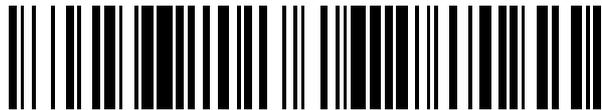


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 745**

21 Número de solicitud: 201431966

51 Int. Cl.:

G01M 17/10 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

30.12.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.06.2016

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Parque Científico Universidad Carlos III Leganés
Tecnológico Avda. Gregorio Peces Barba, 1
28911 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GARCÍA PRADA, Juan Carlos;
CASTEJÓN SISAMÓN, Cristina y
GÓMEZ GARCÍA, María Jesús**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

54 Título: **Método y sistema para la detección de defectos de ejes ferroviarios en ensayos a fatiga**

57 Resumen:

Método y sistema para la detección de defectos de ejes ferroviarios en ensayos a fatiga.

La presente invención se refiere a un método y un sistema para detectar un defecto en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga. El método comprende los pasos de: adquirir, mediante al menos un sensor, una señal de tipo vibratorio del eje ferroviario; calcular, en un procesador, la energía de la señal vibratoria adquirida en una banda de frecuencias determinada; comparar, en el procesador, la energía calculada con un umbral de energía establecido previamente; determinar que se ha detectado un fallo en el eje en caso de que la energía calculada supere el umbral de energía preestablecido; y detener el ensayo a fatiga en función de la detección de un defecto.

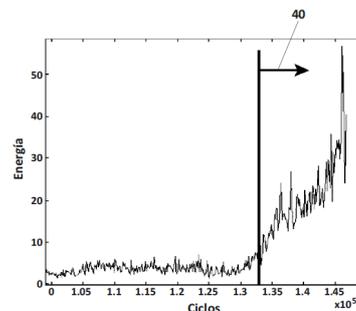


FIG. 4

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para la detección de defectos de ejes ferroviarios en ensayos a fatiga

5 **Objeto de la invención**

La presente invención tiene aplicación en el campo de la defectología y la prevención de daños. Más específicamente, tiene aplicación en la detección prematura de fisuras durante los ensayos a fatiga de ejes ferroviarios y la posibilidad de establecer así un criterio de parada en una máquina de ensayo a fatiga.

10

Antecedentes de la invención

Actualmente existen multitud de estándares regulando el diseño, fabricación y mantenimiento de ejes ferroviarios debido a que los ejes son uno de los elementos más importantes en un vehículo de ferrocarril en términos de seguridad.

15

Previamente al montaje de un eje en una máquina ferroviaria, éste ha sido sometido a estrictos controles que incluyen ensayos a fatiga para verificar si efectivamente los límites de fatiga del eje superan determinados valores especificados en la normativa. Los ensayos a fatiga se pueden realizar en máquinas donde el eje rota, o más frecuentemente, en máquinas de ensayo de resonancia tipo Sincotec donde las condiciones de entorno están completamente controladas. Para ambos tipos de máquinas, los ensayos pretenden verificar habitualmente si aparece un defecto en el eje antes de 10^7 ciclos, por lo que es necesario establecer un criterio de parada por seguridad en caso de que aparezca una grieta durante el test. En el caso de máquinas de ensayo de resonancia, se suele determinar que el eje se ha agrietado cuando la frecuencia del ensayo cae más de 0,5 Hz.

20

25

30

Actualmente, durante un ensayo a fatiga de un eje ferroviario, la detección de defectos, o el criterio de parada antes de llegar a los 10^7 ciclos, se basa en establecer niveles de alarma para el desplazamiento del centro del eje, temperatura y variación de la carga aplicada. Sin embargo, los criterios de parada muestran una baja sensibilidad a las fisuras y cuando la máquina se detiene, los defectos son ya muy grandes.

Por otro lado, en el estudio de las señales vibratorias que se pueden adquirir de un eje bajo análisis, es importante destacar las modernas técnicas de procesamiento de señales disponibles hoy en día como por ejemplo, la transformada wavelet (WT) y especialmente una de sus evoluciones, la llamada *transformada wavelet packet* o *transformada en paquetes wavelet* (WPT), la cual permite la descomposición discreta de todas las bandas de frecuencia de la señal. Esta herramienta permite descomponer la señal obteniendo información tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia. Debido a esto es especialmente útil para detectar fenómenos transitorios y discontinuidades en las señales que otras herramientas, como la transformada rápida de Fourier (FFT) no detectan. En definitiva, esta herramienta es adecuada para trabajar con señales de tipo no estacionario como las que normalmente se obtienen de maquinaria rotativa.

El estado del arte ofrece algunas soluciones para la detección de defectos en ejes basadas en herramientas clásicas que únicamente trabajan en el dominio de la frecuencia, como la FFT. El análisis de estas señales se reduce al primer y segundo armónico de la velocidad de giro, que son señalados como buenos indicadores de la presencia de un defecto. Sin embargo, estos métodos han mostrado poca efectividad en la práctica en trabajos experimentales en determinadas condiciones de carga y velocidad. Quizás también por la presencia de otros defectos como desalineamiento o desequilibrio, que también afectan a estas frecuencias.

Por otra parte, en los últimos años, el interés de la diagnosis de defectos en ejes ha cobrado mucho interés, sin embargo, la mayoría de técnicas propuestas en los últimos años utilizan señales obtenidas de modelos, y raramente se incluye el proceso inverso de identificación de defectos, por lo que su aplicación práctica en el terreno experimental es más que dudosa.

Según lo expuesto anteriormente, las invenciones hasta ahora conocidas por el estado de la técnica para la detección de fisuras en ejes no han mostrado efectividad en la práctica. Concretamente, dentro de las orientadas a ensayos de fatiga de ejes ferroviarios, existen técnicas que realizan la función del objeto de invención, pero de una manera poco fiable y poco eficiente debido a que no logran detectar a su tiempo las grietas que aparecen en un eje ferroviario, corriendo el riesgo de un fallo catastrófico del eje y la máquina. El estado del arte demanda por tanto una evolución en estas técnicas que permita realizar esta detección de defectos en ejes ferroviarios que, sometidos a un análisis a fatiga como el comentado anteriormente, pueda detectarlos de forma incipiente y reducir así tanto los gastos de

tiempo y energía, como el riesgo de fallo catastrófico del eje con los posibles daño que puede implicar para la máquina y su entorno.

Descripción de la invención

- 5 La presente invención resuelve los problemas comentados anteriormente proponiendo un método que permite la detección de fallos en eje ferroviarios con una antelación considerable respecto a los métodos tradicionales. Concretamente, la presente invención se refiere a un método para detectar un defecto en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga, que comprende los pasos de:
- 10 - adquirir, mediante al menos un sensor, una señal de tipo vibratorio del eje ferroviario;
- medir, en un procesador, la energía de la señal vibratoria adquirida en una cierta banda de frecuencias;
- comparar, en el procesador, la energía medida con un umbral de energía
- 15 establecido previamente;
- determinar que se ha detectado un defecto en el eje en caso de que la energía medida supere el umbral de energía preestablecido;
- detener el ensayo a fatiga en función de la detección de un defecto.
- 20 El eje ferroviario, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, puede rotar en un banco de pruebas, donde pueden controlarse las condiciones del test cómodamente. Alternativamente el eje puede estar sometido a una máquina de resonancia, donde el eje no necesita rotar.
- 25 La detección de un fallo implica que se detenga el test de fatiga en curso, ya que se establece un criterio de parada para el test de fatiga en función de la detección de una grieta. De esta forma, el test puede detenerse con una considerable antelación comparado con los métodos tradicionales.
- 30 El umbral de energía puede establecerse de acuerdo a unos cambios de energía relativos, respecto al valor de eje sano, detectados para la cierta banda de frecuencias en ejes defectuosos. De esta forma, el análisis de un eje defectuoso revela cambios en la energía medida en una cierta banda de frecuencias, los cuales quedan registrados para establecer

así un umbral límite para los siguientes ejes ferroviarios a estudiar. En concreto un eje defectuoso implica un aumento de energía detectable en la cierta banda de frecuencias.

De acuerdo a una de las realizaciones de la invención, se contempla determinar una primera frecuencia crítica del eje ferroviario. Adicionalmente, la banda de frecuencias bajo análisis se centra en los subarmónicos de la primera frecuencia crítica del eje.

En una realización de la invención, el subarmónico en el que se centra en el análisis, consiste en el tercer subarmónico de la primera frecuencia crítica del eje. Los resultados experimentales han revelado que es el que mejores resultados ofrece en cuanto a detección prematura de defectos.

Esta frecuencia en concreto es la que ha revelado en las pruebas experimentales ser una evidencia sorprendente para la predicción de defectos. Se puede anticipar la detección de un defecto hasta 150.000 ciclos frente a los métodos convencionales, lo que implica considerables beneficios en cuanto a tiempo, energía y reducción del riesgo de fallo catastrófico del eje.

De acuerdo a una de las realizaciones de la invención, se contempla también analizar las energías en los armónicos de la velocidad de rotación del eje ferroviario.

La presente invención contempla aplicar una transformada wavelet en paquetes a la señal adquirida y, posteriormente, calcular la energía de la señal a partir de la transformación aplicada. La energía se distribuye en paquetes que corresponden a distintas bandas de frecuencia de la señal adquirida.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema para detectar automáticamente fallos en un eje ferroviario, el sistema está caracterizado por que comprende:

- un sensor configurado para adquirir una señal de tipo vibratorio del eje rotatorio;
- un procesador, en comunicación con el sensor, configurado para obtener medidas de energía de dichas señales, comparar las energías medidas con un umbral de energía establecido previamente, determinar que se ha detectado un defecto en el eje en caso de que la energía medida supere el umbral de energía preestablecido; y detener el ensayo a fatiga en función de la detección de un defecto en el eje.

El sistema de la invención contempla, de acuerdo a una de las realizaciones, un eje que está siendo sometido a un test de fatiga donde se hace rotar el eje ferroviario en un banco de pruebas.

- 5 Alternativamente, el sistema de la invención contempla un eje que está siendo sometido a un test de fatiga donde el eje está siendo sometido a una máquina de ensayo de resonancia.

El procesador puede estar además configurado para detectar aumentos de energía en una banda de frecuencia correspondiente a los subarmónicos de la frecuencia crítica del eje y a
10 los armónicos de la velocidad de giro.

En una de las realizaciones de la invención, se contempla priorizar ciertos subarmónicos donde se ha detectado que los efectos son más ventajosos, concretamente el tercer subarmónico de la frecuencia crítica del eje.

15

Un último aspecto de la invención se refiere a un programa informático que comprende medios de código de programa adaptados para realizar las etapas del método de la invención, cuando dicho programa se ejecuta en un procesador de propósito general, un procesador de señal digital, una FPGA, un ASIC, un microprocesador, un microcontrolador,
20 o cualquier otra forma de hardware programable.

Así pues, la presente invención propone por tanto, basándose en resultados experimentales, la detección prematura de defectos en ejes sometidos a test de fatiga mediante la monitorización de energía en determinadas bandas de frecuencia relacionadas con
25 armónicos de la velocidad de giro y con frecuencias críticas del eje, las cuales resultan especialmente reveladoras para el tercer subarmónico de la primera frecuencia crítica del eje. La monitorización de la energía en esta banda de frecuencias permite la detección de un defecto aproximadamente 150.000 ciclos antes que los métodos convencionales, ahorrando tiempo, energía y reduciendo riesgos para la máquina y su entorno, lo que
30 supone un avance considerable para su campo técnico.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una
35 mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente

de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

5 La **figura 1.-** Muestra un esquema del procedimiento de descomposición para la WPT hasta el nivel de descomposición 3.

La **figura 2.-** Representa la evolución de la energía, en función del número de ciclos durante un test de fatiga, del primero armónico de la velocidad de rotación.

10 La **figura 3.-** Representa la evolución de la energía, en función del número de ciclos durante un test de fatiga, del tercer subarmónico de la primera frecuencia de resonancia.

La **figura 4.-** Muestra un vista ampliada de la figura 3, donde puede apreciarse más en detalle la zona de interés.

Descripción detallada de la invención

15 Para el desarrollo de la presente invención, es importante comenzar mencionando las pruebas experimentales que la motivan. Puede observarse como de acuerdo a una de las posibles realizaciones, se plantea en primer lugar un test de fatiga convencional al que se someten los ejes ferroviarios bajo estudio que, en este caso particular, son tres ejes
 20 ferroviarios huecos hechos de acero. A continuación, se determinan las frecuencias críticas del eje realizando un análisis modal experimental, por ejemplo mediante acelerometría y un martillo dinamométrico, y para este caso se obtienen las frecuencias críticas según la siguiente tabla:

25 Frecuencia de resonancia (N)	Frequency (Hz)
1	194.2
2	485.2
3	886.0
4	1335.5
30 5	1857.2

Una vez se pone en marcha un test convencional, los principales criterios de parada para el test son, por un lado, si el número de ciclos alcanza un valor de 10^7 y por otro lado, si se detecta un defecto antes de que se alcance el número final de ciclos. Estableciendo la
 35 detección de un defecto en función de si determinados parámetros superan un valor umbral

previamente establecido para el desplazamiento del centro del eje, temperatura y variación en la carga aplicada.

5 Para este caso concreto, en el que se han sometido al test los tres ejes comentados anteriormente, se obtiene como resultado que dos de ellos se han roto, debido a que no han superado la carga aplicada, en concreto el test 1 y el 3. La siguiente tabla refleja las condiciones de los test:

Test	Velocidad (RPM)	Carga (kN)	Criterio de parada	Número de ciclos
10 1	509	240	valor umbral alcanzado	1688594
2	509	216	máximo número de ciclos	10000000
3	509	240	valor umbral alcanzado	1467172

15 Los resultados confirmados completamente mediante ultrasonidos y partículas magnéticas, para corroborar que efectivamente se tratan de ejes defectuosos que han de ser retirados, ya que no cumplen los requisitos de resistencia a fatiga necesarios como para ser montados en una máquina ferroviaria. En el momento de la parada de la prueba se comprueba a simple vista la aparición de grietas en el eje, lo que demuestra la baja sensibilidad de estos métodos tradicionales.

20 Sin embargo, durante estas pruebas convencionales, de acuerdo a una realización de la invención, se instala un acelerómetro triaxial en el alojamiento del rodamiento central del eje, un acondicionador de señal y una tarjeta de adquisición de datos para enviar los datos a un ordenador mediante conexión USB. De esta forma, se pueden adquirir las señales de
25 vibración producidas durante los tests, cuyos parámetros se representan a continuación para el caso concreto que estamos describiendo:

Frecuencia de muestreo (Hz)	Longitud de la señal	Almacenamiento de datos
6000	16384	1 adquisición cada 3 minutos

30 A continuación, las señales de vibración se procesan para identificar cambios significativos que puedan asociarse con la presencia de fallos en el eje ferroviario. Particularmente y de acuerdo a la realización preferida de la presente invención, las señales se procesan utilizando la WPT, una variación de la DWT, que es especialmente eficiente para llevar a

cabo análisis locales de señales no estacionarias y permite obtener así coeficientes de correlación entre la señal y una wavelet madre.

5 La DWT puede se puede implementar utilizando filtros, descomponiendo así una señal temporal $x(t)$ mediante dos filtros, un filtro paso bajo y otro filtro paso alto. El filtro paso bajo provee información de las bajas frecuencias, llamada de información de aproximación (A), mientras que la información de altas frecuencias se obtiene utilizando el filtro paso alto y es denominada información de detalle (D).

10 La transformada wavelet en paquetes (WPT) es una variación de la descomposición DWT, la cual se obtiene aplicando la DWT de una forma recursiva, tal como se muestra en la figura 1, donde $W(k; j)$ representa los coeficientes de la señal en cada paquete, siendo "k" el nivel de descomposición y "j" la posición del paquete dentro del nivel de descomposición. De esta forma cada vector de correlación $W(k; j)$ tiene la siguiente estructura:

15

$$W(k, j) = \{w_1(k; j); \dots, w_N(k; j)\} = \{w_i(k; j)\}$$

20

El concepto de energía que se utiliza en un análisis WPT es similar a la teoría de Fourier. La energía de los paquetes se obtiene de la suma de los cuadrados de los coeficientes de cada paquete, es decir:

$$E_{k,j} = \sum_i \{w_i(k; j)\}^2$$

25

El nivel de descomposición utilizado determina la resolución en frecuencia de cada paquete. Teniendo en cuenta que la señal solo puede ser reconstruida hasta la frecuencia ρ_i , limitada por la frecuencia de muestreo, la resolución en frecuencia de cada paquete fr , se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$fr = \frac{\pi}{2^k}$$

30

Aplicando estas transformaciones sobre las señales vibratorias adquiridas anteriormente, se analizan los paquetes de energía obtenidos de acuerdo a una wavelet madre "Daubechies 6", la cual es razonable elegir dado que su eficacia ha sido probada en este campo por estudios previos del estado del arte. De acuerdo a una realización de la invención se

analizan distintos niveles de descomposición, en concreto del 5 al 9. Para el nivel de descomposición 5 se obtienen un total de 32 (2^5) paquetes, o niveles de energía, para cada señal. Aunque este número es fácilmente manejable para detectar cambios significativos a medida que avanza el número de ciclos del ensayo a fatiga, cada uno de los paquetes hace referencia a una banda de frecuencias muy ancha (93.8 Hz). Por tanto, una vez que se detectan incrementos en uno de los paquetes con el número de ciclos, este paquete se descompone a niveles mayores para afinar el valor de frecuencia afectada por el defecto. El máximo valor de nivel de descomposición elegido en este caso es de 9 para asegurar un equilibrio entre la precisión de la frecuencia y un bajo coste computacional, pero de acuerdo a otras realizaciones, este análisis puede plantearse con otros parámetros.

Las pruebas experimentales reflejan a medida que avanza el número de ciclos, la evolución de la energía en las distintas bandas de frecuencia. El análisis de las señales de vibración de los tres ensayos revela un gran aumento de la energía en varias bandas de frecuencia precisamente para los ensayos que resultaron en la rotura del eje, mientras que este fenómeno no se produce cuando el eje aguanta el test completo sin presentar defecto alguno, es decir, alcanza los 10^7 ciclos.

Pueden apreciarse cambios significativos en la evolución de la energía relacionada con armónicos de la velocidad de giro, como por ejemplo en la figura 2, donde se muestra la evolución de la energía concretamente en la banda de frecuencias 5,9-11,7 Hz, que contiene el primer armónico de la velocidad de giro (8,5 Hz) y en los últimos 20.000 ciclos del ensayo, antes de que el test se detenga por lo métodos tradicionales, se observa un cambio en la tendencia de la energía motivado por los defectos del eje bajo estudio, que en este caso se trata del test 3.

En cambio, lo más sorprendente ocurre en la observación de los subarmónicos de frecuencias críticas del eje, donde también se detectan unos cambios significativos, específicamente, en la banda de frecuencias 64,5-70,3 Hz, la cual corresponde al tercer subarmónico de la primera frecuencia crítica del eje (que se corresponde según el ensayo experimental de la realización particular bajo estudio con 194,19 Hz, y su tercer subarmónico con 64,73 Hz). La figura 3 muestra la evolución de la energía en esta banda de frecuencias en la dirección transversal y puede verse que los cambios en la tendencia de energía de esta banda de frecuencias se observan antes que los de los armónicos de la velocidad de giro. Este efecto sorprendente en la tendencia de la energía es usado por la

presente invención para detectar ventajosamente los defectos en un eje bajo estudio durante un test de fatiga, ya que, a la vista de las figuras, puede afirmarse que los defectos pueden detectarse con mucha anterioridad y estableciendo un valor umbral para la energía, la máquina de pruebas se detendría aproximadamente 150.000 ciclos antes que siguiendo los criterios convencionales de parada, tal y como muestra el área de detección (40) de la figura 4, que corresponde a una vista ampliada de la figura 3 para la zona de interés.

La presente invención por tanto, monitoriza las vibraciones emitidas por el eje de forma continua y para la detección de defectos se buscan los fenómenos observados durante el análisis dinámico del eje en subarmónicos de la velocidad crítica del eje, así como armónicos de la velocidad de giro.

La invención propuesta, de acuerdo a una realización particular, ofrece un criterio de parada temprana del test de fatiga a partir del estudio de las señales emitidas por el eje ferroviario, ya que durante dicho test se adquieren las señales de tipo vibratorio mediante un sensor, por ejemplo un acelerómetro, que son recogidas por un sistema de adquisición y enviadas a un procesador de señales. Tras procesar las señales y aplicar transformada wavelet en paquetes para obtener una medida de la energía (7) de las señales, se realiza un análisis exhaustivo por bandas de frecuencia y se detectan las diferencias de energía en determinadas franjas que indican la presencia de un defecto. La principal desventaja es que los cambios en las frecuencias naturales son muy pequeños, y pueden ser tapados debido a errores experimentales, pero la presente invención propone el análisis de los subarmónicos de la primera frecuencia crítica del eje y de los armónicos de la velocidad de giro, siendo especialmente relevante el tercer subarmónico de la frecuencia crítica, donde la tendencia de la energía es más evidente y permite anticipar considerablemente la detección de un fallo. Por tanto, se establecen unos patrones de energía para los cuales se determina que el eje es defectuoso y, a dicho umbral de energía se vincula la parada del test, con lo que se garantiza la parada temprana de dicho test en caso de que se produzca la detección de un fallo en el eje.

Los patrones de energía adquiridos durante el análisis previo se almacenan en una memoria del procesador y, de acuerdo a una de las realizaciones de la invención, cuando se somete un nuevo eje ferroviario a un test de fatiga, se recupera de dicha memoria el patrón correspondiente a dicho tipo de eje ferroviario. Se determina que existe un defecto estableciendo un umbral de energía y monitorizando las bandas de frecuencia de interés ya

mencionadas, lo que permite establecer un criterio de parada para el ensayo a fatiga en función de la detección de dichos defectos.

5

10

15

20

25

30

35

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para detectar defectos en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga, que comprende los siguientes pasos:
- 5 a) adquirir, mediante al menos un sensor, una señal de tipo vibratorio del eje ferroviario;
- b) calcular, en un procesador, la energía de la señal vibratoria adquirida en una banda de frecuencias determinada;
- 10 c) comparar, en el procesador, la energía calculada con un umbral de energía establecido previamente;
- d) determinar que se ha detectado un defecto en el eje en caso de que la energía calculada supere el umbral de energía preestablecido;
- e) detener el ensayo a fatiga en función de la detección de un defecto en el paso d).
- 15 2.- Método de acuerdo a la reivindicación anterior donde el eje rota en un banco de pruebas.
- 3.- Método de acuerdo a la reivindicación 1 donde el eje está siendo sometido a una máquina de ensayo de resonancia.
- 20 4.- Método de acuerdo a cualquier de las reivindicaciones anteriores donde el umbral de energía se establece de acuerdo a unos cambios de energía detectados para la banda de frecuencias determinada en ejes defectuosos.
- 5.- Método de acuerdo a la reivindicación 4 donde un eje defectuoso implica un aumento de energía detectable en determinadas bandas de frecuencias.
- 25 6.- Método de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende determinar una primera frecuencia crítica del eje ferroviario y donde la banda de frecuencias es un subarmónico de la primera frecuencia crítica del eje.
- 30 7.- Método de acuerdo a la reivindicación 6 donde el subarmónico corresponde al tercer subarmónico de la primera frecuencia crítica del eje.
- 8.- Método de acuerdo a la reivindicación 2 que además comprende calcular una velocidad de rotación del eje ferroviario y donde la cierta banda de frecuencias es un armónico de
- 35

dicha velocidad de rotación.

5 **9.-** Método de acuerdo a cualquier de las reivindicaciones anteriores que además comprende aplicar una transformada wavelet en paquetes a la señal adquirida, para calcular su energía en determinadas bandas de frecuencias.

10.- Método de acuerdo a la reivindicación 9 donde la energía se encuentra distribuida en paquetes que corresponden a las determinadas bandas de frecuencia de la señal adquirida.

10 **11.-** Sistema para detectar automáticamente defectos en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga, el sistema está caracterizado por que comprende:

- un sensor configurado para adquirir una señal de tipo vibratorio del eje ferroviario;
 - un procesador, en comunicación con el sensor, configurado para calcularla energía de dichas señales, comparar las energías calculadas con un umbral de energía
- 15 establecido previamente, determinar que se ha detectado un defecto en el eje en caso de que la energía calculada supere el umbral de energía preestablecido y detener el ensayo a fatiga en función de la de detección de un fallo.

20 **12.-** Sistema de acuerdo a la reivindicación 11 donde el sensor es un acelerómetro.

13.- Programa informático que comprende medios de código de programa adaptados para realizar las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, cuando dicho programa se ejecuta en un procesador de propósito general, un procesador de señal digital, una FPGA, un ASIC, un microprocesador, un microcontrolador, o cualquier otra forma

25 de hardware programable.

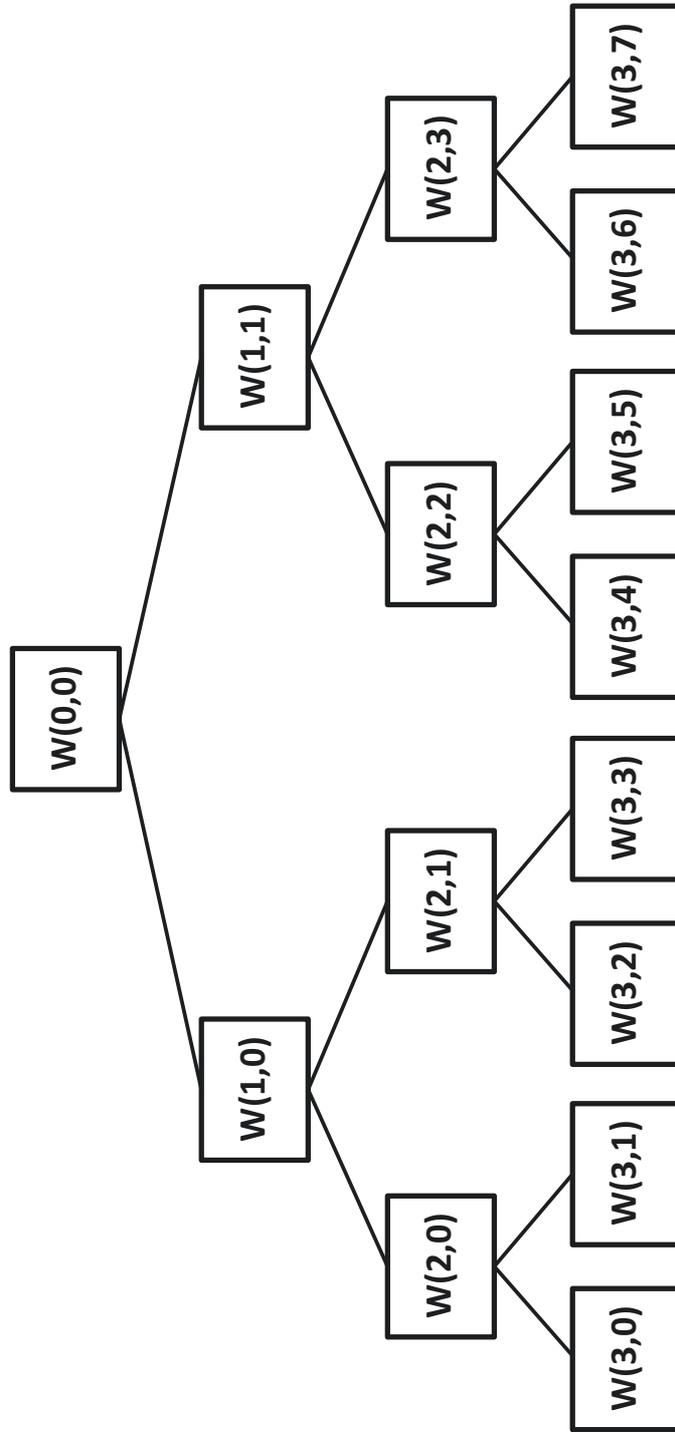


FIG. 1

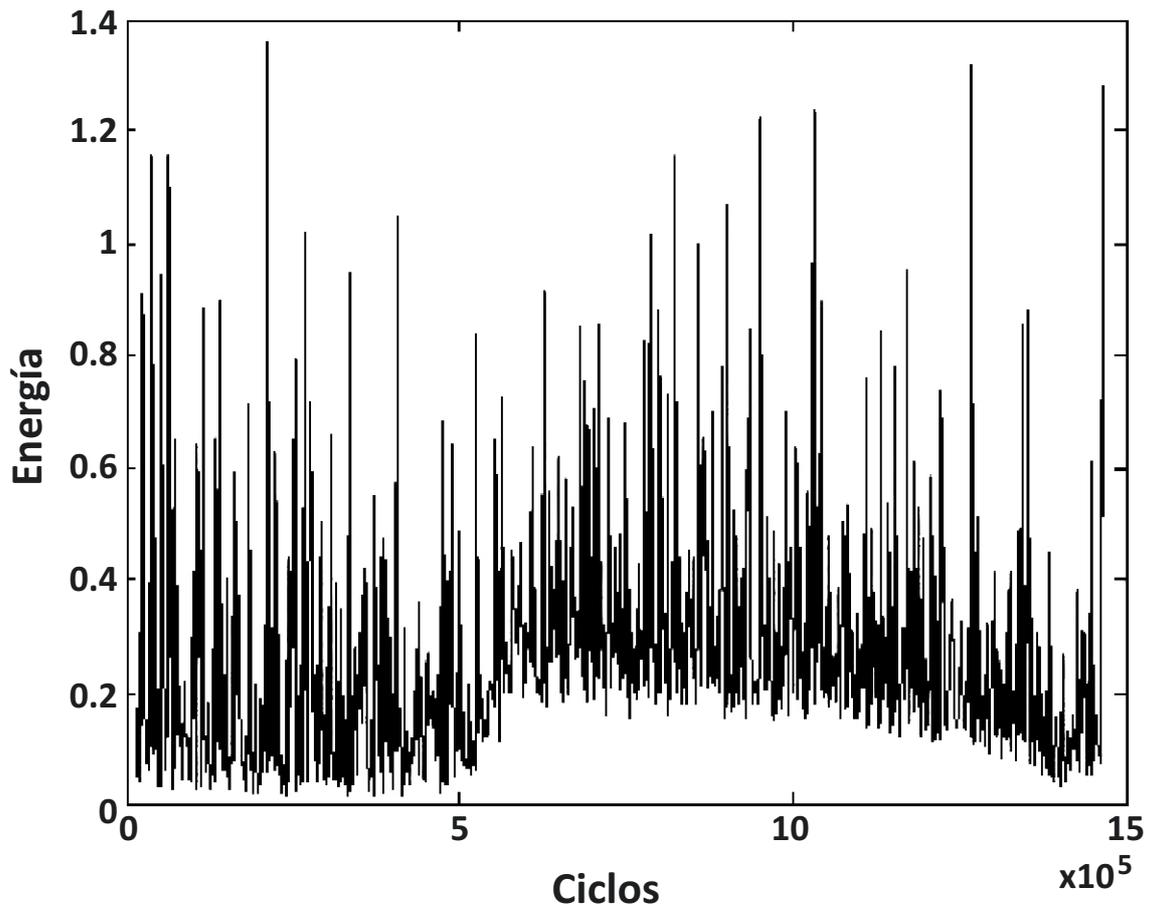


FIG. 2

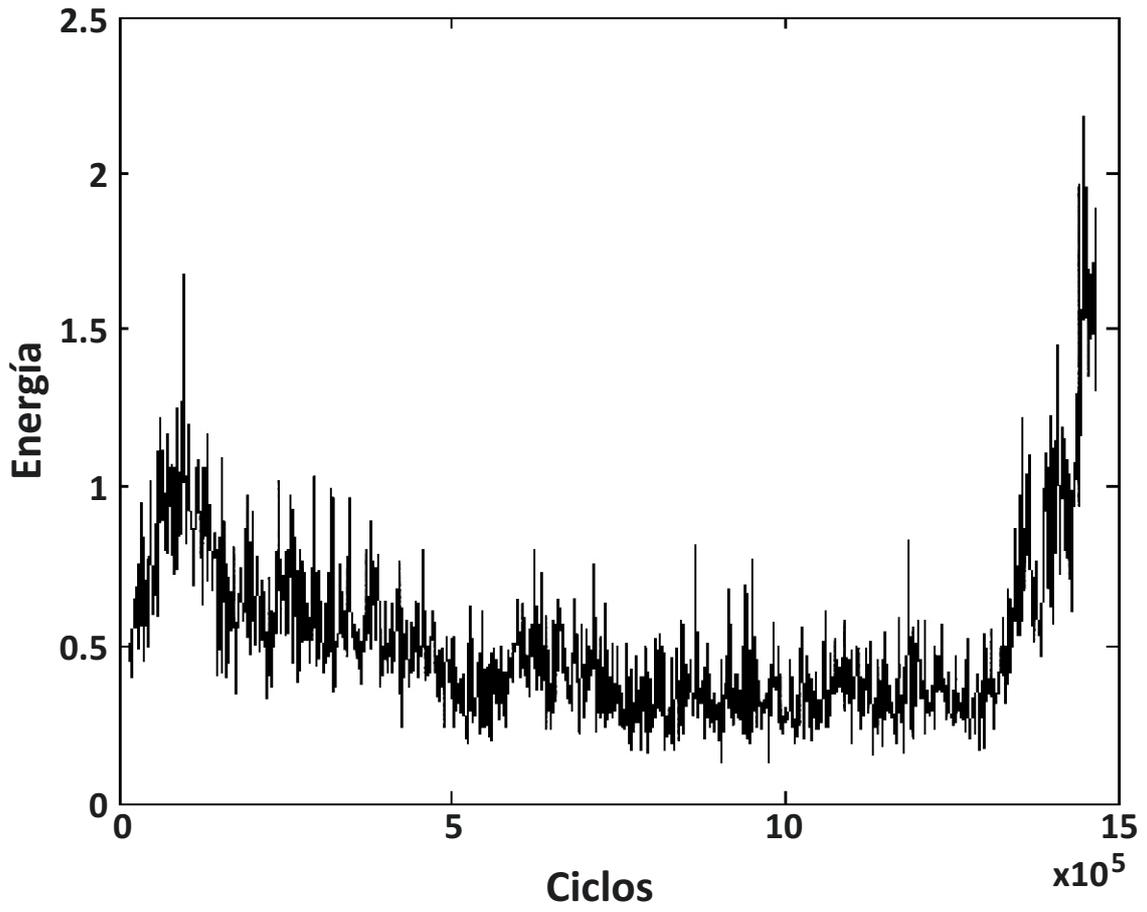


FIG. 3

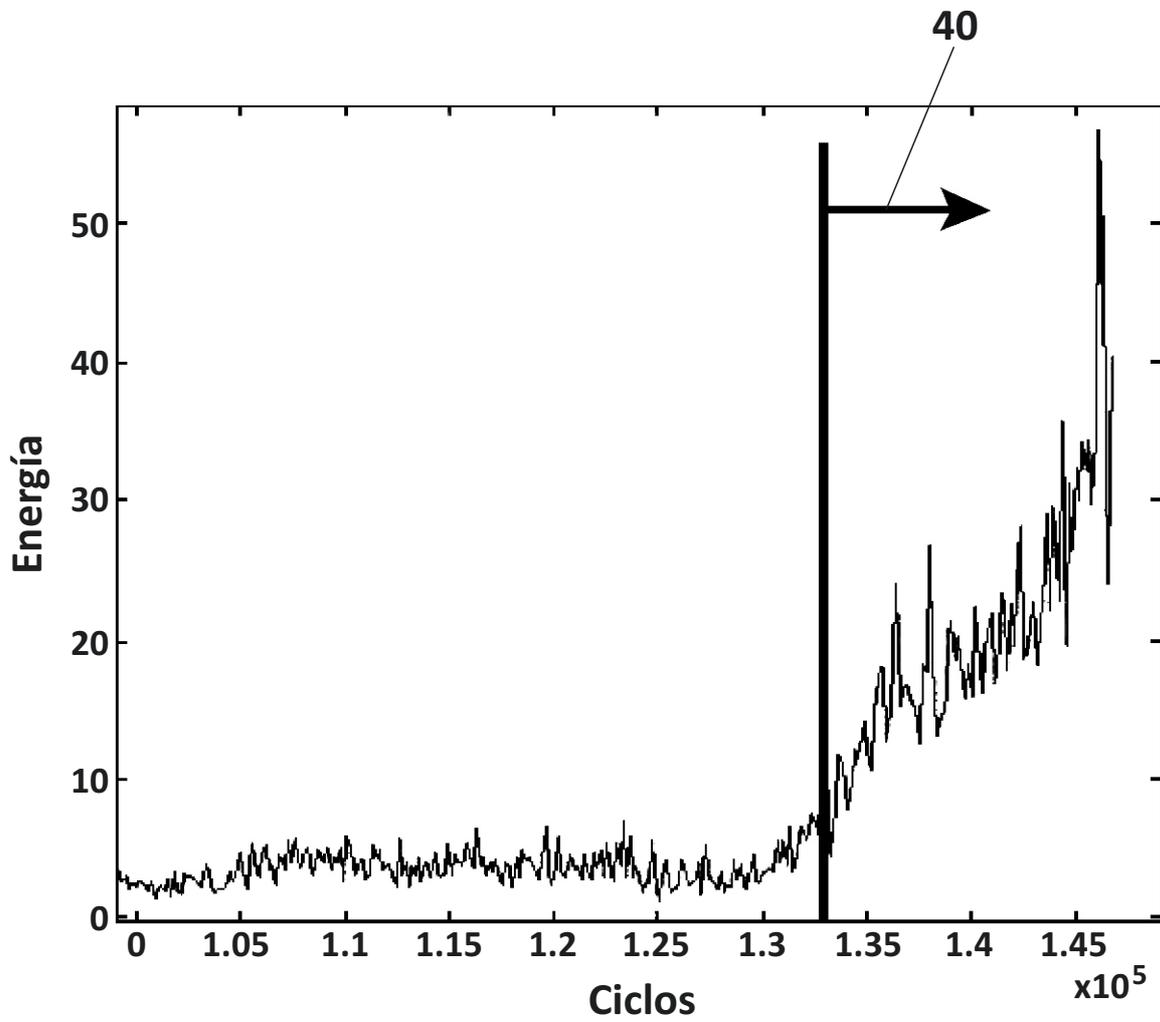


FIG. 4



- ②① N.º solicitud: 201431966
②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.12.2014
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01M17/10** (2006.01)
G01N3/32 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	GÓMEZ M J et al. "New stopping criteria for crack detection during fatigue tests of railway axles". Engineering Failure Analysis Pergamon, GB // VOL: 56 Págs: 530-537 ISSN 1350-6307 Doi: doi:10.1016/j.engfailanal.2014.10.018 Gagg Colin; Amsterdam Emiel (01.12.2014).	1-13
A	ADEWUSI S A et al. "Walet analysis of vibration signals of an overhang rotor with a propagating transverse crack". Journal of Sound and Vibration (2001) 246 (5), 777-793. doi:10.1006/jsvi.2000.3611. http://www.idealibrary.com	1-13
A	US 6192758 B1 (HUANG KANG) 27.02.2001, columna 1, línea 4 – columna 15, línea 41.	1-13
A	US 2004078160 A1 (FREI MARK G et al.) 22.04.2004, párrafos [0002]-[0120].	1-13

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:

<p>Fecha de realización del informe 27.11.2015</p>	<p>Examinador B. Tejedor Miralles</p>	<p>Página 1/4</p>
---	--	------------------------------

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

G01M, G01N

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

INVENES, EPODOC, WPI, bases de patentes de texto completo, bases de literatura no patente.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 27.11.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1-13	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1-13	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	GÓMEZ M J et al.	01.12.2014
D02	ADEWUSI S A et al.	2001
D03	US 6192758 B1 (HUANG KANG)	27.02.2001
D04	US 2004078160 A1 (FREI MARK G et al.)	22.04.2004

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

Reivindicación 1:

El documento D01 se considera como el estado de la técnica más próximo al objeto de la invención (entre paréntesis las referencias al documento citado).

Dicho documento divulga todas las etapas del método enunciado en la primera reivindicación para detectar defectos en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga: adquirir mediante al menos un sensor una señal de tipo vibratorio; calcular en un procesador la energía de la señal vibratoria adquirida en una banda de frecuencias determinada; comparar en el procesador la energía calculada con un umbral de energía establecido previamente; determinar si se ha detectado un defecto en el eje en caso de que la energía calculada supere el umbral de energía preestablecido; detener el ensayo a fatiga en función de la detección de un defecto en el anterior paso. (D01: página 532- 537). Por lo tanto, la primera reivindicación no presentaría novedad según el artículo 6.1 de la ley de patentes 11/1986.

Reivindicaciones dependientes 2-10:

Todas las características técnicas expuestas en las reivindicaciones dependientes se encuentran divulgadas en el documento D01. Por lo tanto, dichas reivindicaciones no presentarían novedad según el artículo 6.1 de la ley de patentes 11/1986.

Reivindicación 11:

El documento D01 se considera como el estado de la técnica más próximo al objeto de la invención. Dicho documento divulga un sistema para detectar automáticamente defectos en un eje ferroviario durante un ensayo a fatiga que comprende un sensor para adquirir una señal de tipo vibratorio y un procesador en comunicación con el sensor para llevar a cabo las funciones que se enuncian. Por lo tanto, la undécima reivindicación no presentaría novedad según el artículo 6.1 de la ley de patentes 11/1986.

Reivindicaciones dependientes 12-13:

Todas las características técnicas expuestas en las reivindicaciones dependientes se encuentran divulgadas en el documento D01. Por lo tanto, dichas reivindicaciones no presentarían novedad según el artículo 6.1 de la ley de patentes 11/1986.

Otros documentos:

Los documentos D02-D04 divulgan distintos métodos de análisis entre los que se encuentra la utilización de la transformada wavelet packet, que permite la descomposición discreta de todas las bandas de frecuencia de la señal.