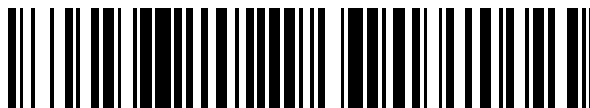


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 651**

21 Número de solicitud: 201700442

51 Int. Cl.:

G01N 29/46 (2006.01)

G01H 13/00 (2006.01)

G01M 7/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

29.03.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

08.02.2018

Fecha de concesión:

26.10.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

05.11.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**DE LUIS RUIZ, Julio Manuel;
PEREDA GARCIA, Raúl;
PIÑA GARCIA, Felipe;
CASTILLO LÓPEZ, Elena;
PÉREZ ÁLVAREZ, Rubén;
HUSILLOS RODRIGUEZ, Raúl;
SIERRA GARCIA, Pedro Manuel y
CASTILLO LINARES, Alejandro**

54 Título: **Método para la determinación de parámetros modales reales de una estructura**

57 Resumen:

Método para la determinación de los parámetros modales de una estructura tanto en fase de construcción como de explotación, que comprende las etapas de:

- instalar y configurar en la estructura un equipo de medición de posicionamientos;
- obtener con el equipo de medición de posicionamientos un conjunto de observaciones: 2^n+1 posicionamientos en un punto de la estructura y en al menos una de las tres coordenadas espaciales, siendo n un número entero y mayor o igual que 7;
- dados los 2^n+1 posicionamientos, seleccionar la coordenada o coordenadas sobre las que se desea realizar el análisis;
- obtener el bloque de observaciones de posiciones;
- a partir del bloque de observaciones de posiciones, obtener el bloque de observaciones de desplazamientos;
- para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, aplicar la Transformada de Fourier;
- extraer los parámetros modales de interés;
- contrastar los resultados obtenidos con los calculados de forma teórica por el proyectista.



FIGURA 1

ES 2 653 651 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP 11/1986.

DESCRIPCIÓN

**METODO PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
MODALES REALES DE UNA ESTRUCTURA****CAMPO DE LA INVENCION**

5

La presente invención se incluye en el campo de la ingeniería civil y geomática, y más concretamente en el de la identificación de los parámetros modales (formas modales, frecuencias naturales y amortiguamiento) –parámetros que en sí son intrínsecos de la estructura- para la obtención de información sobre una estructura, tanto en fase de construcción como de explotación, más allá de la proporcionada por una simple prueba de carga estática, a partir únicamente de observaciones en la misma con equipos configurados para medir posicionamientos en intervalos de tiempo reducidos (iguales o menores que un segundo) y constantes, realizando el análisis espectral de estas observaciones para la identificación de los parámetros modales a través de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) utilizando el algoritmo matemático denominado Transformada de Fourier (FT) o Transformada Rápida de Fourier (FFT).

10
15**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

20

En la actualidad, la ingeniería civil está al servicio de la sociedad a través del desarrollo de infraestructuras que generalmente tienen su principal puntal en las propias estructuras. En este sentido, los viaductos cada vez son más largos, altos y esbeltos [1]. Dichas estructuras se diseñan y construyen para que sean perdurables, inamovibles, indeformables, resistentes y además estéticas, garantizando en todo momento la seguridad del usuario y la vida útil para la que son diseñadas.

25

Tanto en la fase de construcción como de explotación de una estructura convencional, ésta se caracteriza por constituir un conjunto elástico que se deforma frente a una sollicitación exterior (viento, empuje del terreno, etc.) o interior

30

(motivada por acciones térmicas, fenómenos de retracción, etc.), transmitiendo al modelo construido unos esfuerzos y tensiones que debe ser capaz de resistir dentro de los límites de seguridad preestablecidos [2]. Así pues, dado que tensión y deformación están relacionadas, el conocimiento de las deformaciones a través de la medida de los desplazamientos sirve como fuente de información esencial para controlar la resistencia del conjunto, así como para la toma de decisiones ante comportamientos previamente no esperados [3]. Por tanto, puede decirse que el propósito de los controles geométricos es el conocimiento del hipotético desplazamiento que pueden sufrir una serie de puntos solidarios a la estructura que se pretende controlar, de forma que si se evalúan los movimientos en esos puntos, se puede generalizar que la estructura ha sufrido también ese movimiento. Estos desplazamientos pueden determinarse mediante diversos instrumentales y métodos [4]: acelerómetros, estaciones topográficas, niveles, Sistemas de Posicionamiento Global [5], etc.

El control geométrico de estructuras tiene diferentes connotaciones en función de la naturaleza de las cargas a las que se somete la estructura, el momento o momentos en que se realizan los controles y el objeto del mismo. De este modo, se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- Si se analiza la naturaleza de las cargas a las que se somete la estructura, el control puede ser estático o dinámico. En el caso estático, las cargas a las que se somete a la estructura son constantes en el espacio y tiempo, mientras que en el caso dinámico las cargas son variables en el espacio y tiempo.
- Si se analiza el momento o momentos en los que se realiza el control, se pueden considerar dos estadios. Durante la fase de construcción, que en el caso de tratarse de una estructura evolutiva, irá variando sus características estructurales, o una vez finalizada la construcción, en cuyo caso se considera que la estructura está en fase de “explotación”, y por tanto no tiene variaciones estructurales salvo acciones externas severas.
- Si se analiza el objeto de un control, este puede perseguir determinar

simplemente desplazamientos o también aceleraciones. Estas últimas permiten establecer las formas modales a partir de su correspondiente análisis espectral.

5 En la actualidad se realizan controles geométricos en estructuras evolutivas durante la fase de construcción en las que se controla que la geometría de la estructura construida coincida con la proyectada, mediante la determinación de ubicaciones y desplazamientos de puntos notables de la propia estructura realizados con Estaciones Topográficas y Sistemas de Posicionamiento Global.

10 Al finalizar la construcción y previo a la fase de explotación es preceptivo realizar una serie de controles geométricos, denominados Pruebas de Carga, que persiguen garantizar el buen funcionamiento estructural antes de poner la propia estructura en servicio. Si la estructura tiene vanos con luces menores de 60 metros, el marco legal establece que es de obligado cumplimiento que la prueba de carga tiene que ser al menos en el Campo Estático (cargas estáticas y determinación de desplazamientos, determinados habitualmente con nivel topográfico, estación topográfica, GPS) y si
15 las luces son mayores de 60 metros, además tiene que ser en el Campo Dinámico (cargas en movimiento y determinación de vibraciones habitualmente con acelerómetros), con el objeto de establecer las frecuencias fundamentales y los modos de vibración de la estructura.

20 De todo lo anterior se deduce que el análisis modal de una estructura, actualmente sólo se lleva a cabo una vez finalizada la estructura y antes de ponerla en servicio, durante lo que habitualmente se denomina prueba de carga dinámica, y que el instrumental utilizado es el acelerómetro, con el que se obtienen los parámetros modales de la estructura a partir de sus observaciones. Este instrumental es de un uso excesivamente específico, lo que motiva que no sea utilizado convencionalmente durante la fase de construcción o evolutiva, con la consecuente pérdida de
25 información sobre la estructura en toda esta importante fase de la misma.

30 En la actualidad existen muchos estudios de medida de vibraciones llevados a cabo

con acelerómetros [6] realizados al inicio de la fase de explotación de la estructura (prueba de carga dinámica), y algunos, aunque muy pocos con GPS [7], [8], realizados en esa misma fase pero para pruebas de carga estática en las que se persigue el desplazamiento vertical exclusivamente y sin realizar el análisis espectral de la misma.

5

Durante la fase de construcción las estructuras generalmente disponen de una monitorización en la que se cuenta con equipos GPS, aunque únicamente para realizar controles geométricos rutinarios y estáticos en los que la técnica está muy consolidada [9]. Estos procedimientos para llevar a cabo controles geométricos con GPS han tenido una evolución muy grande debido a las investigaciones que han ido surgiendo en los últimos años, procesado de datos con filtros [10], GPS de bajo costo [11], determinación de amplitud media de pequeña escala [12], filtro de Chebyshev [13], filtro Kalman [14]. Sin embargo, en esta fase, no se lleva a cabo el control dinámico de la estructura, dado que el marco legal actual de la construcción no lo requiere, siendo obligatorio sólo en determinadas estructuras como se ha puntualizado y sólo una vez finalizada la construcción de la misma y durante su perceptiva prueba de carga.

10

15

20

La técnica que permite establecer el estado de una estructura basada en los datos vibrométricos se denomina “*Structural Health Monitoring*” (SHM) [15]. Esta técnica, se basa en que una estructura vibra continuamente según unas frecuencias y unas formas modales conocidas, que además se pueden medir.

25

El objeto de la vibrometría es la caracterización modal de la estructura, ya que en el caso de que la estructura esté afectada de alguna manera por un daño estructural, sus parámetros modales se verán afectados con respecto a los inicialmente previstos. Es decir, esta variabilidad permite identificar, cuantificar y localizar el posible daño a partir de los datos vibrométricos tomados a lo largo del tiempo en la estructura en estudio. Además, el análisis vibrométrico tiene la ventaja por un lado de ser un método que permite inspeccionar de forma global toda la estructura y la de ser una

30

técnica no destructiva.

Los métodos vibrométricos se pueden dividir en:

- 5 - *Experimental Modal Analysis (EMA)*: esta técnica se basa en producir una vibración conocida mediante un impacto (prueba de carga dinámica), para posteriormente medir la respuesta que, adecuadamente tratada mediante algoritmos ya sea en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, se caracteriza modalmente. Este método históricamente no ha tenido aplicación durante la construcción de puentes debido a la dificultad de producir la vibración descrita de forma que se puedan activar todos sus modos.
- 10 - *Operational Modal Analysis (OMA)*: esta técnica se basa en que una estructura vibra de forma natural, debido a efectos como el viento, tráfico, etc. según unas frecuencias y unas formas modales conocidas y únicas [16]. Éstas se pueden determinar sin tener que excitar la estructura artificialmente, y se basa únicamente en medidas en diferentes puntos de la estructura.
- 15 Tratando los datos obtenidos a través de los algoritmos adecuados se convierte esta información obtenida en indicadores relevantes con información sobre contextos de daño previsible, así como su evolución e importancia.

20 Ambas técnicas se caracterizan porque se pueden realizar en el dominio de la frecuencia o en el del tiempo [17]. Las que se desarrollan en el dominio de la frecuencia, parten de la toma de datos de la señal a lo largo del tiempo y la transforman al dominio de la frecuencia. En este campo se pueden distinguir principalmente dos técnicas, la primera *Frequency Domain Decomposition (FDD)*

25 que se basa en descomponer los valores singulares en los picos de los espectros de frecuencia, y la segunda *Polyreference Least Squares Complex Frequency Domain Method (p-LSCF)* que proporciona diagramas de estabilización de claros. Por otro lado en el dominio del tiempo se distingue entre la técnica de iteración por subespacios estocásticos conducido por las series temporales de la covarianza de los

30 registros tomados *Covariance-driven Stochastic Subspace Identification (SSI-COV)* y la técnica de iteración por subespacios estocásticos conducido por las series

temporales de datos (SSI-DATA).

5 Por tanto, una estructura, sobre todo si es muy flexible, suele tener una frecuencia fundamental, frecuencia que se diferencia en gran medida de las restantes. Esta frecuencia, y por ende el periodo, depende básicamente de la inercia, es decir, de la rigidez de la estructura, y de la masa de la misma. De este modo, a través de la frecuencia, se pueden hacer comprobaciones en las que intervenga la masa y la rigidez. Así como una prueba de carga estática sólo comprueba la rigidez y en concreto sólo la rigidez de la parte de la estructura que es la que tiene influencia de ese desplazamiento (por ejemplo, si se tiene una estructura con cuatro vanos, y la carga se encuentra en el segundo vano, lo que aporta es sólo la rigidez de ese vano), cuando se pasa a realizar un estudio vibrométrico, éste integra toda la estructura.

15 En la vibración de una estructura es muy importante tener en cuenta que el periodo es intrínseco a ella y que independientemente de la amplitud, el periodo siempre es constante. El amortiguamiento que tenga la estructura hará que baje la amplitud, pero el periodo se mantendrá inalterable, de aquí la potencia de tener datos acerca del periodo de la estructura.

20 De los párrafos anteriores, se puede concluir que en una estructura cada frecuencia tiene asociada una forma modal, con lo que un cambio en los parámetros modales está indicando un cambio en la respuesta de la estructura, como es función $f\left(\frac{k}{m}\right)$, habrán tenido que variar, o la rigidez o la masa o las condiciones de contorno, justificándose el hecho de que midiendo en pocos puntos de la estructura, se pueda conocer el comportamiento global de la estructura y no de un elemento aislado de la misma.

30 Durante la construcción de una estructura evolutiva, es decir, una estructura que se va construyendo por fases, fases en la que habitualmente la flexibilidad es alta, se considera muy interesante calcular o comprobar el periodo de vibración respecto al teórico, ya que se tendría una historia de todas estas fases y por lo tanto se tendría

caracterizada la bondad del modelo y su correcta ejecución, de tal manera que si en cualquier momento se produce una diferencia entre el periodo de vibración teórico y el real, se pueda conocer en tiempo real que existe alguna anomalía durante la construcción, por ejemplo, una sección con error de ejecución, una soldadura deficientemente ejecutada, un exceso de hormigón en la losa, etc., es decir se tendría un alto grado de control durante la ejecución.

Del mismo modo ocurre en la estructura en su fase de explotación, las observaciones continuas sobre la misma llevan al conocimiento en tiempo real de sus parámetros modales y por tanto la comparativa con los teóricos, de modo que cualquier alteración en los mismos lleva al conocimiento inmediato de cualquier daño sobre la estructura, por ejemplo, la rotura de un tirante, el daño sobre un pretensado, un accidente en la misma, etc.

REFERENCIAS

[1] Yi et al. "Full-scale measurements of dynamic response of suspension bridge subjected to environmental loads using GPS technology" (2010) *Science China Technological Sciences*, 53(2), pp. 469-479.

[2] Qian et al, "Monitoring the bridge's health status by gps and surveying robot" (2011) *Communications in Computer and Information Science*, 86 CCIS, pp. 192-198.

[3] Ogundipe et al, "GPS monitoring of a Steel box girder viaduct" (2014) *Structure and Infrastructure Engineering*, 10 (1), pp. 25-40.

[4] Wu and Casciati, "Local positioning systems versus structural monitoring: A review" (2014) *Structural Control and Health Monitoring*, 21 (9), pp. 1209-1221.

[5] Roberts et al, "Deflection and frequency monitoring of the Forth Road Bridge, Scotland, by GPS" (2012) *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering*, 165 (2), pp. 105-123.

[6] Pereira et al, "Port Infrastructure Control (Madeira Island, Portugal) through a Hybrid Monitoring System (GNSS and Accelerometers)" (2015) *Marine*

Georesources and Geotechnology, 13 p. Article in Press.

[7] Yigit, C.O. “Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring” (2016) *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7 (1), pp. 360-383.

5 [8] Lepadatu and Tiberius, 2014 “GPS for structural health monitoring - Case study on the Basarab overpass cable-stayed bridge” (2014) *Journal of Applied Geodesy*, 8 (1), pp. 65-85.

[9] Miao et al, “Damage alarming of long-span suspension bridge based on GPS-RTK monitoring” (2015) *Journal of Central South University*, 22 (7), pp. 2800-2808.

10 [10] Elnabwy et al, “Talkha steel highway bridge monitoring and movement identification using RTK-GPS technique” (2013) *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46 (10), pp. 4282-4292.

[11] Jo et al, “Feasibility of displacement monitoring using low-cost GPS receivers” (2013) *Structural Control and Health Monitoring*, 20 (9), pp. 1240-1254.

15 [12] Psimoulis and Stiros, “A supervised learning computer-based algorithm to derive the amplitude of oscillations of structures using noisy GPS and Robotic Theodolites (RTS) records” (2012) *Computers and Structures*, 92-93, pp. 337-348.

[13] Moschas and Stiros, “Measurement of the dynamic displacements and of the modal frequencies of a short-span pedestrian bridge using GPS and an accelerometer” (2011) *Engineering Structures*, 33 (1), pp. 10-17.

20 [14] Dai et all, “Integration of GPS and accelerometer for high building vibration monitoring” (2011) *Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock*, 30 (7), pp. 223-226+249.

[15] Wang et al, “Full-scale measurements and system identification on Sutong cable-stayed bridge during typhoon Fung-Wong” (2014) *Scientific World Journal*, 2014, art. no. 936832.

25 [16] Yi et al, “Recent research and applications of GPS-based monitoring technology for high-rise structures” (2013) *Structural Control and Health Monitoring*, 20 (5), pp. 649-670.

30 [17] Moschas and Stiros, “Dynamic deflections of a stifffootbridge using 100-Hz GNSS and accelerometer data” (2015) *Journal of Surveying*

Engineering, 141 (4), art. no. 04015003.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

5 La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un método para la determinación de los parámetros modales reales de una estructura tanto en fase de construcción como de explotación, a partir de observaciones sobre la misma con equipos configurados para medir posicionamientos, que comprende las etapas de:

10

- instalar en la estructura al menos un equipo de medición de posicionamientos de forma solidaria al punto de la estructura que se pretende controlar, estando dicho equipo configurado para medir posicionamientos en intervalos de tiempo constantes e iguales o inferiores a un segundo, tal que cada equipo de medición de posicionamientos monitoriza un único punto;

15

- configurar el equipo de medición de posicionamientos, con el objetivo de hacer observaciones con un intervalo de grabación constante;

20

- obtener con el equipo de medición de posicionamientos un conjunto de observaciones: 2^{n+1} posicionamientos en un punto de la estructura y en al menos una de las tres coordenadas espaciales X, Y, Z con un intervalo de grabación constante determinado, siendo n un número entero y mayor o igual que 7;

- dados los 2^{n+1} posicionamientos para cada al menos una coordenada espacial del conjunto de observaciones, seleccionar la coordenada o coordenadas sobre las que se desea realizar el análisis;

25

- obtener el bloque de observaciones de posiciones, consistente en un tramo homogéneo del conjunto de observaciones, y que está formado por 2^k+1 posicionamientos para cada componente o componentes seleccionadas, siendo k un número entero, mayor o igual que 7 y menor o igual que n;

30

- a partir del bloque de observaciones de posiciones, obtener el bloque de observaciones de desplazamientos, resultante de calcular la diferencia entre dos posiciones consecutivas del bloque de observaciones de posiciones, tal dicho bloque

de observaciones de desplazamientos está formado por 2^k valores para cada componente o componentes seleccionadas;

- para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, aplicar la Transformada de Fourier, obteniéndose para cada valor de desplazamiento un número complejo, así como su módulo y su amplitud;

- extraer a partir de los valores de números complejos, módulo y amplitud, los parámetros modales de interés;

- determinados los principales parámetros modales de la estructura, contrastar los resultados obtenidos con los calculados de forma teórica por el proyectista, con el objetivo de conocer el comportamiento real de la estructura frente al teórico;

tal que dependiendo del tipo de prueba al que se desee someter la estructura, puede ser conveniente realizar nuevos ensayos a partir de la etapa de obtención de un conjunto de observaciones.

En una posible realización, se instalan al menos dos equipos de medición de posicionamientos GPS.

En una posible realización, se obtienen 2^{n+1} posicionamientos en cada una de las tres coordenadas espaciales X, Y, Z.

En una posible realización, el conjunto de observaciones de 2^{n+1} posicionamientos tomados con intervalos constantes de tiempo, se representa gráficamente en un diagrama cartesiano cota (m) – tiempo (seg), obteniéndose el diagrama de la serie temporal, tal que dicho diagrama está configurado para analizar a priori y de forma somera la geometría de los posicionamientos y el análisis de la continuidad de la misma para su correcta división por tramos homogéneos de análisis.

Preferentemente, para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, se aplica el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier.

En una posible realización, el conjunto de datos amplitud-frecuencia se representa gráficamente en un diagrama amplitud – frecuencia de los datos observados.

En una posible realización, los parámetros modales de interés son las frecuencias de vibración, y a partir de éstas, se obtienen las frecuencias fundamentales de la estructura, siendo la frecuencia fundamental la de mayor amplitud.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

10

La figura 1 muestra un diagrama de flujo del proceso general para llevar a cabo la metodología de la invención.

15

La figura 2 muestra el diagrama de flujo que esquematiza las operaciones implícitas en el procesado de datos.

La figura 3 muestra el movimiento periódico o de vibración esperado del ejemplo propuesto.

20

La figura 4 muestra un diagrama frecuencia-amplitud en el que se puede observar cómo la frecuencia fundamental de vibración se manifiesta por encima del resto de frecuencias de vibración.

25

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

30

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

5

Además, se entiende por estructura evolutiva, aquella estructura que se construye por fases, y que por tanto sufre variaciones en sus características estructurales hasta que se acaba de construir definitivamente.

10

Además, se entiende por estructura en explotación, aquella estructura cuya construcción ya ha finalizado, y que por tanto tiene un comportamiento estructural muy parecido hasta el final de su vida útil, salvo que la misma tenga daños estructurales.

15

Además, en el contexto de la presente invención se entiende por ensayo, a la realización de al menos las etapas 3, 4 y 5 del método de la invención: la medición de desplazamientos en una estructura, y la realización, a partir de los mismos, de un análisis espectral que contraste sus parámetros modales con los teóricos, independientemente de la fase en la que se encuentre la estructura, construcción o explotación.

20

Además, en el contexto de la presente invención se entiende por conjunto de observaciones, a la obtención, con un equipo de medición de posicionamientos, de 2^n+1 posicionamientos en un punto de la estructura y en al menos una de las tres coordenadas, preferentemente en las tres coordenadas X, Y, Z, siendo n un número entero y mayor o igual que 7.

25

Además, en el contexto de la presente invención se entiende por bloque de observaciones de posiciones, a un tramo homogéneo del conjunto de observaciones, y que está formado por 2^k+1 posicionamientos en al menos una de las tres coordenadas, siendo k un número entero y mayor o igual que 7.

30

Además, en el contexto de la presente invención se entiende por bloque de observaciones de desplazamientos, al bloque resultante de calcular la diferencia entre dos posiciones consecutivas del bloque de observaciones de posiciones, tal que sobre dicho bloque de observaciones de desplazamientos se realiza el análisis espectral y está formado por 2^k valores en al menos una de las tres coordenadas

Además, se entiende por prueba de carga, una prueba preceptiva a la que se somete una estructura, que puede constar de uno o más ensayos, una vez finalizada la construcción de la estructura y antes de su puesta en servicio. En concreto, una prueba de carga estática es una prueba de carga en la que el conjunto de ensayos se realiza con cargas estáticas y cuya función principal es determinar el desplazamiento de una serie de puntos notables de la estructura en cada ensayo. Además, y en concreto, una prueba de carga dinámica es una prueba de carga en la que el conjunto de ensayos se realizan con cargas dinámicas y cuya función principal es determinar, los parámetros modales de la misma. En las pruebas de carga dinámicas, habitualmente se miden aceleraciones y a partir de éstas se obtienen los parámetros modales de la estructura, sin embargo lo que se pretende con este método es obtener dichos parámetros modales a partir de la medida de desplazamientos, no aceleraciones.

Las características del método de la invención, así como las ventajas derivadas de las mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia a los dibujos antes enumerados.

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativas de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

A continuación se describe el método para la determinación de los parámetros

modales reales de una estructura tanto en fase de construcción como de explotación, a partir de observaciones sobre la misma con equipos configurados para medir posicionamientos en intervalos de tiempo reducidos (iguales o menores que un segundo) y constantes, como por ejemplo equipos de Posicionamiento Global, mediante su análisis espectral a través de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) utilizando el algoritmo matemático denominado Transformada de Fourier (FT) o preferentemente utilizando el algoritmo matemático denominado Transformada Rápida de Fourier (FFT), así como las condiciones en las que se tiene que desarrollar.

La figura 1 muestra un diagrama de flujo del proceso general para llevar a cabo la metodología de la invención propuesta, en donde pueden distinguirse las siguientes etapas del método: 1) instalación del instrumental, 2) configuración del instrumental, 3) obtención del conjunto de observaciones, 4) procesado de datos y 5) contraste de resultados.

1) En primer lugar, el método de la invención procede a la instalación en la estructura de al menos un equipo de medición de posicionamientos, configurado para medir posicionamientos en intervalos de tiempo reducidos (iguales o menores que un segundo) y constantes, tal que cada equipo de medición de posicionamientos monitoriza un único punto.

En una posible realización, se instala un único equipo de Posicionamiento Global, preferentemente un GPS. Aunque solamente se determinen posicionamientos en el punto que se ubica el equipo, la posterior determinación de los parámetros modales es extrapolable al resto de la estructura y éste es otro de los grandes potenciales de la invención propuesta: el hecho de que midiendo en un solo punto se puedan establecer los parámetros modales de toda la estructura, como por ejemplo las frecuencias de vibración (en la vibración de una estructura es muy importante tener en cuenta que el periodo es intrínseco a ella, independientemente de la amplitud).

Preferentemente, se recomienda utilizar al menos dos equipos de Posicionamiento Global, para poder comprobar los resultados que se han obtenido, debido a que, aunque estén ubicados en puntos diferentes de la estructura se deben obtener los mismos resultados.

5

La instalación de dicho equipo debe realizarse de forma solidaria al punto de la estructura que se pretende controlar, de tal forma que el equipo de medición de posicionamientos sufra los mismos desplazamientos que la estructura. Esto se hace generalmente mediante cualquiera de los mecanismos de centrado forzoso que habitualmente se utilizan en topografía. Aunque el punto de medición dentro de la estructura puede ser cualquiera, se recomienda que sea un punto notable en cuanto a movimiento se refiere, es decir un centro de vano, la punta de lanzamiento de una viga, etc.

10

2) A continuación, el método de la invención requiere configurar el equipo de medición de posicionamientos, con el objetivo de hacer observaciones con un intervalo de grabación constante. Dicho intervalo de grabación depende fundamentalmente de los parámetros modales esperados (por ejemplo, la frecuencia de vibración) y éstos suelen ser conocidos a priori, dado que el proyectista de la estructura la suele calcular cuando diseña la estructura y/o el ensayo. Por tanto, hay que configurar el instrumental con el intervalo de grabación apropiado a los parámetros modales esperados, siendo un orden de magnitud apropiado para el intervalo de grabación un segundo o menos. En una posible realización, el intervalo de grabación es de 0,05 segundos, lo que permite determinar frecuencias menores de 10 Hz.

20

25

3) A continuación, se deben obtener con el equipo de medición de posicionamientos, 2^{n+1} posicionamientos en un punto de la estructura y en al menos una de las tres coordenadas espaciales X, Y, Z (preferentemente en las tres coordenadas), con un intervalo de grabación constante determinado, siendo n un número entero y mayor o igual que 7 (conjunto de observaciones).

30

Es decir, para cada al menos una coordenada se deben obtener al menos $128+1$ posicionamientos, y más preferentemente $512+1$ posicionamientos o un múltiplo superior. En este último caso ($512+1$ posicionamientos), con un intervalo de grabación de 0,05 segundos, cada bloque de observaciones debe durar al menos 26 segundos ($(512+1) \times 0.05$), aunque se recomienda observar 30 segundos consecutivos de forma que después se puedan descartar observaciones al inicio o final de la misma, dado que las observaciones deben ser consecutivas.

Cabe reseñar que se suele establecer un Sistema de Referencia local en el que el eje X se suele hacer coincidir con la dirección planimétrica y longitudinal de la estructura, el eje de la coordenada Y con la dirección planimétrica y transversal y el eje de la coordenada Z con la dirección altimétrica o de las alturas. Cada posicionamiento genera preferentemente una posición espacial X, Y, Z, con lo que el análisis modal se puede hacer en cualquiera de las tres componentes, predominando unos u otros en función de la tipología estructural.

4) Una vez realizadas las observaciones, se requiere el procesado de los observables, lo cual se puede hacer en tiempo real si la obra cuenta con los mecanismos de monitorización adecuados para poder llevar a cabo el volcado de los datos automático de los equipos (generalmente instalados en grandes obras). Si no se dispone de dichos equipos, el procesado de los datos hay que hacerlo en gabinete, donde disponer de los elementos de volcado de datos es mucho más sencillo (generalmente en obras de envergadura menor). En cualquier caso, un experto en la materia entenderá que el volcado de los datos queda fuera de la presente invención.

El objetivo del procesado de datos es la obtención de los parámetros modales de la estructura, lo cual se lleva a cabo de forma idéntica para cualquier ensayo. El procesado se realiza a través de un análisis espectral de los registros discretos obtenidos, y consiste en:

- Dados los 2^n+1 posicionamientos del conjunto de observaciones para cada coordenada espacial, se escoge la componente o componentes sobre las que

se desea realizar el análisis X, Y, Z (se recomienda que las tres componentes se hagan coincidir con la dirección transversal, longitudinal y altimétrica de la estructura). Preferentemente, el conjunto de observaciones de 2^{n+1} posicionamientos tomados con intervalos constantes de tiempo, se representa gráficamente en un diagrama cartesiano cota (m) – tiempo (seg), obteniéndose el diagrama de la serie temporal. Este diagrama, aunque no es esencial para el procesado, permite analizar a priori y de forma somera la geometría de los posicionamientos y el análisis de la continuidad de la misma para su correcta división por tramos homogéneos de análisis (bloque de observaciones de posiciones). Es decir, a continuación se obtiene el bloque de observaciones de posiciones, consistente en un tramo homogéneo del conjunto de observaciones, y que está formado por 2^k+1 posicionamientos para cada componente o componentes seleccionadas, siendo k un número entero, mayor o igual que 7 y menor o igual que n.

- A partir del bloque de observaciones de posiciones, se obtiene el bloque de observaciones de desplazamientos, resultante de calcular la diferencia entre dos posiciones consecutivas del bloque de observaciones de posiciones, tal dicho bloque de observaciones de desplazamientos está formado por 2^k valores para cada componente o componentes seleccionadas.
- A continuación, para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, se aplica el algoritmo de la Transformada de Fourier (FT) o, más preferentemente, el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), obteniéndose para cada valor de desplazamiento un número complejo (considerando cada valor y el conjunto de los valores anteriores) que permite determinar tanto su amplitud como su módulo. Al pasar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, se obtiene un conjunto de datos amplitud-frecuencia. Preferentemente, este conjunto de datos se representa gráficamente en un diagrama equivalente al anteriormente reseñado, amplitud – frecuencia de los datos observados.
- A continuación, del análisis de estos datos (o gráfica, si procede) se extraen los parámetros modales de interés. Por ejemplo, en un caso particular, a partir

de cada valor de módulo y amplitud se extraen las frecuencias de vibración, y a partir de éstas, las frecuencias fundamentales de la estructura, siendo la frecuencia fundamental la de mayor amplitud. El diagrama de flujo que esquematiza las operaciones implícitas en el procesado de datos se puede apreciar en la figura 2.

5

5) Determinados los principales parámetros modales (como por ejemplo, frecuencias de vibración) de la estructura, la última etapa del método pasa por contrastar los resultados obtenidos con los calculados de forma teórica por el proyectista. Dicho contraste permite conocer el comportamiento real de la estructura frente al teórico, calculado generalmente mediante un modelo en elementos finitos. Esta labor suele ser responsabilidad del proyectista de la prueba de carga o de la estructura y determina si la estructura responde adecuadamente o no. Como dato indicativo se puede decir que el valor máximo asumible entre la frecuencia real y la teórica no debe sobre pasar el 10%.

10

15

El número de ensayos (repetición de las etapas 3, 4 y 5) a realizar, depende del tipo de prueba al que se desee someter la estructura. Tal y como se ha descrito anteriormente, existen fundamentalmente dos posibilidades:

20

- Si se desea llevar a cabo un OMA (especialmente indicado para estructuras evolutivas en construcción y por tanto muy flexibles), dado que no existe ningún tipo de norma preestablecida, los conjuntos de observaciones a realizar (por ejemplo, de 30 segundos de duración) se llevan a cabo cada cierto tiempo, y siempre en cada fase de construcción diferenciada y con la estructura estabilizada, es decir sin elementos externos que alteren las formas modales correspondientes a la fase i en el momento de la medición, por ejemplo la entrada de un camión o una grúa, el movimiento de elementos pesados, hormigonados..., que alteren en ese periodo de tiempo la frecuencia propia de la estructura. Es decir, lo recomendable es hacer conjuntos de observaciones cada vez que se realice una operación constructiva severa o se produzca alguna incidencia reseñable en la propia estructura y, en todo caso, siempre que la estructura esté estabilizada tras la acción. Hay que destacar que de cada

25

30

conjunto de observaciones se podrán obtener posteriormente los parámetros modales (como por ejemplo, las frecuencias fundamentales) que, a su vez, permitirá realizar el seguimiento o control del proceso constructivo de la estructura, así como su historia de frecuencias.

5 - Si se desea llevar a cabo un EMA (especialmente indicado para estructuras en explotación poco flexibles, así como en las denominadas pruebas de carga), los ensayos a realizar se llevan a cabo siguiendo las prescripciones descritas por el calculista para cada uno de los ensayos que engloben la prueba de carga. En este caso se recomienda hacer un conjunto de observaciones que conlleve un periodo no inferior a 30 segundos de observación antes de introducir la carga en movimiento, otro durante el movimiento de la carga y un último una vez que se haya retirado la carga de la estructura y se haya estabilizado.

15 En definitiva, el método de la invención lleva a cabo controles geométricos dinámicos en estructuras, con equipos de medición de posicionamientos capaces de medir posicionamientos en intervalos de tiempo reducidos (iguales o menores a un segundo) y constantes, por ejemplo GPS, mediante la monitorización continua y su posterior obtención de los parámetros modales de la misma, con el objeto de contrastar la bondad del modelo así como la detección en tiempo real de cualquier problema que se pueda suscitar durante la fase de construcción o explotación de la estructura (p.ej. comportamiento o detección de posibles daños en la misma ante desastres naturales, accidentes sobre la misma, ...), con la posibilidad de conocer el estado de la estructura y poder actuar en tiempo real ante éstas posibles alteraciones. Además, permite disponer de una historia de la propia estructura en cuanto a su comportamiento estructural real. Todo ello, y preferentemente, con la ventaja adicional de realizarlo con un instrumental que suele utilizarse en el control geométrico ordinario, como equipos GPS, que por tanto no encarece el proceso, constituyendo una operación que en la actualidad no se realiza: comprobaciones dinámicas sobre una estructura tanto en fase de construcción como en fase de explotación, realizadas de forma sistemática con instrumental GPS y por tanto a

partir de los datos vibrométricos reales, aportando información completa sobre el comportamiento dinámico de la estructura, identificando sus parámetros modales (formas modales, frecuencias naturales y amortiguamiento).

5 La metodología propuesta pasa por utilizar equipos de medición de posicionamientos y no otro instrumental topográfico porque su precisión y capacidad de grabar con intervalos de tiempo constante, permite realizar un análisis espectral de estos registros discretos obtenidos [binomio tiempo-componente espacial (X, Y o Z)] a través de la Transformada Discreta de Fourier (DFT) utilizando preferentemente el
10 algoritmo matemático denominado Transformada Rápida de Fourier (FFT).

El método de la invención presenta las siguientes fortalezas:

- Este tipo de controles se pueden llevar a cabo durante la construcción debido
15 a que la gran flexibilidad de la estructura, relacionada con frecuencias bajas (periodos altos), hace que sea factible medir desplazamientos donde casi siempre se han medido velocidades y aceleraciones. De este modo, disponer de estos observables en fase de construcción permite una comprobación de las secciones en situaciones extremas. Además aportan una mayor garantía de seguridad y calidad
20 estructural, sin coste adicional, dado que el instrumental utilizado se puede incorporar a las actividades topográficas a desarrollar durante la construcción de la propia estructura.

- El método propuesto abre un nuevo campo dentro de los análisis modales
25 operacionales, debido a que se puede llevar a cabo el análisis de toda la estructura sin instrumental específico como pueden ser los acelerómetros y otros. En este tipo de trabajos, tradicionalmente se han medido aceleraciones en puntos conocidos de la estructura a lo largo de un tiempo conocido. Este nuevo desarrollo propone medir desplazamientos frente a las tradicionales aceleraciones. Además el método
30 propuesto no se considera destructivo y por lo tanto es totalmente inocuo para la estructura. Al aprovechar las cargas ambientales (viento...) no hay que incorporar

ningún elemento excitador externo, que incrementaría el coste del operativo y podría sobrecargar la estructura.

5 - La obtención de datos dinámicos en el dominio del tiempo, es decir, a partir de la obtención de datos de desplazamiento, tiene ventajas frente a la forma tradicional de realizarlo, mediante la medida de aceleraciones. A priori se evita la doble integración necesaria desde las aceleraciones, consiguiendo más precisión, evitando el trabajo con acelerómetros. Además, la monitorización se realiza de forma continua y la información se puede procesar en tiempo real.

10 - La metodología propuesta permite hacer una comprobación de cada una de los segmentos o fases de la estructura a medida que se va ejecutando y por tanto se tiene conocimiento del grado de bondad de las mismas. Al poder conocer y comprobar, como estructura evolutiva, en cada una de las fases el periodo de vibración respecto al teórico, se tiene una historia de todas las fases constructivas y por lo tanto se tiene caracterizada la bondad del modelo y de la correcta ejecución de todas esas fases constructivas, de tal manera que si en cualquier momento se produce una diferencia entre el periodo de vibración teórico y el real, se sabe en tiempo real que existe alguna anomalía durante la construcción, por ejemplo, una sección con error de ejecución, una soldadura deficientemente ejecutada, un exceso de hormigón en la losa, etc., es decir se tiene un alto grado de control durante la ejecución.

15

20

25 - Las medidas que se hacen con cargas medioambientales (OMA), no precisan introducir vibraciones forzadas. Por lo tanto, es fundamental saber que de este modo se puede medir en cualquier momento y no estar condicionados a la ejecución de la acción externa, que ocasionalmente incluso pudieran producir algún tipo de daño sobre la misma.

30 Los resultados mostrados validan plenamente el método de la invención, que equivale a realizar una prueba dinámica de cada uno de los segmentos o fases de la estructura, sin más datos ni más coste que los derivados del empleo de los equipos de

medición de posicionamientos. Permitiendo además determinar de forma simultánea el control geométrico y estático de la estructura sin tener que recurrir a Estación Topográfica y Acelerómetro, pero obteniendo la información adicional necesaria para llevar a cabo el OMA (o el EMA en su caso). Esto podría evitar además, los
5 costes de tener que llevar a cabo las pruebas de carga dinámica al finalizar la obra, dado que se hace durante la fase de construcción, con el mismo instrumental con el que se lleva a cabo el control geométrico.

En resumen, la importancia del conocimiento en tiempo real de los parámetros modales de una estructura ya sea en su fase constructiva como en fase de explotación da un importante y fundamental valor añadido a la calidad global de construcción de la estructura, así como su estado real durante su vida útil, adquiriendo este aspecto más interés y relevancia si se puede realizar exclusivamente a partir de observación de posicionamientos con sistemas de posicionamiento global como pueda ser GPS.
10

EJEMPLO

15

A continuación se presenta como ejemplo de la invención un caso práctico para la determinación de la frecuencia fundamental en un viaducto cuyo proceso constructivo se realiza por la técnica denominada avance en voladizo mediante
20 dovelas, y en el que se ha efectuado un OMA. Si bien es un caso particular de la invención propuesta, el método no pierde generalidad con lo expuesto, incluso con las peculiaridades del ejemplo propuesto. Se puede destacar que el movimiento periódico o vibración esperada es el que se puede apreciar en la figura 3.

1) En primer lugar, el método de la invención procede a la instalación en la estructura de un receptor GPS en el carro de avance de la dovela, tal y como se puede apreciar en la figura 3. Dicho receptor GPS se sitúa sobre un sistema de centrado forzoso y solidario con la viga, y por ende con la estructura.
25
30

2) A continuación, el método de la invención requiere configurar el receptor GPS, con el objetivo de hacer observaciones con un intervalo de grabación constante. Dicho intervalo de grabación depende fundamentalmente de la frecuencia de vibración esperada, y a la vista de las frecuencias esperadas el receptor GPS se configura para grabar posiciones cada segundo. En este sentido, se selecciona en este ejemplo un intervalo de grabación cercano al límite establecido, con el objeto de justificar dicho límite y recordando que los equipos actuales permiten grabar datos incluso a 0,05 segundos.

3) A continuación se obtienen 1024+1 posicionamientos para cada una de las tres coordenadas espaciales X, Y, Z con el receptor GPS durante el proceso de lanzamiento.

4) Una vez realizadas las observaciones, se requiere el procesado de los observables:

- Dados los 1024+1 posicionamientos del conjunto de observaciones para cada coordenada espacial, se selecciona la componente sobre la que se desea realizar el análisis, siendo en este ejemplo la cota Z medida por el GPS en cada instante del izado de la dovela en la punta de lanzamiento. Estos 1024+1 posicionamientos de la coordenada Z, se representan gráficamente en un diagrama cartesiano cota (m) – tiempo (seg), obteniendo el diagrama de la serie temporal.

La frecuencia de muestreo viene dada por la fórmula:

$$f_s = \frac{D}{t} = 1 \text{ dato/segundo}$$

Donde:

D: número de datos totales observados (1024+1)

t: tiempo en segundos de lectura (segundos)

A continuación se obtiene el bloque de observaciones de posiciones, consistente en un tramo homogéneo (fragmento más representativo) del

conjunto de observaciones de la coordenada Z, y que está formado por 128+1 posicionamientos

- A partir del bloque de observaciones de posiciones, se obtiene el bloque de observaciones de desplazamientos, resultante de calcular la diferencia entre dos posiciones consecutivas del bloque de observaciones de posiciones, tal dicho bloque de observaciones de desplazamientos está formado por 128 valores de la componente Z.
- A continuación, para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, se aplica el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), obteniéndose para cada valor de desplazamiento un número complejo asociado a cada cota del tablero obtenida en la observación. En la tabla 1 se muestran los valores resultantes de aplicar la FFT a 6 valores de desplazamiento comprendidos en el conjunto total de 128 valores.

Desplaz.	Transformada Fourier
-0,005554688	0,687211698542176+0,17633980507959i
0,018445312	0,306628690746075+0,341121800460852i
0,020445312	-2,02073773401911E-002-0,872274072107332i
0,020445312	-1,06700640474259+0,783382596109652i
0,012445312	-2,64916838739672E-003+0,170833987202914i
-0,001554688	0,906345124207238+0,526483286687801i
-0,012554688	-0,305849618439517-1,87803717621681i

Tabla 1

A partir de este número de complejo, se determina su amplitud y su módulo de éste. En la tabla 2 se muestran los valores de módulo de los números complejos obtenidos a partir de los datos de la tabla 1.

Módulo
0,002771389
0,00179171
0,003408235
0,005170717
0,0006674
0,004094388
0,00743273

Tabla 2

5 A continuación, del análisis de estos datos se extraen las frecuencias de vibración, y a partir de éstas, las frecuencias fundamentales de la estructura, siendo la frecuencia fundamental la de mayor amplitud. La frecuencia de vibración viene dada por la fórmula:

10
$$n * fs/sa$$

Donde n representa el tiempo, es decir el número de posiciones hasta llegar a la que da lugar al modo de vibración que se está estudiando y correspondiente a los n valores anteriores, y sa es el número de datos, siendo en este caso 15 igual a 128. En la tabla 3 se muestran los valores de frecuencia de vibración obtenidos a partir de los datos de las tablas 1 y 2.

Frecuencia
0,01171875
0,013671875
0,015625
0,017578125
0,01953125
0,021484375
0,0234375

Tabla 3

20 En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos para los 25 primeros valores, de los 128 considerados, dado que el resto de resultados no aportan mayor información al estar la frecuencia fundamental de vibración incluida en este primer grupo.

ANALISIS DE FOURIER PARA SERIE DISCRETA DE DATOS

Numero de datos de la serie: 128
 Media aritmética de la serie: 84,139
 Fecha: 27/9/14

Frecuencia:	0,086	Hz
Periodo:	11,6	seg

Época inicial: 10:48:41
 Época final: 10:51:02

Tiempo	Época	Serie	Desplaz	Transformada Fourier	Frecuencia	Módulo	Periodo
0	10:48:41	84,1341	-0,004	0	0,000	0,000	
1	10:48:42	84,1531	0,015	0,121277+1,056599i	0,008	1,064	128,000
2	10:48:42	84,1531	0,015	0,415996+0,375282i	0,016	0,560	64,000
3	10:48:44	84,1891	0,051	-0,235241+0,289589i	0,023	0,373	42,667
4	10:48:45	84,1901	0,052	0,640416+0,256976i	0,031	0,690	32,000
5	10:48:46	84,1831	0,045	0,005160-0,023886i	0,039	0,024	25,600
6	10:48:47	84,1691	0,031	0,559155-0,050044i	0,047	0,561	21,333
7	10:48:48	84,1451	0,007	0,483878-0,326074i	0,055	0,583	18,286
8	10:48:49	84,1161	-0,022	0,080813-0,205169i	0,063	0,221	16,000
9	10:48:50	84,0651	-0,073	0,463435-0,272083i	0,070	0,537	14,222
10	10:48:52	84,0501	-0,088	0,008664-0,056552i	0,078	0,057	12,800
11	10:48:53	84,0521	-0,086	-2,194549-0,644718i	0,086	2,287	11,636
12	10:48:54	84,0661	-0,072	-0,298321+0,137722i	0,094	0,329	10,667
13	10:48:55	84,0841	-0,054	-0,090027-0,009940i	0,102	0,091	9,846
14	10:48:56	84,1101	-0,028	-0,032487-0,029453i	0,109	0,044	9,143
15	10:48:57	84,1361	-0,002	-0,155647+0,068551i	0,117	0,170	8,533
16	10:48:58	84,1561	0,018	-0,039355+0,056213i	0,125	0,069	8,000
17	10:48:59	84,1651	0,027	0,003404-0,063435i	0,133	0,064	7,529
18	10:49:00	84,1691	0,031	-0,013620+0,018186i	0,141	0,023	7,111
19	10:49:02	84,1431	0,005	0,019736+0,018305i	0,148	0,027	6,737
20	10:49:03	84,1241	-0,014	0,011388-0,008699i	0,156	0,014	6,400
21	10:49:04	84,1061	-0,032	0,029137-0,030033i	0,164	0,042	6,095
22	10:49:05	84,0951	-0,043	0,010556+0,038030i	0,172	0,039	5,818
23	10:49:06	84,0911	-0,047	-0,001346-0,031340i	0,180	0,031	5,565
24	10:49:07	84,0961	-0,042	-0,020625-0,148023i	0,188	0,149	5,333
25	10:49:08	84,1111	-0,027	-0,071046+0,014557i	0,195	0,073	5,120

5

Tabla 4

10

Representando gráficamente la tabla 4 (figura 4), se puede ver como hay una frecuencia fundamental de vibración que se manifiesta por encima del resto, y que corresponde a la amplitud de 2,287, siendo por tanto el período de 11.6 segundos y por tanto 0.086 Hz de frecuencia.

15

5) Este valor obtenido, se contrasta con la frecuencia de vibración fundamental calculada por el proyectista, que en este caso se corresponde con un periodo de 12.3 segundos. Es decir, una frecuencia de 0.081 Hz.

Dado que la diferencia de ambas es menor del 10%, se puede asegurar que el proceso constructivo ha seguido lo proyectado, con la consiguiente ganancia en seguridad, proceso que a día de hoy no se realiza.

REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación de los parámetros modales reales de una estructura, en la cual dichos parámetros modales son conocidos de forma teórica, para definición del comportamiento real de dicha estructura mediante contraste entre ambos parámetros, estando dicho método caracterizado porque comprende la siguiente secuencia de actuación:

- vinculación solidaria a un punto de la estructura de al menos un equipo de medición de posicionamiento, estando dicho equipo configurado para medición de posicionamientos en intervalos de tiempo constantes e iguales o inferiores a un segundo y en al menos una de las tres coordenadas espaciales;

- configuración del equipo de medición de posicionamiento para la realización de observaciones de posicionamiento del punto de la estructura con un intervalo de grabación constante;

- obtención de un conjunto de observaciones de posicionamiento del punto de la estructura 2^n+1 para al menos una de las tres coordenadas espaciales, en el que n es un número entero mayor o igual que 7;

- selección de la coordenada o coordenadas a analizar;

- obtención de un bloque de observaciones de posiciones, siendo dicho bloque de observaciones de posiciones consistente en un tramo homogéneo del conjunto de observaciones, y estando formado por 2^k+1 posicionamientos para la coordenada o coordenadas seleccionadas, en el que k es un número entero, mayor o igual que 7 y menor o igual que n;

- obtención de un bloque de observaciones de desplazamientos, siendo dicho bloque de observaciones resultante de la diferencia entre dos posiciones consecutivas del bloque de observaciones de posiciones, en el que el bloque de observaciones de desplazamientos está formado por 2^k valores para cada componente o componentes seleccionadas;

- aplicación de la Transformada de Fourier para cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, para obtención de un número complejo, un módulo y una amplitud;

- extracción de los parámetros modales reales a partir de los valores de números complejos, módulo y amplitud; y

- contraste de los parámetros modales reales con los parámetros modales teóricos para determinación del comportamiento de la estructura.

5

2. Método para la determinación de los parámetros modales reales de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el equipo de medición de posicionamiento es un equipo GPS del tipo de los capaces de almacenar mediciones con un periodo igual o menor a 1 segundo.

10

3. Método para la determinación de los parámetros modales reales de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque a cada valor de desplazamiento del bloque de observaciones de desplazamientos, se aplica el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier.

15

4. Método para la determinación de los parámetros modales reales de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los parámetros modales son las frecuencias de vibración, siendo la frecuencia fundamental la de mayor amplitud.

20



FIGURA 1

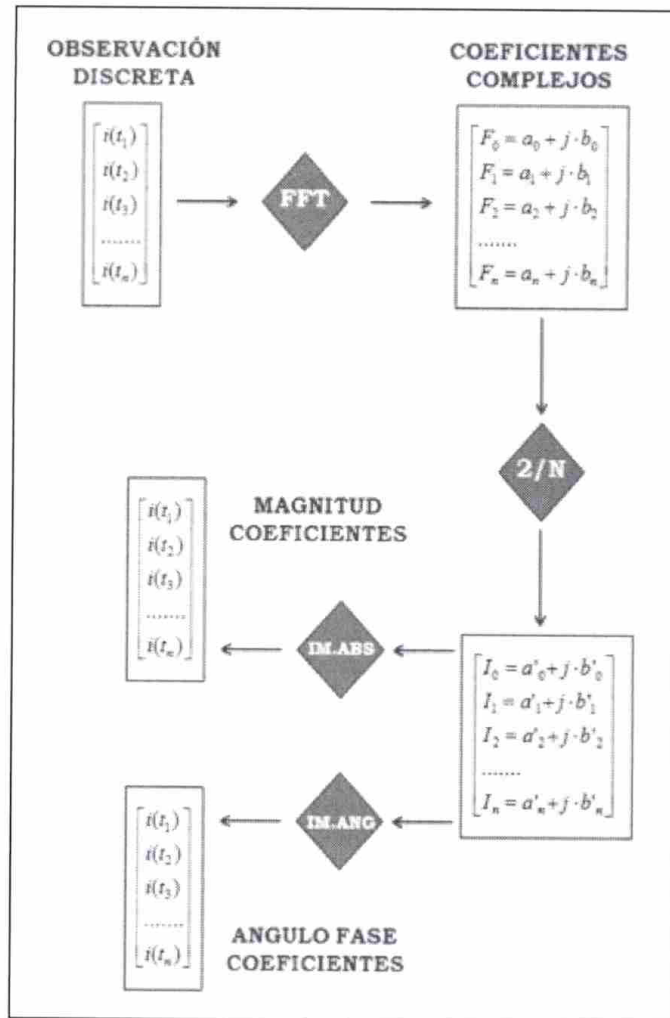


FIGURA 2

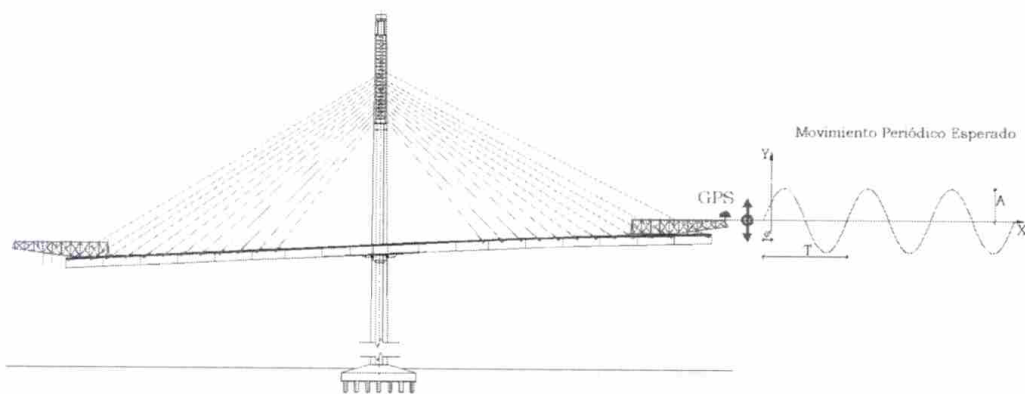


FIGURA 3

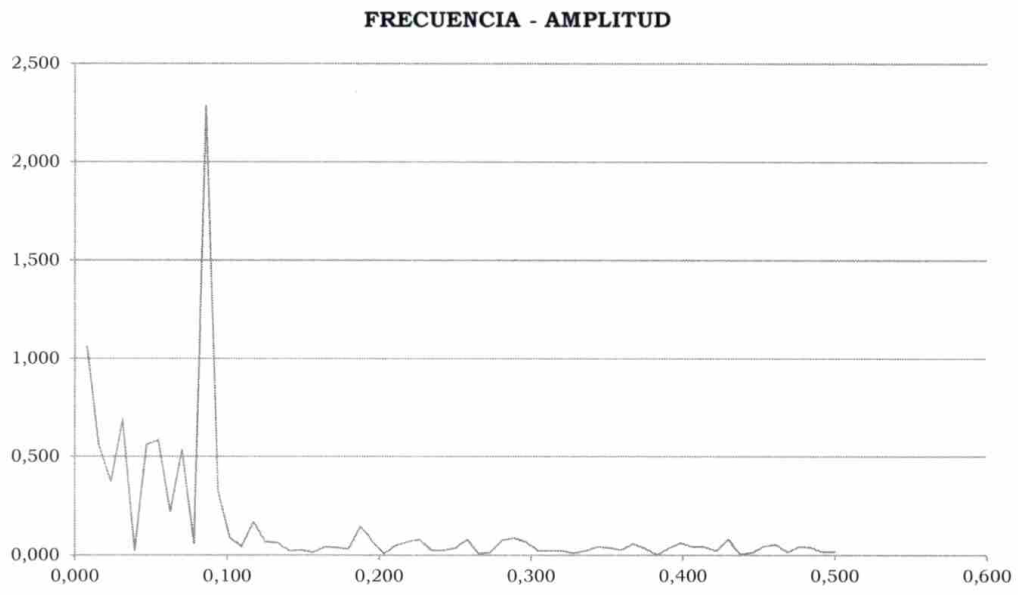


FIGURA 4



- ②① N.º solicitud: 201700442
②② Fecha de presentación de la solicitud: 29.03.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	DE 202009006690U U1 (MEYER AXEL et al.) 24/09/2009, [0001]-[0019]	1-4
A	US 2015233786 A1 (PIEPER JOSEPH J et al.) 20/08/2015, [0001]-[0017]	1-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

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

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

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

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

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.01.2018

Examinador
G. Madariaga Domínguez

Página
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01N29/46 (2006.01)

G01H13/00 (2006.01)

G01M7/00 (2006.01)

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

G01N, G01H, G01M

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

WPI, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.01.2018

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-4	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-4	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	DE 202009006690U U1 (MEYER AXEL et al.)	24.09.2009
D02	US 2015233786 A1 (PIEPER JOSEPH J et al.)	20.08.2015

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El estado de la técnica más cercano se encuentra en el documento D01, que pertenece al mismo sector técnico y presenta un método para determinar la estabilidad de un mástil clavado en tierra a partir de las medidas de sus parámetros modales (modal deformation, modal displacement and characteristic frequency).

Si bien en una primera aproximación, el método que se describe en D01 podría ser asimilable al que se presenta en la solicitud, en una lectura más detenida del mismo se observan algunas importantes diferencias entre ellos:

- En D01 no se especifica que las medidas de posicionamiento se hagan a intervalos contantes y menores de un segundo
- En D01 se emplean acelerómetros (acceleration sensors) para medir las vibraciones de la estructura
- En D01 se excita artificialmente la estructura como paso previo a la toma de medidas (to slightly set the mast to be examined in vibrations)
- En D01 se emplea un dispositivo de posicionamiento GPS, pero únicamente para tener una medida de la posición del mástil o de la distancia entre mástiles adyacentes

En base a dichas diferencias se puede afirmar que las etapas del método propuesto por el solicitante contienen características técnicas que no se hallan en el estado de la técnica, y por lo tanto se concluye que, tanto la reivindicación principal como las dependientes presentan novedad (Artículo 6 LP) y actividad inventiva (Artículo 8 LP).

Por otra parte, D02 se refiere a un sistema de medida ultrasónica que cuenta con un equipo de posicionamiento (GPS equipment may be included as part of the measurement device) entre sus componentes. Sin embargo, dicho equipo no toma medidas de posición a intervalos constantes, por lo que su uso difiere del planteado en la solicitud.