

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 901 684**

51 Int. Cl.:

G06N 5/00 (2006.01)
G06N 7/00 (2006.01)
G06N 20/20 (2009.01)
B61L 27/00 (2006.01)
B61L 5/02 (2006.01)
G06F 17/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2020 E 20157277 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.10.2021 EP 3702238**

54 Título: **Sistema de diagnóstico y procedimiento de diagnóstico de fallos**

30 Prioridad:

15.02.2019 GB 201902157

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

23.03.2022

73 Titular/es:

**THALES HOLDINGS UK PLC (100.0%)
350 Longwater Avenue Green Park
Reading, Berkshire RG2 6GF, GB**

72 Inventor/es:

**NEWMAN, MICHAEL;
TICKEM, DAVID y
SHAYLER, DANIEL**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 901 684 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de diagnóstico y procedimiento de diagnóstico de fallos

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un sistema de diagnóstico para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario, a un módulo de aprendizaje para un sistema de diagnóstico para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario, a un procedimiento para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario, y a un procedimiento para construir una pluralidad de conjuntos de características para clasificar el comportamiento operativo de un cambio de agujas ferroviario.

10 El comportamiento operativo que se diagnostica puede referirse al funcionamiento normal o a uno o varios tipos de fallos.

Antecedentes

15 Los cambios de agujas ferroviario funcionan cambiando entre diferentes líneas en función de la dirección en la que se dirige un tren. La supervisión de las condiciones puede emplearse para controlar el comportamiento del cambio de agujas, en uso. La monitorización convencional de la condición suele supervisar el comportamiento de un motor eléctrico cuando se acciona el cambio de agujas. Por ejemplo, se puede supervisar la corriente media extraída de un motor eléctrico y, cuando la corriente media durante una oscilación aumenta por encima de un valor umbral, se envía una alarma o advertencia a un terminal de mantenimiento para avisar de que el cambio de agujas requiere una investigación para determinar si hay un fallo.

20 Dichos medios de supervisión no son fiables para detectar todos los tipos de fallos, por ejemplo, los fallos que presentan oscilaciones en torno a un valor establecido, cuyos tipos de fallos no caerían necesariamente por debajo de un valor umbral. Además, estos medios de detección de fallos requieren que un operador evalúe en última instancia la forma de onda para diagnosticar el fallo, por lo que requieren una investigación manual que depende de los conocimientos y la experiencia del operador.

25 El documento CN 105 787 511 A divulga un procedimiento de diagnóstico de fallos de un cambio de agujas basado en una máquina de vectores de soporte.

En consecuencia, existe la necesidad de proporcionar una supervisión mejorada de la condición.

Sumario

La presente invención se define por las características de las reivindicaciones independientes.

30 Se proporciona un sistema de diagnóstico para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario según se define en las características de la reivindicación 1. El sistema de diagnóstico comprende: una entrada dispuesta para recibir una forma de onda asociada al funcionamiento del cambio de agujas ferroviario durante un evento; un módulo de extracción de características dispuesto para extraer rasgos característicos que representen una forma de la forma de onda; y un módulo de clasificación dispuesto para aplicar los rasgos característicos extraídos a las reglas lógicas para clasificar las características según un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario durante el evento, clasificar el comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario basándose en la aplicación de los rasgos extraídos a las reglas lógicas, y generar una señal que indique el comportamiento operativo clasificado.

40 Al extraer los rasgos característicos que representan una forma de onda, se proporcionan más detalles que la mera obtención de un valor medio de la corriente. De este modo, la forma de onda permite diagnosticar el comportamiento de funcionamiento, por ejemplo, un funcionamiento normal o un tipo de fallo, al clasificar la forma de onda. En consecuencia, se proporciona un sistema de clasificación automática que evita la necesidad de investigar manualmente el comportamiento de un cambio de agujas por parte de un operador entrenado.

45 Los rasgos característicos pueden extraerse utilizando la aproximación por ondícula. La aproximación por ondícula es beneficiosa en comparación con otras técnicas de reducción, ya que conserva la resolución temporal de la forma de onda, de modo que se mantiene la forma de la misma. El módulo de clasificación incluye un algoritmo de aprendizaje automático supervisado para generar las reglas lógicas para clasificar el comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario.

El algoritmo de aprendizaje supervisado por máquina comprende un Random Forest. El uso de Random Forest reduce el sobreajuste de los datos y mejora la precisión de la clasificación en comparación con otros procedimientos.

50 La clasificación del comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario puede incluir la selección de subconjuntos de características de las características extraídas, la generación de probabilidades de que los subconjuntos de las características extraídas correspondan a cada uno de los conjuntos de características, y la identificación de un comportamiento operativo más probable basado en las probabilidades generadas.

El evento puede ser una oscilación del cambio de agujas.

La forma de onda puede representar la corriente extraída durante el evento frente a un tiempo de duración del mismo. La monitorización de la corriente es beneficiosa, ya que requiere sensores discretos para medir la corriente, que no interfieren con el funcionamiento del cambio de agujas. Los rasgos característicos extraídos pueden incluir la corriente media de cada periodo. La forma de onda puede ser recibida en tiempo real.

5 Se proporciona un módulo de aprendizaje para un sistema de diagnóstico, el sistema de diagnóstico para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario, tal como se define en las características de la reivindicación 6. El módulo de aprendizaje comprende: una entrada dispuesta para recibir una pluralidad de formas de onda, cada una de las cuales está asociada a un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario durante un evento; 10 un módulo de extracción de características dispuesto para extraer rasgos característicos que representan una forma de las formas de onda; y un módulo de construcción dispuesto para construir una pluralidad de conjuntos de características basados en los rasgos característicos extraídos de las formas de onda, cada conjunto de características correspondiente a un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario.

Las características pueden extraerse mediante la extracción de datos de series temporales periódicas.

15 Los conjuntos de características forman parte de un algoritmo de aprendizaje automático supervisado.

El algoritmo de aprendizaje automático supervisado comprende un Random Forest.

Los conjuntos de características pueden formar árboles del Random Forest.

El módulo de construcción puede construir los conjuntos de características comparando los rasgos característicos extraídos entre la pluralidad de formas de onda, y descartar los rasgos sustancialmente idénticos.

20 La forma de onda puede representar el comportamiento histórico de funcionamiento en servicio del cambio de agujas ferroviario. Es beneficioso utilizar formas de onda históricas en servicio, ya que representarán con mayor precisión las formas de onda de detección de fallos en servicio que otros tipos de formas de onda, por ejemplo, las construidas por expertos de la industria o por simuladores. Las formas de onda proporcionadas por el servicio también pueden tener un mayor grado de variación representativa debido a otros factores como los cambios 25 ambientales. El grado en que el entorno afecta a los equipos es difícil de medir mediante la simulación.

El módulo de extracción de características puede estar dispuesto para normalizar las formas de onda antes de extraer las características. De este modo, se pueden anular las variaciones estacionales que afectan a las formas de onda.

El sistema de diagnóstico anterior puede incluir el módulo de aprendizaje anterior.

30 Se proporciona un procedimiento de diagnóstico de fallos en un cambio de agujas ferroviario como se define en las características de la reivindicación 11. El procedimiento comprende: recibir una forma de onda asociada con el funcionamiento del cambio de agujas ferroviario durante un evento; extraer rasgos característicos de la forma de onda, los rasgos característicos que representan una forma de la forma de onda; aplicar los rasgos característicos extraídos a reglas lógicas para clasificar los rasgos según un comportamiento operativo del cambio de agujas 35 ferroviario durante el evento; clasificar el comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario basándose en la aplicación de los rasgos característicos extraídos a las reglas lógicas; y generar una señal que indique el comportamiento operativo clasificado.

40 Se proporciona un procedimiento de construcción de una pluralidad de conjuntos de características para clasificar el comportamiento de funcionamiento de un cambio de agujas ferroviario, tal como se define en las características de la reivindicación 12. El procedimiento comprende: recibir una pluralidad de formas de onda, cada una de las cuales está asociada a un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario; extraer rasgos característicos de las formas de onda, los rasgos característicos que representan una forma de la forma de onda; y construir una pluralidad de conjuntos de características basados en los rasgos característicos extraídos de las formas de onda, cada conjunto de características correspondiente a un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario; y 45 generar reglas lógicas para cada conjunto de características para clasificar una forma de onda en tiempo real.

Breve descripción de las figuras

Los aspectos y las realizaciones de la materia divulgada se describen mejor con referencia a las figuras adjuntas, de las cuales:

- La figura 1 muestra un cambio de agujas ferroviario;
- 50 - Las figuras 2a y 2b muestran las trazas asociadas al funcionamiento del cambio de agujas ferroviario de la figura 1;
- La figura 3 muestra un diagrama de bloques de un sistema de diagnóstico según una realización;

- La figura 4 muestra un esquema que representa un procedimiento de reducción de ondículas para extraer características de las formas de onda utilizando el sistema de diagnóstico de la figura 3;
- La figura 5 muestra una representación esquemática de las subdivisiones de una forma de onda obtenida por el procedimiento de reducción de ondículas de la figura 4;
- 5 - La figura 6 muestra un gráfico de una forma de onda y una aproximación de la forma de onda correspondiente obtenida mediante el procedimiento de reducción de ondículas;
- La figura 7 muestra una vista similar a la de la figura 6 de otras dos aproximaciones de formas de onda obtenidas mediante el procedimiento de reducción de ondículas;
- 10 - La figura 8 muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del módulo de aprendizaje mostrado en la figura 3; y
- La figura 9 muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de diagnóstico de la figura 3.

Descripción detallada de las realizaciones

15 La figura 1 muestra un esquema de un cambio de agujas ferroviario 101 utilizado para guiar un tren desde una primera vía 103 a una segunda vía 105 y un procesador 109 para ejecutar instrucciones de funcionamiento para operar el cambio de agujas ferroviario 101, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación.

20 El cambio de agujas ferroviario 101 es un ejemplo de sistema electromecánico en la infraestructura ferroviario y es accionado por un motor eléctrico 107. Cuando se activa, el cambio de agujas ferroviario 101 mueve ligeramente las agujas de cruce de cambio de agujas (no mostradas) entre la primera vía 103 y la segunda vía 105, de manera que un tren que se aproxima a la intersección entre la primera vía 103 y la segunda vía 105 se desvíe hacia la segunda vía 105.

25 El cambio de agujas ferroviario 101 comprende el motor eléctrico 107 y un mecanismo de engranaje (no mostrado). El motor eléctrico 107 transforma la energía eléctrica en energía mecánica y genera un movimiento de rotación que se utiliza para mover las agujas de cruce del cambio de agujas entre la primera vía 103 y la segunda vía 105. El mecanismo de engranaje puede reducir la velocidad angular del motor y amplificar el par aplicado por el motor a las agujas de cruce del cambio de agujas. Además, puede transformar el movimiento de rotación en un movimiento de traslación. El mecanismo de las agujas de cruce del cambio de agujas incluye muelles y amortiguadores configurados para controlar el movimiento de las agujas de cruce del cambio de agujas entre la primera vía 103 y la segunda vía 105. Además, se puede utilizar un pasador de bloqueo o similar para conectar el motor eléctrico 107 a través de una varilla de accionamiento con las agujas de cruce del cambio de agujas.

30 En las realizaciones de la presente divulgación, las mediciones del uso eléctrico del motor eléctrico 107 se realizan cada vez que se acciona el cambio de agujas ferroviario 101 para conmutar los puntos, es decir, para mover las agujas de cruce del cambio de agujas. La medición puede llevarse a cabo midiendo uno de los diversos parámetros de uso eléctrico; estos parámetros pueden incluir, por ejemplo, la corriente consumida por el motor, la caída de tensión a través de la máquina o la potencia transferida por la máquina. Las mediciones pueden realizarse con un medidor adecuado (contador de corriente, voltímetro, contador de potencia, etc.) En el ejemplo mostrado, la medición se lleva a cabo midiendo la corriente consumida por el motor eléctrico durante el funcionamiento. En algunas realizaciones, la(s) medición(es) se emite(n) en forma de una traza de señal o similar a un procesador operativo 109. El procesador operativo 109 puede estar situado cerca del cambio de agujas ferroviario 101 o estar en una ubicación remota. El procesador puede utilizar la extracción de series temporales periódicas para generar trazas individuales 111a, 111b (figura 2) a partir del parámetro eléctrico medido.

35 Con referencia a las figuras 2a y 2b, la traza de la señal puede comprender una traza 111a, 111b que muestra el cambio en el parámetro de uso eléctrico asociado con el motor eléctrico 107 con el tiempo durante la operación del cambio de agujas ferroviario 101. El parámetro eléctrico utilizado en las trazas 111a, 111b, mostradas en las figuras 2a y 2b, es la corriente eléctrica consumida al accionar el cambio de agujas 101 durante un evento, por ejemplo, un evento de oscilación. En particular, las dos trazas 111, 111b son trazas relativas a dos tipos de fallos diferentes cuando el cambio de agujas ferroviario 101 está funcionando erróneamente.

40 En la primera traza 111a, relativa al primer tipo de fallo, se observa que la corriente extraída se dispara en exceso y luego decae rápidamente y oscila de forma irregular en torno a un valor de consigna. El pico de corriente puede describirse como un impulso de carga. En la segunda traza 111b, relativa al segundo tipo de fallo, el impulso de carga decae rápidamente y la corriente oscila de forma irregular alrededor de un primer valor de consigna, antes de volver a subir para oscilar de forma irregular alrededor de un segundo valor de consigna. Ambas trazas 111a, 111b terminan abruptamente cuando la corriente decae súbitamente a cero amperios.

45 Con referencia a la figura 3, el procesador 109 (véase la figura 1) se utiliza para diagnosticar los tipos de fallos asociados con cada forma de onda en la primera y segunda trazas 111a, 111b. En particular, un sistema de diagnóstico 113 se almacena en una memoria (no mostrada) y es ejecutado por el procesador 109. El sistema de

5 diagnóstico 113 incluye un módulo de aprendizaje 115 almacenado como datos electrónicos en la memoria. El módulo de aprendizaje 115 incluye una entrada 119, un módulo de extracción de características 121 y un módulo de construcción 123. El procesador 109 puede estar situado en la vía o a distancia. En el caso del procesador 109 situado a distancia, los datos se envían de forma inalámbrica, por ejemplo, mediante sistemas globales de comunicaciones móviles (GSM), momento en el que la forma de onda puede aplicarse al clasificador.

10 La entrada 119 recibe una pluralidad de trazas 117 que representan formas de onda históricas en servicio similares a las mostradas en las figuras 2a y 2b. Alternativamente, se pueden utilizar formas de onda simuladas o construidas manualmente, pero se prefieren las formas de onda históricas en servicio, ya que representan el cambio de agujas en un entorno no ideal y son más comparables a las formas de onda en servicio, como las que se muestran en las figuras 2a y 2b.

Las trazas 117 pueden obtenerse realizando una extracción de datos de series temporales periódicas en un flujo de datos del cambio de agujas ferroviario 101 (Figura 1).

15 El módulo de extracción de características 121 normaliza primero las formas de onda 117 para eliminar cualquier variación estacional debida a los cambios meteorológicos, por ejemplo. A continuación, el módulo de extracción de características 121 realiza un preprocesamiento de las formas de onda 117 para prepararlas para la clasificación.

20 Con referencia a la Figura 4, una traza puede ser preprocesada por aproximación por ondícula. La aproximación por ondícula, a diferencia de muchas otras transformaciones posibles, es ventajosa porque conserva la resolución temporal y así se mantiene la forma de onda. Una vez reducida, la forma de onda resultante puede considerarse una aproximación a la forma de onda original. La aproximación incluye una pluralidad de divisiones temporales, cada una de las cuales incluye un valor medio (como se describe a continuación). Los valores medios en las divisiones temporales pueden utilizarse para obtener los rasgos característicos.

La aproximación por ondícula reduce la onda a un número de valores medios residuales utilizando la siguiente fórmula:

$$M_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

25 En la fórmula (1), M es el valor medio, n es el número de valores en una sección y X es el valor numérico.

Con referencia a la figura 4, la onda completa puede tomarse como una primera "sección", mostrada en un primer nivel 140 de división. La fórmula (1) anterior se utiliza para determinar la media de esta primera "sección".

30 La onda se divide entonces en un número de secciones en un nivel inferior, en este caso el segundo nivel 142. El número máximo de subdivisiones es igual a 2^n para que la onda se represente de manera uniforme, y esto producirá $(2^{n+1}-1)$ componentes de la ondícula.

Según la figura 4, el segundo nivel 142 tiene dos "secciones" en las que se divide la onda. Las divisiones pueden ser iguales en duración de tiempo, de manera que la onda se divida en una primera mitad y una segunda mitad, cada una de las cuales tiene una duración igual a la mitad del tiempo total de la onda.

35 La figura 4 muestra tres niveles que dan lugar a cuatro secciones en las que se ha dividido la onda. La cuarta sección del tercer nivel 144 muestra la fórmula (2), que es

$$M_{4/4} = \frac{1}{(2^{n+1}-1)} \sum_{j=1}^{2^{n+1}-1} (X_j - M_1 - M_{2/2}) \quad (2)$$

40 Como puede apreciarse en la fórmula (2), se toma un valor en una sección de nivel inferior y se le resta el valor medio, M, de una sección de nivel superior. De este modo, el valor medio de la sección de nivel inferior se determina utilizando todos los valores de esa sección. Por ejemplo, M_1 es la media de toda la onda, $M_{1/2}$ y $M_{2/2}$ son entonces los valores medios de la primera y la segunda mitad de la onda una vez sustraída la media, y así sucesivamente. Este proceso puede repetirse hasta que haya un determinado número máximo de subdivisiones o hasta que haya un número máximo de componentes de la ondícula.

Con referencia a la figura 5, el número máximo de subdivisiones es ocho, y el número máximo de componentes de la ondícula es quince.

45 Con referencia a la figura 6, una traza original puede ser aproximada usando la ondícula descrita anteriormente usando un número máximo de subdivisiones de 16 ondículas. La forma de onda original se muestra a la izquierda de la figura 6 y la aproximación se muestra a la derecha de la figura 6. En la figura 6 se observa que la aproximación

por ondícula sigue la forma de la traza original, aunque elimina parte de la resolución en las lecturas de corriente (mA).

La figura 7 muestra dos ejemplos de ondículas con un número diferente de subdivisiones máximas. Se observan dos efectos principales a medida que disminuye el número de subdivisiones utilizadas. En primer lugar, la variación de la aproximación respecto a la forma de onda original aumenta, lo que representa la eliminación de la información al formar la ondícula. La segunda es que los cambios de alta frecuencia (como se puede apreciar en -180 y -270 en el ejemplo) no están bien representados por la aproximación por ondícula. Los cambios repentinos como éstos no representan características significativas para la mayoría de los síntomas de fallo que habrían sido seleccionados para su clasificación. Sin embargo, esto no es cierto en el caso de ciertos tipos de fallos, por ejemplo, el síntoma de fallo de "desgaste de las escobillas del motor", ya que ésta tiene oscilaciones de alta frecuencia como propiedad principal para su identificación.

El módulo de construcción 123 utiliza las características para construir una pluralidad de conjuntos de características, cada uno de los cuales representa un tipo de fallo, y a continuación entrena un algoritmo de aprendizaje automático supervisado para clasificar el tipo de fallo asociado a la traza. El algoritmo de aprendizaje automático supervisado puede ser un Random Forest. Los conjuntos de características se construyen comparando las características de la pluralidad de trazas 117 e identificando características distintivas de entre las características de las trazas. Los rasgos distintivos pueden identificarse comparando los rasgos entre las trazas 117 y descartando los rasgos sustancialmente idénticos.

Durante el aprendizaje, el módulo de construcción 123 examina todos los valores generados por el Random Forest para una característica particular. El módulo de construcción 123 genera entonces reglas lógicas de clasificación. Las reglas lógicas clasifican un fallo según la comparación de la característica de una traza en tiempo real con el número de la regla lógica.

Los conjuntos de características para cada tipo de fallo, o comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario 101, se utilizan entonces para formar los árboles de Random Forest.

Todavía con referencia a la Figura 3, el sistema de diagnóstico 113 puede incluir una entrada 125, un módulo de extracción de características 127, y un módulo de clasificación 129.

La entrada 125 recibe las trazas 111a, 111b. El módulo de extracción de características 127 utiliza el mismo preprocesamiento descrito anteriormente para el módulo de aprendizaje 115, por lo que se omitirá la descripción duplicada. Una vez extraídas las características de una traza en tiempo real 111a, 111b, dichas características se clasifican utilizando la regla lógica de la fase de aprendizaje. Por ejemplo, si la regla lógica tiene un valor de 10,16, la característica de la traza entrante 111a, 111b puede clasificarse como un fallo de clase 1, 4 o 5, de entre 6 clases de características potenciales, si el valor de la característica de la traza 111a, 111b es superior a 10,16. Del mismo modo, la característica de la traza entrante 111a, 111b puede clasificarse como un fallo de clase 2, 3 o 6, de entre las 6 clases de características potenciales, si el valor de la característica de la traza 111a, 111b, es inferior a 10,16.

Cada árbol de Random Forest proporciona una decisión sobre el comportamiento operativo que cree que está ocurriendo. Por ejemplo, el primer árbol puede explicar que funciona con normalidad, y no proporcionaría ninguna otra información sobre las probabilidades de otros fallos. A continuación, se cuenta la decisión de todos los árboles individuales y se obtiene la probabilidad global.

A modo de ejemplo ilustrativo, si hay diez árboles, y tres de esos diez árboles predijeron que el cambio de agujas funcionaba normalmente, tres predijeron el fallo A, y 4 predijeron el fallo B. En este caso, las probabilidades globales dadas del clasificador serían 30% normal, 30% fallo A, y 40% fallo B.

Cabe señalar que los comportamientos de funcionamiento relativos a los conjuntos de características no son necesariamente representativos de los tipos de fallos, ya que también podrían representar el cambio de agujas 101 funcionando normalmente.

Una vez que la traza 111a, 111b ha sido clasificada de acuerdo con un comportamiento operativo, se genera una señal que puede ser enviada a un terminal de operador (no mostrado) para que un operador pueda investigar. La señal puede incluir un mensaje en el que se detallan los metadatos asociados al fallo, como la hora y la fecha del evento, y una etiqueta de clasificación que incluye una descripción de la clasificación que se sospecha. También se pueden proporcionar las probabilidades de cada una de las clases junto con la etiqueta de clasificación global.

Con referencia a la figura 8, el funcionamiento del módulo de aprendizaje puede describirse en términos de un procedimiento. En primer lugar, se recibe una pluralidad de trazas 117 en el paso 200. Las trazas 117 pueden ser preprocesadas en el paso 202. El preprocesamiento normaliza en primer lugar las trazas 117. Forest. En una realización, las características extraídas se clasifican utilizando Random Forest que aplica un valor de una característica a las reglas lógicas creadas durante la fase de aprendizaje para generar una probabilidad de que la traza 111a, 111b esté asociada a un comportamiento operativo representado por cada conjunto de características. Posteriormente, se estima la clasificación del comportamiento operativo en función de las probabilidades. Una vez

5 clasificada la traza 111a, 111b, se genera una señal en la etapa 308 que indica el comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario. La señal puede enviarse a un terminal de operador para describir el comportamiento de funcionamiento a un operador para ayudar al diagnóstico de fallos. De este modo, se reduce la carga para el operario, ya que un fallo puede diagnosticarse con mayor precisión y rapidez y sin la intervención de un experto, como sería el caso habitualmente. Además, se puede proporcionar una mayor proporción de alarmas positivas verdaderas para que el tiempo de los operadores se pueda utilizar de forma más eficiente. Los inconvenientes asociados a los sistemas convencionales incluyen una elevada proporción de falsas alarmas que suponen una carga para los operarios, ya que tienen que dedicar tiempo a investigar alarmas que no son indicativas de fallos reales.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de diagnóstico (113) para diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario (101), el sistema de diagnóstico (113) comprende:
 - 5 una entrada dispuesta para recibir una forma de onda (117) asociada al funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101) durante un evento;
 - un módulo de extracción de características (121) dispuesto para extraer rasgos característicos que representen una forma de onda (117); y
 - un módulo de clasificación (129) dispuesto para aplicar los rasgos característicos extraídos a reglas lógicas para clasificar los rasgos en función de un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101) durante el evento, clasificar el comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101) basándose en la aplicación de los rasgos característicos extraídos a las reglas lógicas, y generar una señal que indique el comportamiento operativo clasificado, **caracterizado porque** el módulo de clasificación (129) incluye un algoritmo de aprendizaje automático supervisado para generar las reglas lógicas para clasificar el comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101), en el que el algoritmo de aprendizaje automático supervisado comprende un Random Forest.
2. El sistema de diagnóstico (113) de la reivindicación 1, en el que los rasgos característicos se extraen mediante aproximación por ondícula.
3. El sistema de diagnóstico (113) de la reivindicación 1, en el que la clasificación del comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101) incluye la selección de subconjuntos de características a partir de las características trazadas, la generación de probabilidades de que los subconjuntos de las características extraídas correspondan a cada uno de los conjuntos de características, y la identificación de un comportamiento de funcionamiento más probable basado en las probabilidades generadas, y opcionalmente en el que el evento es una oscilación del cambio de agujas (101).
4. El sistema de diagnóstico (113) de cualquier reivindicación anterior, en el que la forma de onda (117) representa la corriente extraída durante el evento frente a un tiempo de duración del mismo, y/o en el que la forma de onda (117) se recibe en tiempo real.
5. El sistema de diagnóstico (113) de la reivindicación 4, en el que los rasgos característicos extraídos incluyen la corriente media de cada período.
6. Un módulo de aprendizaje (115) para un sistema de diagnóstico (113), el sistema de diagnóstico (113) estando destinado a diagnosticar fallos en un cambio de agujas ferroviario (101), el módulo de aprendizaje (115) comprende:
 - 30 una entrada (125) dispuesta para recibir una pluralidad de formas de onda (117), cada una de las cuales está asociada a un comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101) durante un evento;
 - un módulo de extracción de características (121) dispuesto para extraer rasgos característicos que representan una forma de las formas de onda (117); y
 - un módulo de construcción (123) dispuesto para construir una pluralidad de conjuntos de rasgos basados en los rasgos característicos extraídos de las formas de onda (117), correspondiendo cada conjunto de rasgos a un comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101), **caracterizado porque** los conjuntos de rasgos forman parte de un algoritmo de aprendizaje automático supervisado, en el que el algoritmo de aprendizaje automático supervisado comprende un Random Forest.
7. El módulo de aprendizaje (115) de la reivindicación 6, en el que las características se extraen mediante aproximación por ondícula.
8. El módulo de aprendizaje (115) de la reivindicación 6, en el que los conjuntos de características forman árboles de Random Forest, y opcionalmente en el que el módulo de construcción (123) construye los conjuntos de características comparando los rasgos característicos extraídos entre la pluralidad de formas de onda (117), y descartando los rasgos sustancialmente idénticos.
9. El módulo de aprendizaje (115) de una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la forma de onda (117) representa el comportamiento histórico de funcionamiento en servicio del cambio de agujas ferroviario (101), en el que el módulo de extracción de características (121) está dispuesto para normalizar las formas de onda (117) antes de la extracción de las características.
10. El sistema de diagnóstico (113) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende el módulo de aprendizaje (115) de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9.
11. Un procedimiento de diagnóstico de fallos en un cambio de agujas ferroviario (101), el procedimiento comprende:

- recibir una forma de onda asociada con el funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101) durante un evento;
extraer rasgos característicos de la forma de onda (117), los cuales representan una forma de la forma de onda (117);
- 5 aplicar los rasgos característicos extraídos a reglas lógicas para clasificar los rasgos en función de un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101) durante el evento;
clasificar el comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101) basándose en la aplicación de los rasgos característicos extraídos a las reglas lógicas; y
- 10 generar una señal que indique el comportamiento operativo clasificado del cambio de agujas ferroviario (101), **caracterizado porque** el procedimiento comprende además generar las reglas lógicas utilizando un algoritmo de aprendizaje automático supervisado para clasificar el comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101), en el que el algoritmo de aprendizaje automático supervisado comprende un Random Forest.
12. Un procedimiento de construcción de una pluralidad de conjuntos de características para clasificar el comportamiento operativo de un cambio de agujas ferroviario (101), el procedimiento comprende:
- 15 recibir una pluralidad de formas de onda (117), cada forma de onda (117) está asociada a un comportamiento de funcionamiento del cambio de agujas ferroviario (101);
extraer rasgos característicos de las formas de onda (117), los rasgos característicos representan una forma de la forma de onda (117); y
- 20 construir una pluralidad de conjuntos de características basados en los rasgos característicos extraídos de las formas de onda (117), correspondiendo cada conjunto de características a un comportamiento operativo del cambio de agujas ferroviario (101), y
generar reglas lógicas para cada conjunto de características para clasificar una forma de onda en tiempo real,
- 25 **caracterizado porque** los conjuntos de características forman parte de un algoritmo de aprendizaje automático supervisado, en el que el algoritmo de aprendizaje automático supervisado comprende un Random Forest.

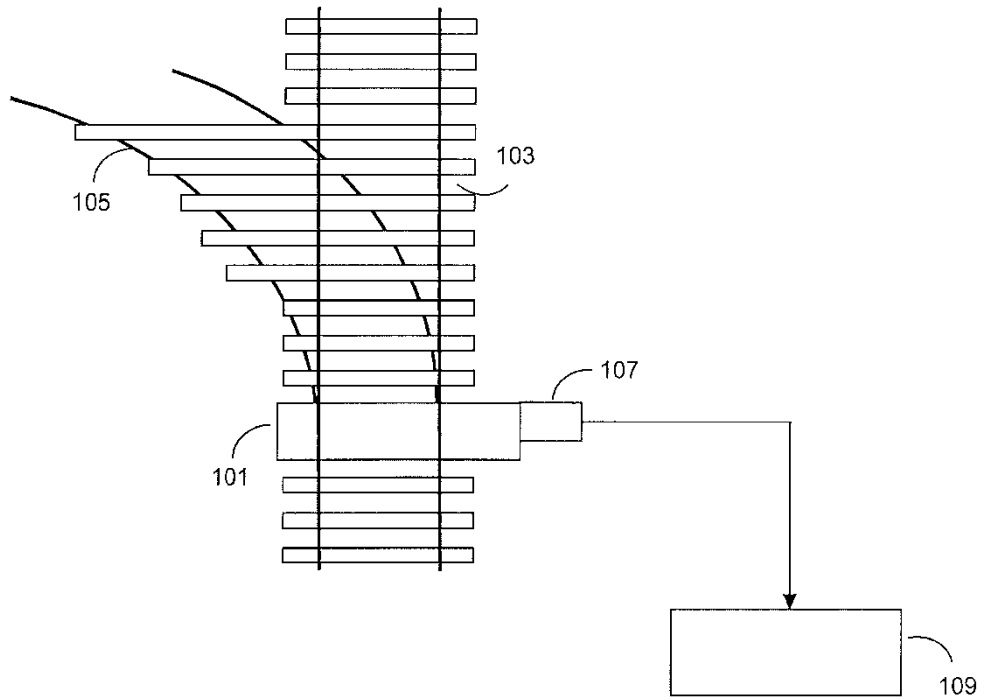


Fig. 1

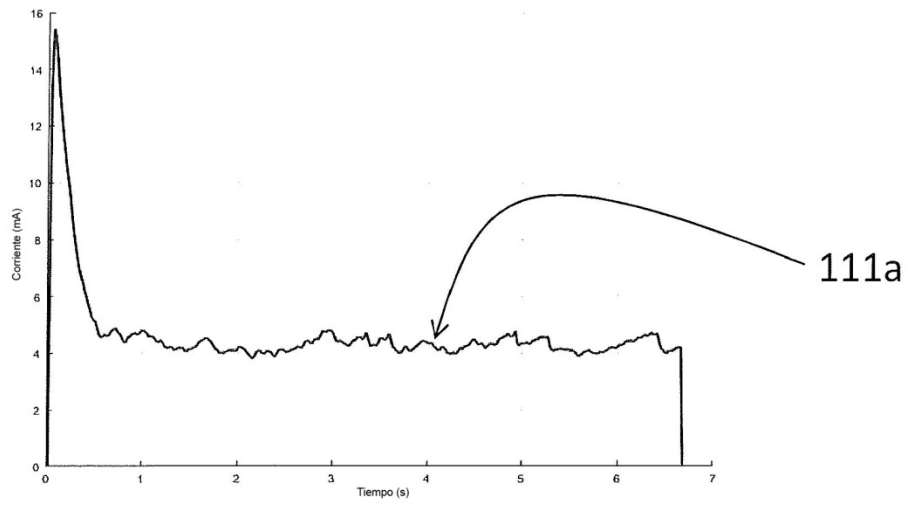


Fig. 2a

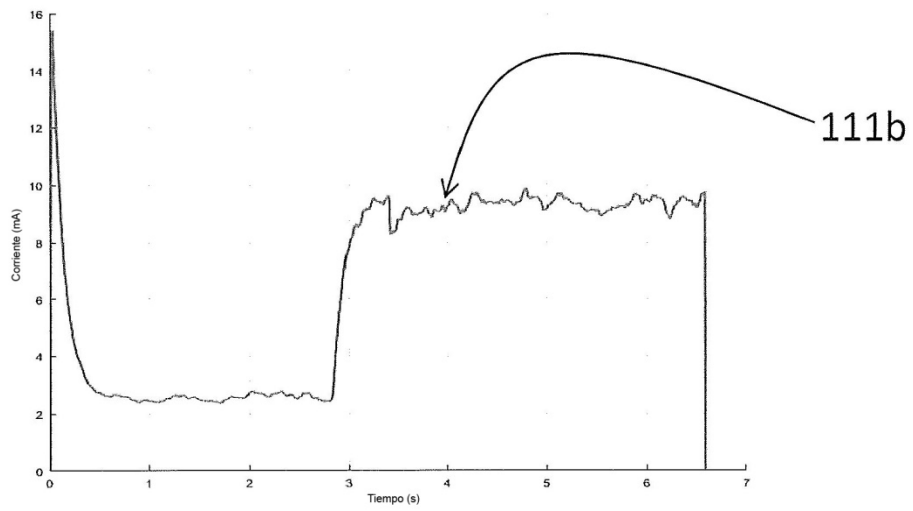


Fig. 2b

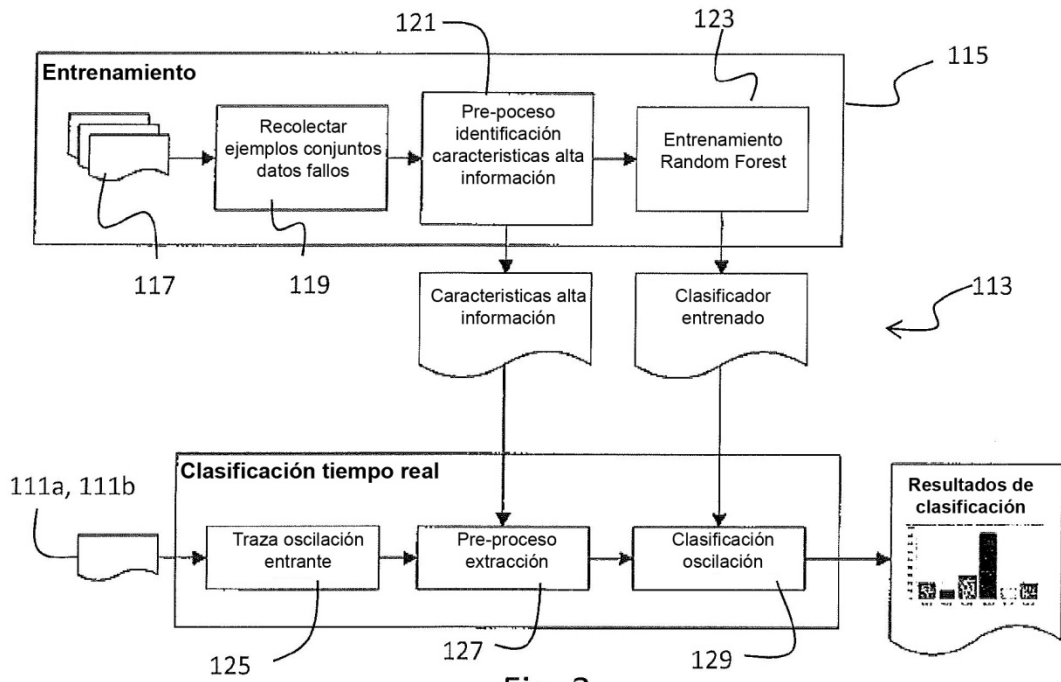


Fig. 3

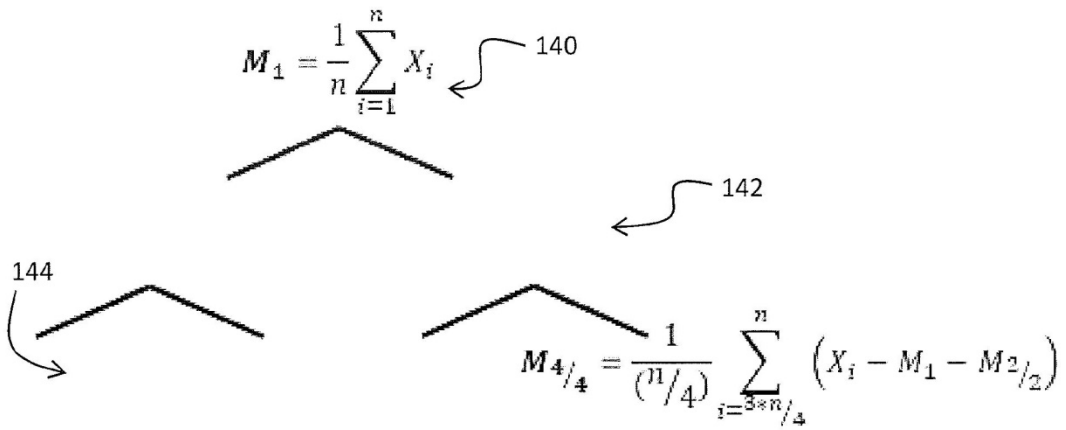


Fig. 4

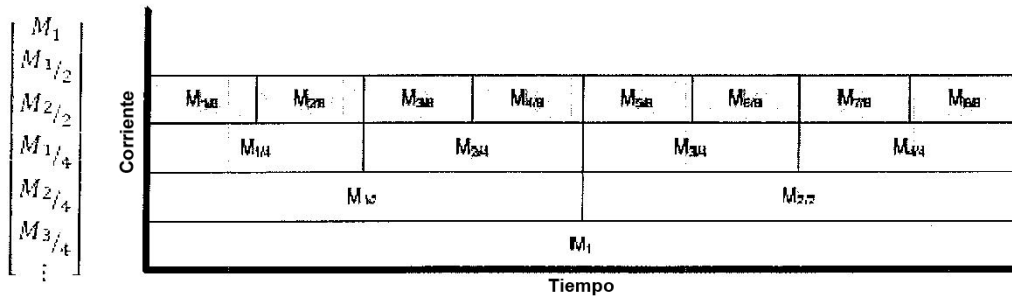


Fig. 5

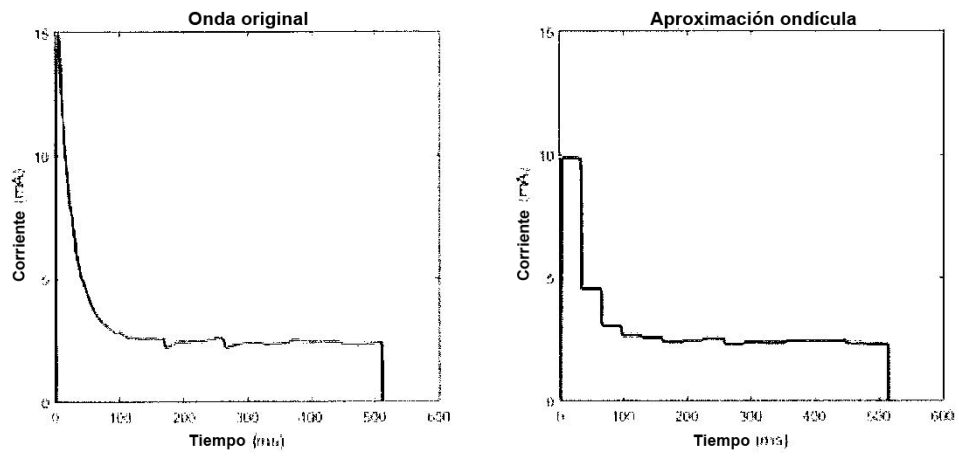


Fig. 6

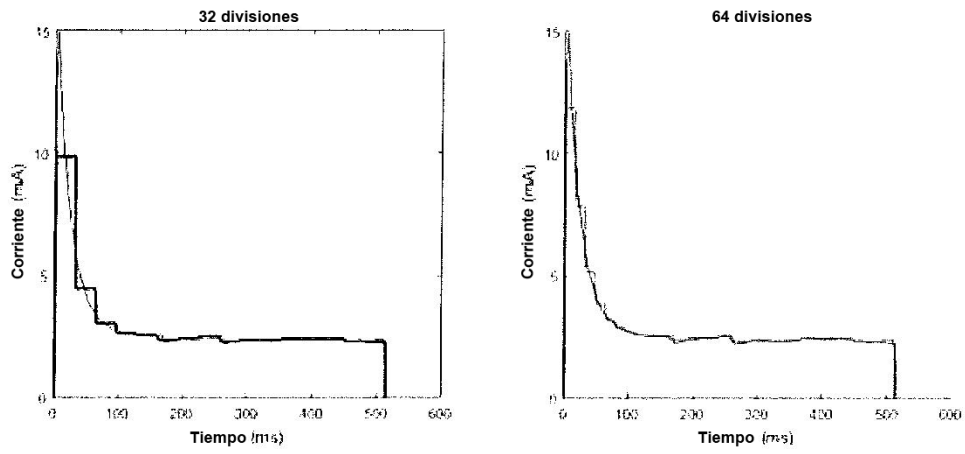


Fig. 7

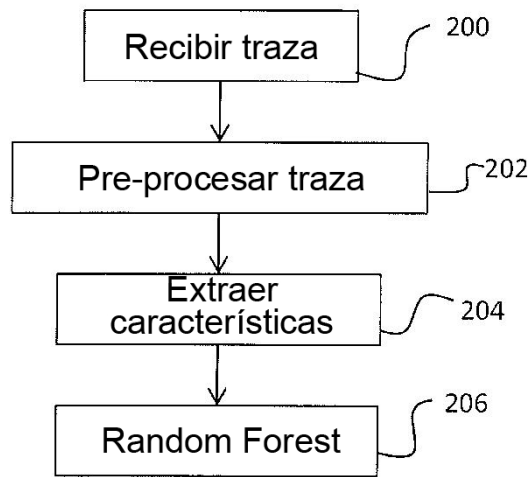


Fig. 8

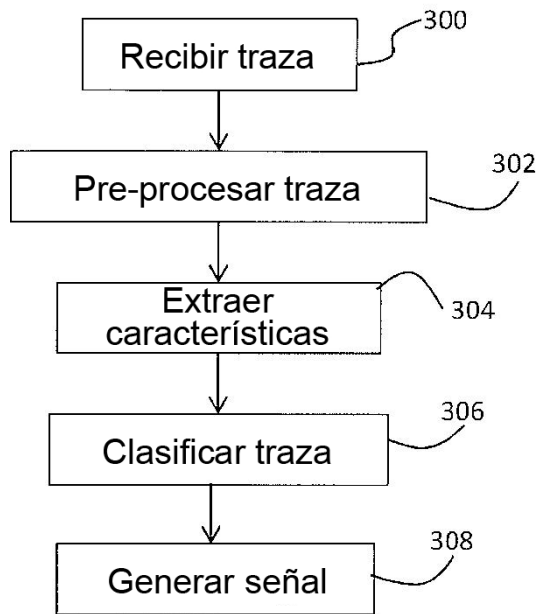


Fig. 9