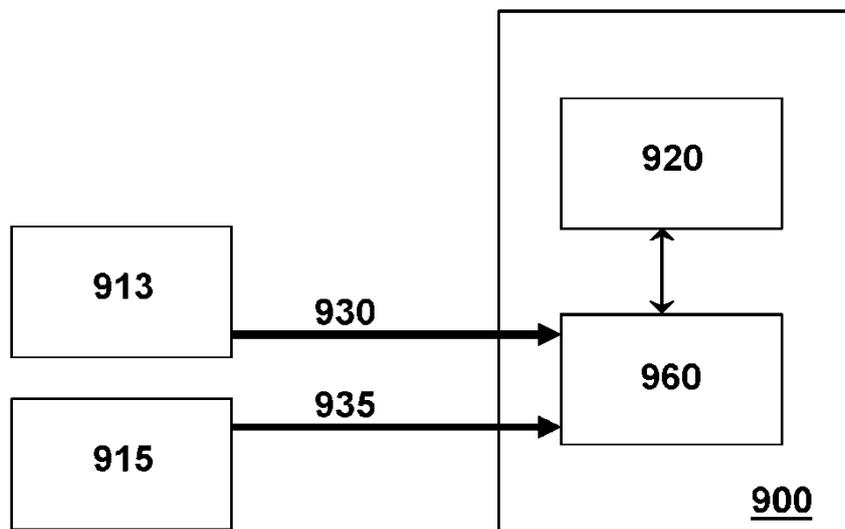


Fig. 10

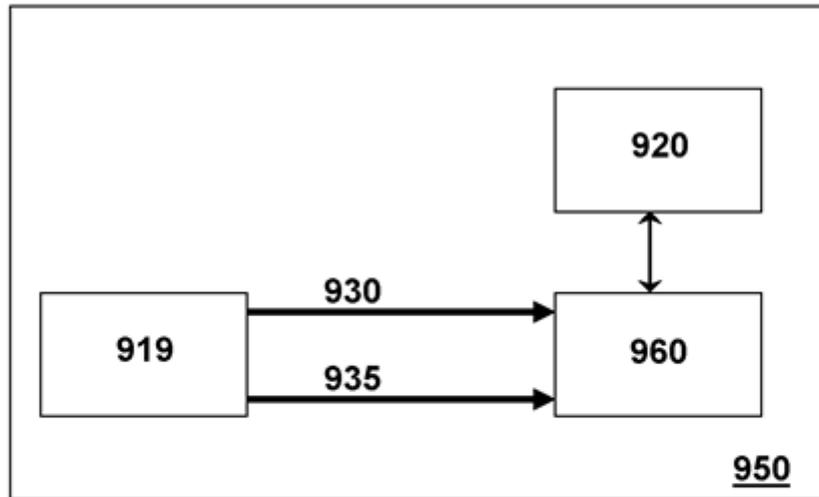


Fig. 11

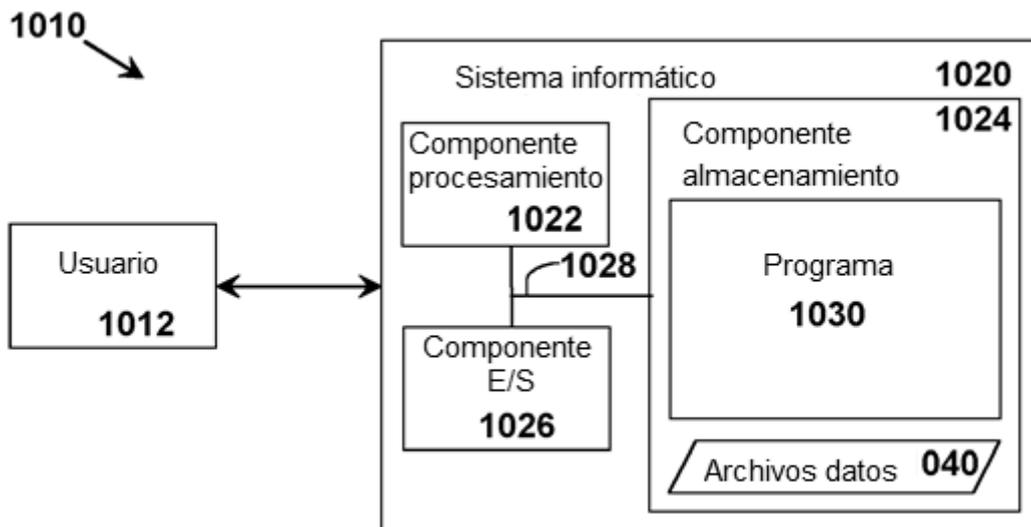


Fig. 12