

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 278**

21 Número de solicitud: 201830943

51 Int. Cl.:

G01M 13/02

(2009.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

28.09.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.04.2020

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

01.07.2021

Fecha de concesión:

18.01.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

25.01.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (100.0%)
Campus de Arrosadia s/n
31006 Pamplona (Navarra) ES**

72 Inventor/es:

**MARTINCORENA ARRAIZA, Maite;
DE LA CRUZ BLAS, Carlos Aristóteles;
MATÍAS MAESTRO, Ignacio Raúl y
LÓPEZ MARTÍN, Antonio Jesús**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN ENGRANAJES PLANETARIOS**

57 Resumen:

La presente invención da a conocer un dispositivo para la detección de fallos en un engranaje planetario que comprende un sensor de vibraciones y un procesador configurado para: recibir del sensor de vibraciones una señal de vibración; realizar un filtrado pasa-bajo de dicha señal de vibración obteniendo una señal filtrada; dividir la señal filtrada en una serie de señales intermedias; operar cada una de dichas señales intermedias con una serie de señales base obteniendo una serie de señales procesadas y calcular una serie de valores escalares calculados a partir de cada una de dichas señales procesadas; y emitir a un usuario los valores escalares calculados para determinar un posible fallo en el engranaje planetario.

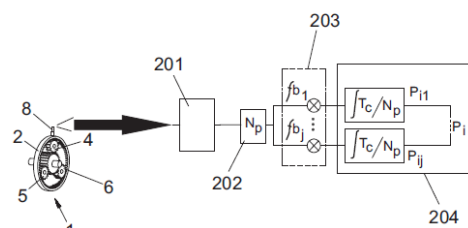


FIG. 2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN ENGRANAJES PLANETARIOS

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

10

La invención se engloba dentro del sector de los sensores de fallos en engranajes. En concreto, en la detección de fallos en engranajes planetarios a partir de una señal asociada a la vibración el engranaje.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Los Engranajes Planetarios (EP) son ampliamente utilizados como elementos mecánicos en la industria automotriz, aeronáutica, generación de energía eólica, etc. Generalmente estos mecanismos son los encargados de dar la potencia necesaria para accionar los motores que ejecutan las funciones asociadas a cada aplicación, por lo que la detección de fallas en un mantenimiento predictivo en estos elementos es crucial en términos de seguridad y coste.

25

30

35

Una de las configuraciones más comunes en engranajes planetarios, tiene los siguientes elementos:

40

- Corona o anillo (o '*ring*' tal y como se conoce en la técnica) con un número Z_R de dientes: Frecuencia de rotación $f_R = 0$

45

- Sol: componente de entrada con un número Z_S de dientes: Frecuencia de rotación $f_S \neq 0$

50

- Planetas con un número Z_P de dientes por planeta: Frecuencia de rotación $f_P \neq 0$

55

- Porta-planetas (o *Carrier* tal y como se conoce en la técnica): Frecuencia de rotación $f_C \neq 0$

60

El funcionamiento es el siguiente: El sol gira entorno a su eje a alta velocidad y al engranar con los Planetas, estos giran en torno a sus propios ejes y, a su vez, engranan con la corona estacionaria, lo cual hace que se trasladen a su vez entorno al eje del sol (eje de entrada) haciendo girar el porta-planetas a una velocidad menor que la de

entrada. De este modo, la relación de salida equivale a Z_S/Z_P .

El proceso de detección de fallos y mantenimiento predictivo en este tipo de engranajes es llevado a cabo, de modo no intrusivo, por un sensor ubicado en la corona del engranaje que recoge las vibraciones transmitidas desde los diversos puntos de engranaje y, con esta información y el procesado de señal pertinente, se decide si existe un fallo o no. Las características típicas de las señales recibidas por el sensor son: modulaciones en amplitud y/o en fase, una componente de señales aleatorias y que el sistema de vibraciones es de tiempo variante (las fallas van apareciendo a lo largo del tiempo).

La Patente Española 2 282 441 T3 da a conocer un método y sistema para detectar signos de vibración en un accionamiento reversible y realizar un procesado basado en cálculo de promedios, curtosis y obtención del espectro de frecuencia.

Por otra parte, la solicitud de Patente Española ES 2 294 959 A1 da a conocer un equipo de monitorización y proceso para aerogeneradores y sistema de mantenimiento predictivo para parques eólicos. El equipo de monitorización dispone de medios de procesamiento de las señales capturadas de los acelerómetros, que comprenden preferiblemente medios de acondicionamiento de la señal, cálculo de valores globales (RMS, factor de cresta) y algoritmo de detección de alarmas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Las técnicas para la detección de posibles fallos en engranajes planetarios de la técnica anterior tienen, principalmente, dos problemas: i) una dependencia de un único parámetro para la realización de la detección (en particular, la magnitud de las vibraciones) por lo que, si existe en el sistema un ruido que afecte a dicho parámetro, la detección suele ser deficiente; y ii) no permiten identificar o, cuando menos, orientar al usuario sobre qué elemento del engranaje puede estar presentando el fallo.

En consecuencia, la presente invención da a conocer un dispositivo y método para la detección de fallos en un engranaje planetario del tipo que comprende:

- un engranaje sol;
- una serie de engranajes planeta que orbitan alrededor del engranaje sol;

- una corona engranada a los engranajes planeta;
- un porta-planetas unido a la zona central de los engranajes planeta; comprendiendo dicho engranaje un sensor de vibraciones acoplado al engranaje planetario y un procesador asociado al sensor de vibraciones, estando el procesador configurado para:
 - i) recibir del sensor de vibraciones una señal de vibración;
 - ii) realizar un filtrado pasa-bajo de dicha señal de vibración obteniendo una señal filtrada;
 - iii) dividir la señal filtrada en una serie de señales intermedias siendo el número de señales intermedias igual al número de engranajes planeta de la serie de engranajes planeta;
 - iv) operar cada una de dichas señales intermedias con una serie de señales base obteniendo una serie de señales procesadas, y calcular una serie de valores escalares calculados a partir de cada una de dichas señales procesadas;
 - v) emitir a un usuario los valores escalares calculados para determinar un posible fallo en el engranaje planetario.

Preferentemente, la división de la señal filtrada en señales intermedias se realiza dividiendo el periodo de la señal filtrada entre el número de engranajes planeta.

En una realización particular, las señales base son señales ortogonales entre sí.

Además, la obtención de valores escalares se puede realizar, por ejemplo, integrando cada señal procesada durante al menos parte de un periodo. Alternativa o adicionalmente, la obtención de valores escalares se puede realizar integrando cada señal procesada durante un periodo. En otro ejemplo de realización, la obtención de valores escalares se realiza calculando un valor promedio, calculando un valor estadístico, etc.

En una realización especialmente preferente, el procesador comprende o tiene acceso a una memoria en la que se almacenan unos valores escalares de referencia.

Además, el procesador puede comprender instrucciones para la determinación a partir de los valores escalares calculados de un posible fallo mediante una comparación entre

los valores escalares calculados con los valores escalares de referencia.

Preferentemente, la comparación entre valores escalares se puede realizar mediante el cálculo de una distancia euclídea entre cada valor escalar calculado y su correspondiente valor escalar de referencia; si dicha distancia es mayor a una distancia umbral, se determina un posible fallo.

Más preferentemente, el procesador puede estar configurado para correlacionar cada valor escalar a un posible tipo de fallo en el engranaje planetario.

En un ejemplo, la emisión al usuario de los valores escalares se presenta al usuario mediante un gráfico tal como una serie de escalares dispuestos en un eje de coordenadas o un diagrama de ojo.

En un ejemplo especialmente preferente, el sensor de vibraciones se encuentra acoplado a la corona.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra una vista frontal y en perspectiva de un engranaje planetario según la presente invención.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de realización según la presente invención.

La figura 3 muestra un ejemplo de señal filtrada obtenida para un engranaje planetario que no presenta fallos.

La figura 4 muestra otro ejemplo de señal filtrada obtenida para un engranaje planetario que no presenta fallos.

La figura 5 muestra una representación gráfica de los valores escalares calculados y una comparación con los valores escalares de referencia en un ejemplo de realización de la presente invención.

La figura 6 muestra otro ejemplo de representación gráfica, según un método de la presente invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La figura 1 muestra un engranaje planetario (1) del tipo que se pretende monitorizar según la presente invención. El engranaje (1) de la figura 1 dispone de una corona (2), un sol (3) y una serie de planetas (4, 5, 6) que orbitan alrededor de dicho sol (3). En concreto, el engranaje (1) de la figura 1 dispone de tres planetas cuyos cuerpos se encuentran unidos por un porta-planetas (7).

La señal de vibración de un engranaje planetario (1) como el de la figura 1 comprende una componente de alta frecuencia (frecuencia fundamental conocida como frecuencia de engranaje) f_m correspondiente a los procesos de engranaje entre dientes de las diferentes ruedas dentadas y una envolvente de menor frecuencia debida al camino de transmisión de la vibración en cada punto de engrane hasta el sensor.

Cuando se producen fallos en algún diente de la corona (2), del sol (3) o de uno de los planetas (4, 5, 6), en el espectro de señal de vibración se producen bandas laterales adicionales alrededor de la frecuencia de engranaje, por ejemplo, a distancias múltiplos enteros de las frecuencias características de cada fallo (todas ellas menores que la frecuencia de engranaje). Por lo tanto, en la señal de vibración de un engranaje planetario (1) se pueden observar las siguientes componentes:

1. Componente de alta frecuencia a la frecuencia de engranaje ($f_m = Z_r f_c$).
2. Componentes de baja frecuencia correspondientes a la ventana de transmisión de la vibración ($f_{A(t)} = N_p f_c$), fallos en la corona ($f_{fr} = N_p f_c$, fallos en el sol ($f_{fs} = N_p \frac{Z_r}{Z_s} f_c$) y/o fallos en los planetas ($f_{fp} = \frac{Z_r}{Z_p} f_c$).

Estando tanto las componentes de alta frecuencia como las componentes de baja frecuencia comprendidas en la información transmitida a través de pulsos producidos por cada planeta a un sensor de vibración (no mostrado) que se puede alojar, por ejemplo, en la corona.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de realización de un dispositivo y método de diagnóstico según la presente invención. En la figura 2 se muestra como en un ejemplo de realización se dispone un sensor de vibración (8) en el engranaje planetario (1), por ejemplo, en la corona (2).

Tal y como se muestra en la figura 2, inicialmente, se realiza una primera etapa (201) que corresponde a un desplazamiento en frecuencia, filtrado y un análisis de posibles

errores en el sistema pudiendo dichos errores ser, por ejemplo, errores de fabricación en el engranaje planetario (1), errores de acoplamiento, de instalación, etc.

El filtrado de la señal obtenida mediante el sensor de vibración (8) se realiza para descartar la componente de alta frecuencia ya que, tal y como se ha explicado haciendo referencia a la figura 1, dicha componente de alta frecuencia no proporciona información relevante en cuanto a posibles fallos del engranaje planetario (1) o, al menos, no relevante en cuanto a los fallos que se pretenden analizar mediante el dispositivo y el método de la presente invención.

En un ejemplo de realización, el filtrado de la señal obtenida mediante el sensor de vibración se realiza mediante la multiplicación de la señal de vibración $v(t)$, la cual se trata de una suma de cosenos a la frecuencia de engranaje correspondientes a los procesos de engranaje Corona-planeta y Sol-planeta, por $\cos(2\pi f_m)$ y $-\sin(2\pi f_m)$ para obtener señales ortogonales y, posteriormente, se realiza filtrado paso bajo para eliminar las componentes de alta frecuencia y el ruido de la señal, dando lugar a las señales en banda base $v_1(t)$ y $v_2(t)$, respectivamente. De este modo, se trabaja únicamente con la componente en baja frecuencia.

Resolviendo la identidad trigonométrica y considerando únicamente la parte no entera del desfase del coseno, ya que en la fase del coseno los múltiplos enteros de un valor generan el mismo resultado, se obtienen las siguientes expresiones, previas al filtrado paso bajo:

$$v_{1pb}(t) = \left[DC_{lev} + Ae^{2\pi f_c \left(t - \frac{\Psi_i}{2\pi f_c} \right)^2} \right] (\cos(2\pi 2f_m t - \Psi_i) + \cos(-\Psi_i)) \quad (a)$$

$$v_{2pb}(t) = \left[DC_{lev} + Ae^{2\pi f_c \left(t - \frac{\Psi_i}{2\pi f_c} \right)^2} \right] (-\sin(2\pi 2f_m t - \Psi_i) - \sin(-\Psi_i)) \quad (b)$$

Donde $\left[DC_{lev} + Ae^{2\pi f_c \left(t - \frac{\Psi_i}{2\pi f_c} \right)^2} \right]$ equivale a la contribución, en baja frecuencia, de cada planeta que se corresponde con una ventana de modulación en amplitud aplicada a la señal de vibración producida por los procesos de engranaje entre dientes en el engranaje planetario (1); f_m es la frecuencia de engranaje, f_c la frecuencia de giro del portaplanetas y Ψ_i la posición angular de cada planeta.

Tras aplicar el filtro paso bajo a las ecuaciones (a) y (b) se eliminan las componentes

frecuenciales a $\pm 2f_m$.

$$v_1(t) = \left[DC_{lev} + Ae^{2\pi f_c \left(t - \frac{\Psi_i}{2\pi f_c} \right)^2} \right] \cos(-\Psi_i) \quad (c)$$

$$v_2(t) = \left[DC_{lev} + Ae^{2\pi f_c \left(t - \frac{\Psi_i}{2\pi f_c} \right)^2} \right] (-\sin(-\Psi_i)) \quad (d)$$

Una vez realizado el desplazamiento en frecuencia y el filtrado de la señal de vibración
 5 obtenida mediante el sensor de vibración (8), se obtiene como resultado de la primera
 etapa (201) una señal filtrada que se utilizará para el análisis y detección de fallos. Dicha
 10 señal filtrada será $v_1(t)$ si en (201) se realiza una multiplicación por coseno y $v_2(t)$ si la
 multiplicación es por seno, siendo las etapas posteriores comunes en ambos casos.

15 Tal y como se ha mencionado anteriormente, dicha señal filtrada se puede analizar para
 determinar posibles errores de fabricación y/o acoplamiento ya que la señal esperable
 está compuesta, idealmente, por una frecuencia fundamental correspondiente a la
 20 frecuencia de engranaje y bandas laterales localizadas en las frecuencias $N_p \cdot f_c$ de la
 frecuencia de engranaje donde N_p corresponde al número de planetas y f_c a frecuencia
 de giro del porta-planetas. Cuando se produce algún fallo en un diente, además de esas
 25 bandas laterales, aparecen componentes frecuenciales adicionales alrededor de la
 frecuencia de engranaje, cuya separación se corresponde con la frecuencia de giro de
 la rueda dentada en la que se encuentra el diente fallado

30 Para poder analizar cada uno de los engranajes individualmente, en una segunda etapa
 35 (202) se procede a dividir la señal de vibración $v_1(t)$ equ (c) y $v_2(t)$ equ (d) en una serie
 de señales intermedias en el tiempo. La presente invención propone que se tengan
 tantas señales intermedias como planetas tenga el engranaje planetario (1). Por tanto,
 40 para un engranaje como el del ejemplo de las figuras 1 y 2, se divide la señal filtrada en
 tres señales intermedias. En un caso más general, se divide el periodo (T_C) de la señal
 filtrada en N_p secciones de duración T_C/N_p correspondientes a cada planeta.
 45 Obteniendo una serie de señales intermedias en las que cada señal intermedia
 corresponde a uno de los planetas del engranaje planetario, i.e., N_p señales intermedias.
 50 En la figura 2 se muestra el proceso para una de dichas señales intermedias, siendo las
 etapas posteriores iguales para las N_p señales intermedias.

Con el fin de poder realizar un análisis temporal en que se disponga información de cada uno de los componentes del engranaje planetario, la presente invención contempla que, en una tercera etapa (203) cada una de las señales intermedias se opere con una función base en el tiempo (compuestas por N funciones base, representadas en el diagrama como fb_j con $j = 1, 2, \dots, N$) y, en una cuarta etapa (204) se integra a lo largo de su duración (T_c/N_p) por lo que obtenemos un valor escalar P . Al final de este proceso se obtienen $N \times N_p$ escalares P_{ij} , siendo $i = 1, 2, \dots, N_p$ el número del planeta y $j = 1, 2, \dots, N$ el número de la función base. Estos escalares P_{ij} son los que servirán como indicadores de fallo y diagnóstico, a su vez, también pueden ser representados gráficamente con las bases como ejes dando lugar a una interpretación de puntos P_i en N dimensiones conocida como constelación. La obtención de las funciones base se puede realizar de diferentes maneras que aportan una mayor flexibilidad dependiendo de los requerimientos y limitaciones de cada caso bajo estudio; en esta invención se proponen tres métodos que se exponen más adelante. El valor de N varía dependiendo del método utilizado y, en el caso del Método 1, como se explica más adelante, también del número de planetas.

Ejemplos de análisis de dichas señales base se pueden encontrar, por ejemplo, en S. Haykin, "Digital Communication Systems", 5th edition, John Wiley & Sons, Inc, capítulos 7 y 8 cuyos contenidos se incorporan por referencia a la presente divulgación. En definitiva, la representación geométrica de las señales se basa en representar cualquier conjunto de M señales de energía $s_i(t)$ como una combinación lineal de N funciones base ortonormales donde $N \leq M$, cada función base está, preferentemente, normalizada para tener energía unitaria y, además, las funciones base deben ser ortogonales entre sí (producto escalar nulo) a lo largo del intervalo correspondiente al periodo de planeta (T_c/N_p).

La presente invención contempla, además que se disponga de una serie de parámetros de referencia, por ejemplo, una serie de escalares de referencia obtenidos previamente y almacenados en una memoria del controlador. Estos escalares de referencia pueden ser obtenidos mediante un proceso de calibración previa a la utilización del sensor para detección de fallo o pueden ser valores proporcionados por el fabricante y almacenados en dicha memoria.

Así, con el esquema de la figura 2, se puede comparar la señal a analizar con la señal sin fallos gráficamente o comparando los escalares de referencia P_{ij} sin fallos con los

que se vayan obteniendo con las señales del sensor, i.e., los escalares medidos u obtenidos mediante el procedimiento de medición anteriormente explicado. De esta manera, las componentes añadidas por el fallo harán que los puntos de la constelación se muevan (roten, por cambio de fase, o aumente su amplitud) con respecto a sus posiciones ideales.

5

A continuación, se presentan ejemplos de señales base que pueden ser utilizadas en un dispositivo y/o método de detección de fallos según la presente invención. En un primer ejemplo de realización se dispone de un conjunto de M señales $p_1(t), p_2(t), \dots, p_M(t)$, las cuales se corresponden a las ventanas de modulación P1, P2 y P3 de cada planeta en $v_1(t)$ y $v_2(t)$, un primer ejemplo de función base se calcula de la siguiente manera:

20

$$\phi_1(t) = \frac{p_1(t)}{\sqrt{E_1}}, \quad (e)$$

25

donde $E_1 = \int_0^T p_1^2(t) dt$ es la energía de la señal $p_1(t)$ siendo T el periodo de la misma, el cual, en este caso se corresponde al periodo de giro del portaplanetas entre el número de planetas ($T = \frac{T_C}{N_P}$). La segunda función base se obtiene a partir de la primera función base y la señal $p_2(t)$. Primero se define p_{21} :

30

$$p_{21} = \int_0^{\frac{T_C}{N_P}} p_2(t) \phi_1(t) dt \quad (f)$$

35

A continuación, se define una señal base intermedia $g_2(t)$:

$$g_2(t) = p_2(t) - p_{21}(t) \phi_1(t), \quad (g)$$

40

$g_2(t)$ es ortogonal a $\phi_1(t)$ en el intervalo $0 \leq t \leq T$ debido a la definición de p y al hecho de que la función base $\phi_1(t)$ tiene energía unidad. Una vez definidos estos términos, se puede calcular una segunda función base mediante la siguiente fórmula:

45

$$\phi_2(t) = \frac{g_2(t)}{\sqrt{\int_0^T g_2^2(t) dt}} \quad (h)$$

50

Continuando con este procedimiento se puede definir, de manera general, la función base intermedia como:

55

$$g_i(t) = p(t) - \sum_{j=1}^{i-1} p_{ij} \phi_j(t) \quad (i)$$

60

donde los coeficientes p_{ij} se definen de la siguiente manera:

$$p_{ij} = \int_0^{\frac{T_c}{N_P}} p_i(t) \phi_j(t) dt, \quad j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (j)$$

Para $i = 1$, $g_i(t)$ se reduce a $p_i(t)$. Teniendo $g_i(t)$, se puede definir el conjunto de funciones base como:

$$\phi_j(t) = \frac{g_i(t)}{\sqrt{\int_0^T g_i^2(t) dt}}, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (k)$$

Como característica de esta forma de escoger la base, es el hecho que el número de funciones base es directamente proporcional al número de planetas (siendo el número de funciones base $N_P - 1$), lo cual puede resultar un inconveniente ya que no existirá representación gráfica en caso de que el número de planetas sea mayor de 4.

Un segundo procedimiento para la identificación de señales base comprende recortar la ventana de manera que disminuya el solapamiento entre ventanas y, de este modo, la ventana recortada y normalizada a 1 pueda utilizarse como función base.

A pesar de que la poca complejidad computacional de este método es una gran ventaja, su principal inconveniente es que, al recortar la base, ésta no cubre toda la porción de señal a analizar y, por lo tanto, se pierde información. Además, el solapamiento entre ventanas es mayor cuanto mayor es el número de planetas y, por consiguiente, el recorte de la ventana deberá ser mayor para obtener mínima interferencia entre la contribución de cada planeta.

La pérdida de información en las zonas de $v_1(t)$ y $v_2(t)$ que no cubre la base, se puede compensar mediante la reconstrucción de dichas señales a partir de la constelación y su posterior comparación con las originales sin fallos. Es decir, mediante la obtención de las señales de error. Lo cual trae como consecuencia que el procesamiento de las señales se incremente.

En un tercer procedimiento para identificación de funciones base, se puede realizar un cálculo de la base a partir de la ventana de modulación producida por el camino de transmisión del planeta de referencia y las colas de las ventanas adyacentes que se solapan con ella. Utilizando este método, independientemente del número de planetas, siempre se tendrán tres funciones base (una será a la ventana de modulación y las otras

dos las colas a derecha e izquierda de la misma). Este método evita la pérdida de información del método 2 y la dependencia con el número de planetas del primer procedimiento.

5 Sin embargo, un experto en la materia podría identificar otro tipo de funciones base sin alejarse del concepto principal de la presente invención en el que, en principio, cualquier pluralidad de funciones base que sean ortogonales entre sí y, preferentemente,
10 normalizadas, podría ser utilizada obteniendo niveles de detección diferentes en función a las aplicaciones específicas del engranaje planetario (1).

15 Las figuras 3 y 4 muestran las señales filtradas $v_1(t)$ y $v_2(t)$ respectivamente tras la aplicación del desplazamiento en frecuencia y filtrado paso bajo correspondientes a un engranaje planetario sin fallos (según las ecuaciones (c) y (d)). En ellas se puede
20 diferenciar las contribuciones de cada uno de los planetas (P1, P2 y P3) de duración T_c/N_p , donde T_c es el periodo de giro del porta-planetas y N_p el número de planetas.

25 Una vez obtenidas las señales filtradas, se procede a la multiplicación de las señales filtradas por las funciones base obteniendo una señal procesada. A partir de dicha señal
30 procesada se puede obtener un valor escalar para su representación gráfica.

En un ejemplo de realización, para obtener el valor escalar de la señal procesada se
35 procede a integrar dicha señal procesada en el periodo correspondiente a cada planeta. Es decir, para el ejemplo de las figuras 1 a 3 en la que se dispone de tres planetas, para
40 el primer planeta (4) la integral será de 0 a T_c/N_p , para el segundo planeta (5) de T_c/N_p a $2T_c/N_p$ y para el tercer planeta (6) de $2T_c/N_p$ a T_c . De este modo, se consiguen un conjunto de escalares que se pueden representar gráficamente en un diagrama espacio-
45 señal que llamaremos constelación.

En un ejemplo de realización, en una etapa de calibración se realiza el procedimiento
50 anteriormente mencionado en un escenario en el que no hay fallos. Este escenario se define como un escenario de referencia que corresponde a una constelación ideal. Una vez definida la constelación ideal se ejecuta el procesamiento de las señales de
55 vibración a analizar para detectar posibles fallos y, comparando con la constelación ideal, si los puntos en la constelación a analizar superan unos umbrales definidos y almacenados, por ejemplo, en una memoria de un controlador, se considera que existe

un fallo en el engranaje planetario.

En un ejemplo de realización, para definir estos umbrales se consideran los desplazamientos de los puntos con respecto a su posición ideal debidos al ruido o a las tolerancias a tener en cuenta por errores de fabricación.

5

El dispositivo y el método según la presente invención proveen a un usuario de una serie de indicadores de fallo adecuados para diferentes necesidades. La correcta combinación de los tres indicadores minimiza los diagnósticos erróneos. En un ejemplo de realización, los fallos indicados pueden ser:

15

- I. Constelación: Permite observar los desplazamientos de los puntos con respecto a sus posiciones ideales para una posible monitorización en línea del estado del engranaje (1) a lo largo de su operación.
- II. Error o distancia euclídea entre los puntos de la constelación del engranaje (1) analizado y sus posiciones ideales: Proporcionan una representación numérica del estado del engranaje (1) y permiten definir umbrales de error a partir de los cuales se considera que existe un fallo se debe accionar una alarma.
- III. Señales de error entre la señal de vibración real y la reconstrucción de la misma a partir de la constelación: Para el fallo modelado, permiten observar las variaciones producidas en la señal debido al fallo (amplitud y separación de los picos). Esta información, complementaria a la constelación y el error, se puede utilizar para determinar la existencia, localización y gravedad del fallo.

20

25

30

35

40

45

50

La figura 5 muestra un ejemplo de representación gráfica de las señales de vibración obtenidas de un engranaje planetario (1) sin fallos. En concreto, para un engranaje (1) sin fallos, se determina la posición ideal asociada al primer planeta P1 (51), la posición ideal asociada al segundo planeta P2 (52) y la posición ideal asociada al tercer planeta P3 (53).

55

Además, se ha simulado las posiciones obtenidas cuando en el engranaje (1) se produce un fallo en un diente de la corona. En la figura 5 se puede observar que las contribuciones asociadas a cada uno de los planetas cambian, en concreto, la posición

con fallo en corona asociada al primer planeta (54), la posición con fallo de corona asociada al segundo planeta (55) y la posición con fallo de corona asociada al tercer planeta (56).

5 De igual manera, se han simulado las posiciones obtenidas cuando en el engranaje (1) se produce un fallo en un diente de un planeta. En la figura 5 se puede observar que las
10 contribuciones asociadas a cada uno de los planetas cambian, en concreto, la posición con fallo en un planeta asociada al primer planeta (57), la posición con fallo de un planeta asociada al segundo planeta (58) y la posición con fallo de un planeta asociada al tercer
15 planeta (59).

De igual manera, se han simulado las posiciones obtenidas cuando en el engranaje (1)
20 se produce un fallo en un diente del sol. En la figura 5 se puede observar que las contribuciones asociadas a cada uno de los planetas cambian, en concreto, la posición con fallo en el sol asociada al primer planeta (60), la posición con fallo del sol asociada
25 al segundo planeta (61) y la posición con fallo del sol asociada al tercer planeta (62).

30 Tal y como se puede deducir de la figura 5, si los valores escalares medidos del engranaje planetario (1) analizado se encuentran separados de los valores escalares de referencia (correspondientes a una constelación ideal) por una distancia mayor que un
35 umbral (que incluye, por ejemplo, un margen de tolerancias y ruido) significa que existe un fallo en el engranaje planetario (1).

40 En la figura 5 se observa que los valores escalares medidos que componen la constelación se desplazan de sus posiciones ideales, i.e., se desplazan respecto a los valores escalares de referencia, cuando existe un diente fallido. Además, la magnitud
45 de ese desplazamiento (error) sigue el siguiente orden, de menor a mayor, dependiendo de la rueda dentada en la que se encuentre el diente fallido: fallo planeta es menor que el desplazamiento en un fallo de la corona que, a su vez, es menor que en un fallo del
50 sol. Esto, conociendo las características del engranaje planetario (1), permite localizar el diente fallido entre las diferentes ruedas dentadas que componen el sistema. Así este
55 método no solo indica la presencia de un fallo, sino que adicionalmente, proporciona una mayor información respecto al mismo, en concreto, de donde proviene el fallo ayudando ampliamente al diagnóstico.

La figura 6 muestra otro tipo de representación gráfica de la información obtenida mediante un método según la presente invención. En concreto, se muestra un diagrama de ojo del tipo que se da a conocer, por ejemplo en S. Haykin, "Digital Communication Systems", 5th edition, John Wiley & Sons, Inc, Chapter 8, p. 463. Es la superposición de
5 periodos de planeta (T_c/N_p) (63) en una medición. La máscara ideal (64) se corresponde a la superposición de periodos de una señal de vibración de un EP sin fallos. Ésta se utiliza como referencia ya que, cuando existe un fallo en algún diente se esperan picos
10 (6) en la representación de periodos superpuestos que superarán esta máscara y, de este modo se podrá detectar los fallos cuando esto ocurra. Además, la separación entre picos estará determinada por el periodo de giro de la rueda dentada donde se encuentre
15 el diente fallido.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la detección de fallos en un engranaje planetario del tipo que comprende:
 - un engranaje sol;
 - 5 • una serie de engranajes planeta que orbitan alrededor del engranaje sol; una corona engranada a los engranajes planeta;
 - 10 • un porta-planetas unido a la zona central de los engranajes planeta; caracterizado porque comprende un sensor de vibraciones acoplado al engranaje planetario y un procesador asociado al sensor de vibraciones, estando el procesador configurado para:
 - 15 i) recibir del sensor de vibraciones una señal de vibración;
 - 20 ii) realizar un filtrado pasa-bajo de dicha señal de vibración obteniendo una señal filtrada;
 - 25 iii) dividir la señal filtrada en una serie de señales intermedias siendo el número de señales intermedias igual al número de engranajes planeta de la serie de engranajes planeta;
 - 30 iv) operar cada una de dichas señales intermedias con una serie de señales base obteniendo una serie de señales procesadas y calcular una serie de valores escalares calculados a partir de cada una de dichas señales procesadas;
 - 35 v) emitir a un usuario los valores escalares calculados para determinar un posible fallo en el engranaje planetario.
- 40 2. Dispositivo, según la reivindicación 1, caracterizado porque la división de la señal filtrada en señales intermedias se realiza dividiendo el periodo de la señal filtrada entre el número de engranajes planeta.
- 45 3. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las señales base son señales ortogonales entre sí.
- 50 4. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza integrando cada señal procesada durante al menos parte de un periodo.
- 55

5. Dispositivo, según la reivindicación 4, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza integrando cada señal procesada durante un periodo.
6. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza calculando un valor promedio y/o calculando un valor estadístico.
7. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende una memoria en la que se almacenan unos valores escalares de referencia.
8. Dispositivo, según la reivindicación 7, caracterizado porque comprende la determinación a partir de los valores escalares calculados de un posible fallo mediante una comparación entre los valores escalares calculados con los valores escalares de referencia.
9. Dispositivo, según la reivindicación 8, caracterizado porque la comparación entre valores escalares comprende calcular una distancia euclídea entre cada valor escalar calculado y su correspondiente valor escalar de referencia, si dicha distancia es mayor a una distancia umbral, se determina un posible fallo.
10. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende correlacionar cada valor escalar a un posible tipo de fallo en el engranaje planetario.
11. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la emisión al usuario de los valores escalares se presenta al usuario mediante un gráfico.
12. Dispositivo, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sensor de vibraciones se encuentra acoplado a la corona.
13. Método de detección de fallos en un engranaje planetario que comprende las etapas de:
 - recibir una señal de vibración de un sensor de vibraciones asociado al engranaje planetario;
 - realizar un filtrado pasa-bajo de dicha señal de vibración obteniendo una señal

filtrada;

- dividir la señal filtrada en una serie de señales intermedias siendo el número de señales intermedias igual al número de engranajes planeta de la serie de engranajes planeta;
- 5 • operar cada una de dichas señales intermedias con una serie de señales base obteniendo una serie de señales procesadas y calcular una serie de valores escalares calculados a partir de cada una de dichas señales procesadas;
- 10 • emitir a un usuario los valores escalares calculados para determinar un posible fallo en el engranaje planetario.

15 14. Método, según la reivindicación 13, caracterizado porque la división de la señal filtrada en señales intermedias se realiza dividiendo el periodo de la señal filtrada entre el número de engranajes planeta.

20 15. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 ó 14, caracterizado porque las señales base son señales ortogonales entre sí.

25 16. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza integrando cada señal procesada durante al menos parte de un periodo.

30 17. Método, según la reivindicación 16, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza integrando cada señal procesada durante un periodo.

35 18. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado porque la obtención de valores escalares se realiza calculando un valor promedio, calculando un valor estadístico, etc.

40 19. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 18, caracterizado porque comprende una memoria en la que se almacenan unos valores escalares de referencia.

45 20. Dispositivo, según la reivindicación 19, caracterizado porque comprende la determinación a partir de los valores escalares calculados de un posible fallo mediante una comparación entre los valores escalares calculados con los valores escalares de referencia.

50 21. Método, según la reivindicación 20, caracterizado porque la comparación entre

valores escalares comprende calcular una distancia euclídea entre cada valor escalar calculado y su correspondiente valor escalar de referencia, si dicha distancia es mayor a una distancia umbral, se determina un posible fallo.

22. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 21, caracterizado porque
5 comprende correlacionar cada valor escalar a un posible tipo de fallo en el engranaje planetario.
- 10 23. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 22, caracterizado porque la emisión al usuario de los valores escalares se presenta al usuario mediante un gráfico.
- 15 24. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 23, caracterizado porque el sensor de vibraciones se encuentra acoplado a la corona.

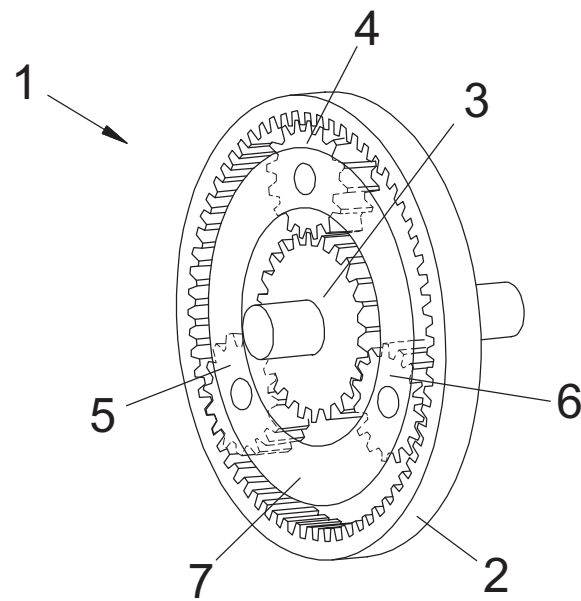


FIG. 1

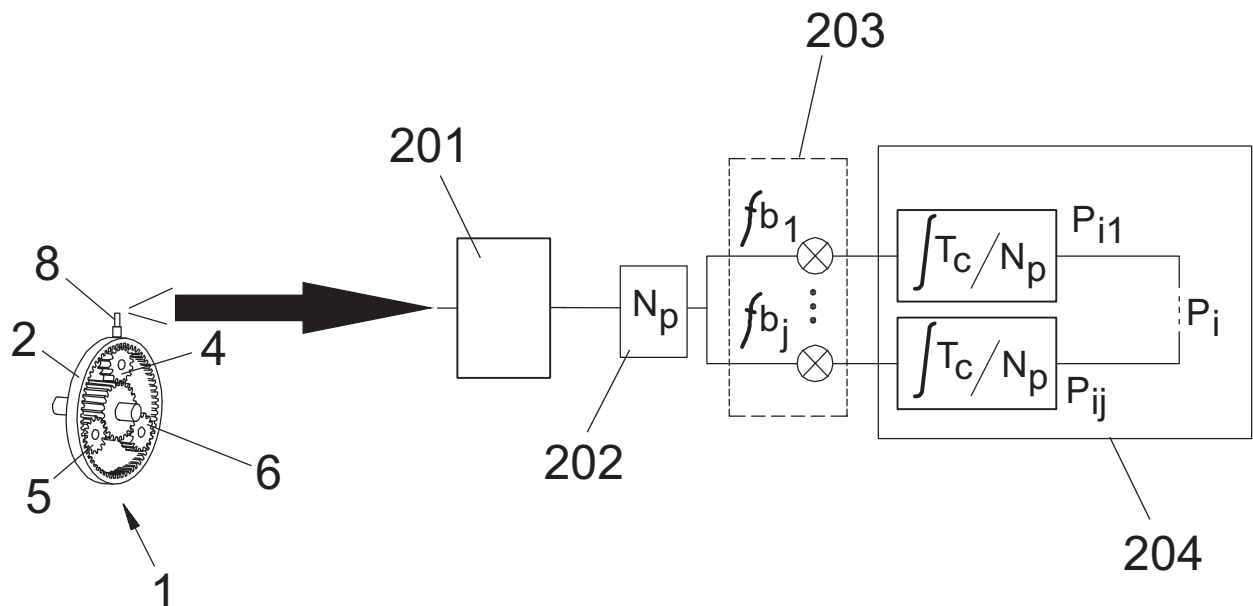


FIG. 2

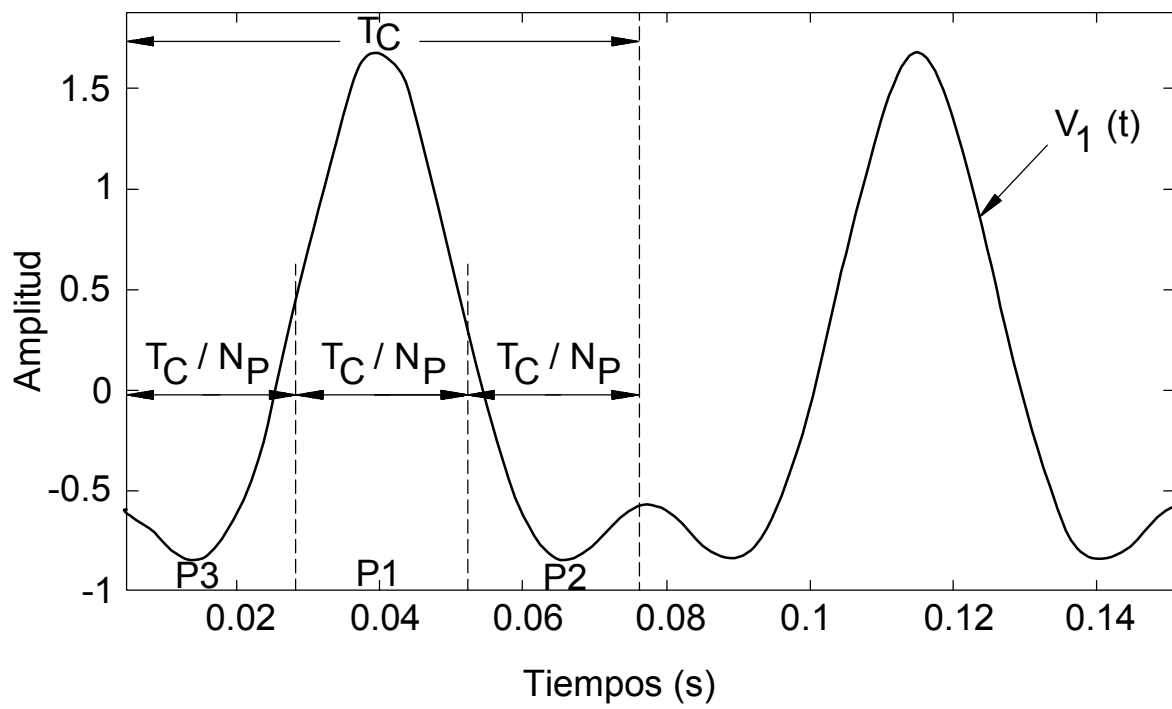


FIG. 3

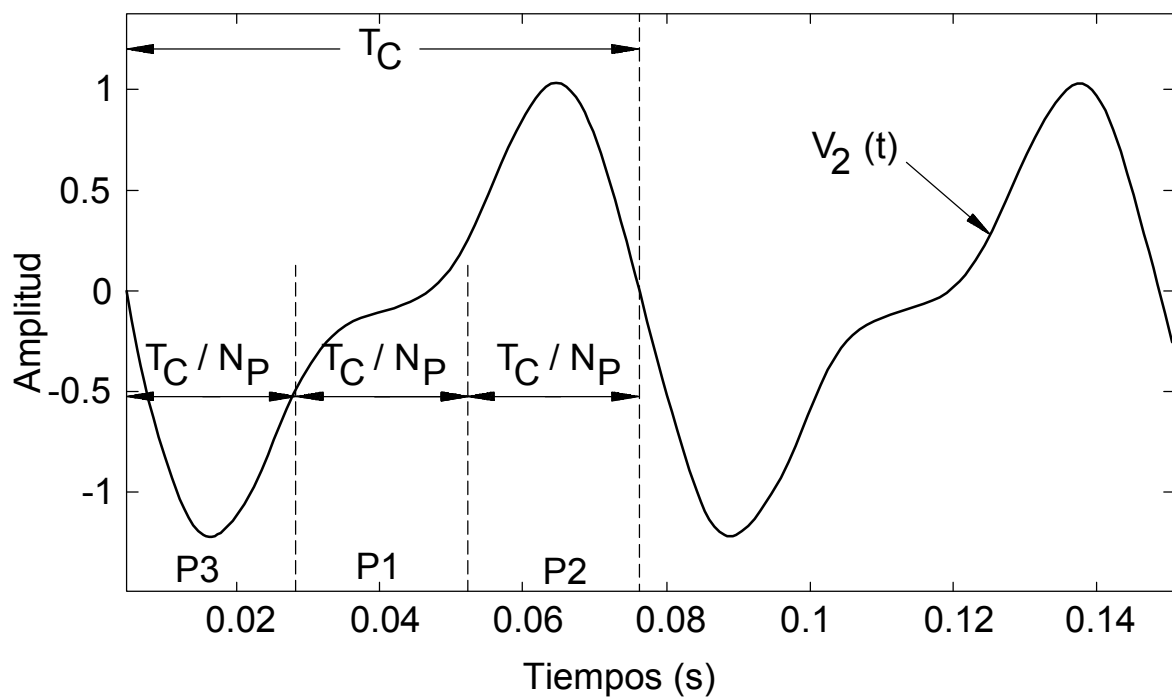


FIG. 4

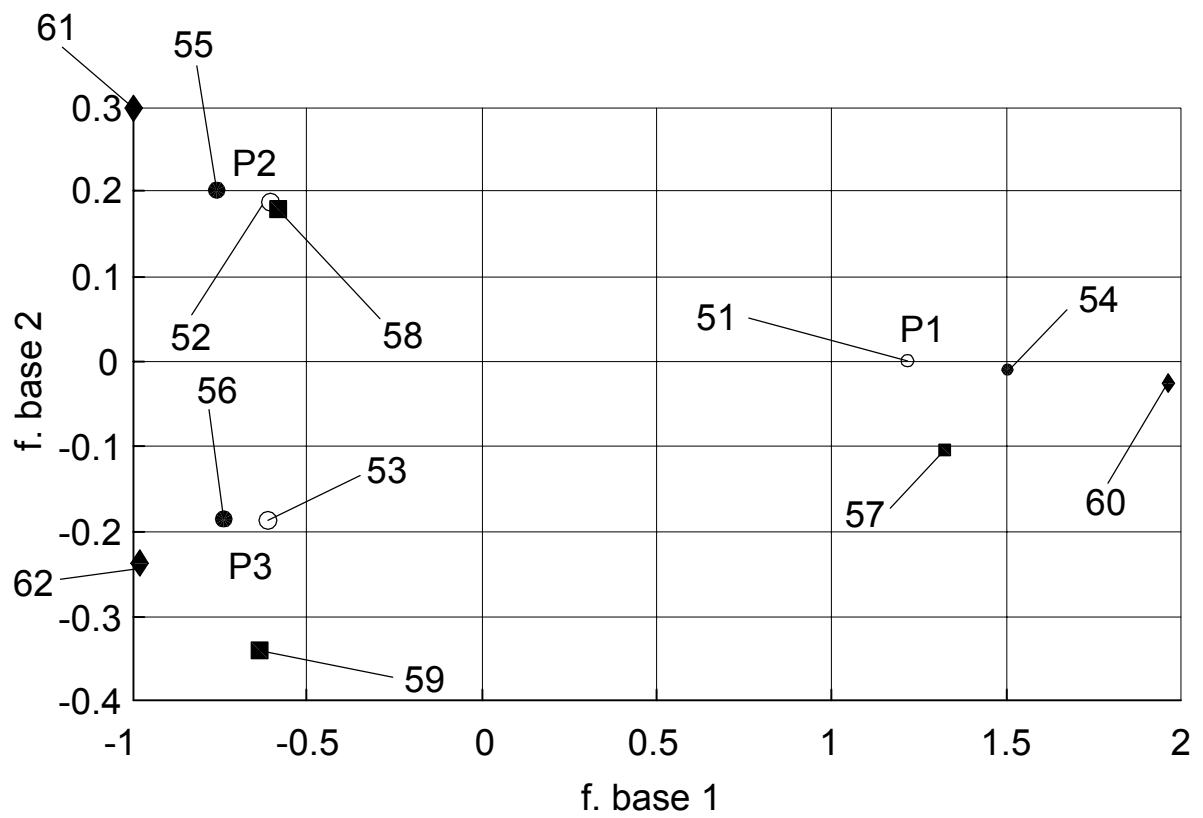


FIG. 5

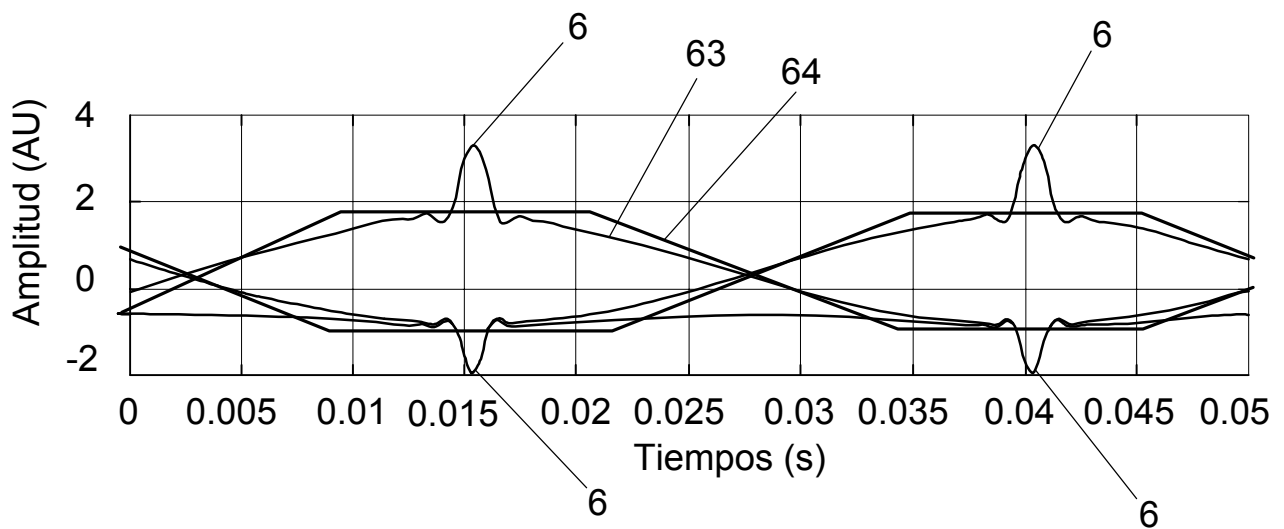


FIG. 6

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 278**

21 Número de solicitud: 201830943

51 Int. Cl.:

G01M 13/02

(2009.01)

12

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

R1

22 Fecha de presentación:

28.09.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.04.2020

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

01.07.2021

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (100.0%)
Campus de Arrosadia s/n
31006 Pamplona (Navarra) ES**

72 Inventor/es:

**MARTINCORENA ARRAIZA, Maite;
DE LA CRUZ BLAS, Carlos Aristóteles;
MATÍAS MAESTRO, Ignacio Raúl y
LÓPEZ MARTÍN, Antonio Jesús**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN ENGRANAJES PLANETARIOS**

57 Resumen:

La presente invención da a conocer un dispositivo para la detección de fallos en un engranaje planetario que comprende un sensor de vibraciones y un procesador configurado para: recibir del sensor de vibraciones una señal de vibración; realizar un filtrado pasa-bajo de dicha señal de vibración obteniendo una señal filtrada; dividir la señal filtrada en una serie de señales intermedias; operar cada una de dichas señales intermedias con una serie de señales base obteniendo una serie de señales procesadas y calcular una serie de valores escalares calculados a partir de cada una de dichas señales procesadas; y emitir a un usuario los valores escalares calculados para determinar un posible fallo en el engranaje planetario.

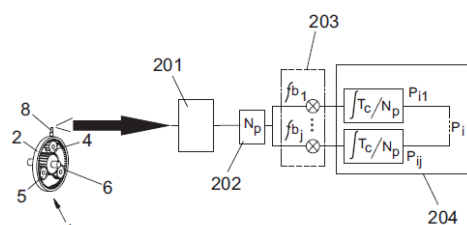


FIG. 2



- ②① N.º solicitud: 201830943
②② Fecha de presentación de la solicitud: 28.09.2018
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G01M13/02** (2019.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2011230304 A1 (MOREL HERVE) 22/09/2011, párrafos 14-16 y 58-66.	1-24
A	CN 107608936 A (UNIV GUILIN ELECTRONIC TECH) 19/01/2018, resumen.	1-24
A	CN 106769000 A (HARBIN INSTITUTE TECHNOLOGY) 31/05/2017, resumen.	1-24
A	CN 103398843 A (UNIV XI AN JIAOTONG) 20/11/2013, resumen.	1-24
A	US 2005284225 A1 (LUO HUAGENG) 29/12/2005, párrafos 14-16.	1-24
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 21.06.2021	Examinador Manuel Fluvià Rodríguez	Página 1/2

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

G01M

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