

SISTEMA INTEGRADO PARA EVALUAR Y MODELAR LA INTEGRIDAD DE RUEDAS Y  
RINES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA

CAMPO

La tecnología actual es un sistema integrado que permite la prueba concomitante de múltiples ruedas y rines de vehículos todoterreno (OTR) en múltiples ubicaciones, seguido del análisis, almacenamiento y modelado predictivo de datos en una instalación central. Más específicamente, es un sistema informático, una sonda de corrientes de Foucault multielementos, un analizador de fluorescencia de rayos X y un microscopio óptico para su uso durante la inspección no destructiva de ruedas y rines de vehículos OTR en busca de defectos y desgaste.

ANTECEDENTES

Las prácticas actuales para inspeccionar ruedas y rines de vehículos todo terreno, particularmente en el sector minero, implican enviar las ruedas y rines a una instalación central para su inspección, reparación y certificación. Esta instalación puede estar a cientos de millas del emplazamiento de la mina. Cuando están en la instalación, se realiza la inspección electromagnética, en particular, de partículas magnéticas. Aproximadamente el 50 % de las ruedas y rines enviados de una mina a una instalación central están en buenas condiciones. La logística de esto es engorrosa, pero es la única opción disponible para los clientes mineros. Además de esto, la evaluación es una evaluación visual, por lo tanto, depende de la habilidad y experiencia del evaluador. Aún más, los datos no se adquieren ni almacenan electrónicamente y deben, por lo tanto, entrarse manualmente si se desea un archivo.

La región más crítica para el examen en una rueda y rin de OTR es donde el metal se encuentra con el metal. La sección que tiene contacto directo de metal con metal es la sección de la ranura del anillo de bloqueo. La sección de canalón de un rin o rueda de OTR tiene 4 patrones de surcos individuales distintos (HDT, EM, EMH, & EV). El diseño de la ranura se selecciona por lo general basándose en el tamaño y aplicación del rin. La sección trasera tiene 3 diseños de fabricación distintos (estándar MES, TSR, IGLR y DGS). La selección del diseño de la sección trasera está relacionada con el soporte de los neumáticos y el posicionamiento en el camión. Significativamente, hay siete perfiles de rin principales que se utilizan en los vehículos de camiones mineros OTR. También hay varios perfiles de ruedas y rines para motoniveladoras, cargadoras, camiones madereros, instalaciones portuarias y otros vehículos todoterreno.

Se ha demostrado que las pruebas de corrientes de Foucault multielementos son extremadamente útiles para probar ruedas y rines de vehículos todoterreno, tales como ruedas y rines de camiones utilizados en minería. Por ejemplo, la patente canadiense n.º 2943475 desvela un método para examinar una rueda o rin en el emplazamiento que se proporciona utilizando un sistema que comprende una sonda de corrientes de Foucault multielementos en comunicación electrónica con una computadora, teniendo la computadora un procesador y una

memoria, la memoria para proporcionar instrucciones al procesador. El método comprende: estandarizar la sonda de corrientes de Foucault multielementos con un estándar de referencia; ajustar la sonda de corrientes de Foucault multielementos con un tornillo de elevación para proporcionar una distancia adecuada entre la sonda y una superficie de la rueda o rin; escanear la rueda o rin con una corriente alterna; enviar un conjunto de datos a la computadora; analizando la computadora el conjunto de datos; y mostrando la computadora una imagen tridimensional del conjunto de datos en una interfaz de usuario. Este método está especialmente desarrollado para vehículos todoterreno en emplazamientos mineros o para ruedas y rines de vehículos todoterreno. El error humano y la falta de personal debidamente capacitado han limitado la utilidad de este método de prueba. Además, solo proporciona información sobre el estado actual de la rueda o rin y no proporciona información sobre la solidez y vida útil restante.

El análisis elemental se ha utilizado con otros parámetros para predecir la tenacidad del metal, por ejemplo, la solicitud de patente de los Estados Unidos 20180217104 desvela sistemas y métodos para determinar un valor de tenacidad para un material de una parte metálica, en donde el método comprende detectar una textura de un material de acero al carbono usando una unidad de microscopía ultrasónica, en donde la unidad de microscopía ultrasónica utiliza una o más formas de onda que incluyen al menos una de haz recto, matriz en fase, onda de cizalla y difracción de tiempo de vuelo (TOFD); determinar el análisis elemental del material de acero al carbono; combinar la textura con el análisis elemental para generar un valor de tenacidad para el acero; comparar el valor de tenacidad generado con una curva estándar, en donde cuando el valor de tenacidad cae por debajo de la curva, el material de acero al carbono tiene una tenacidad aceptable, y cuando el valor de tenacidad cae por encima de la curva, el material de acero al carbono presenta una tenacidad inaceptable. Actualmente no existe una base de conocimientos que relacione la calidad del acero utilizado en ruedas y rines todoterreno con la vida útil de esas ruedas y rines.

Se ha utilizado microscopía óptica para evaluar el agrietamiento por corrosión, fatiga por corrosión y fragilización por hidrógeno en metales. El tamaño y forma del grano (indicativo tanto de la química como del procesamiento), inclusiones y patrones de estrés interno son también algunos de los elementos comunes de interés para la obtención de imágenes de metales por microscopía óptica. A pesar de esto, actualmente no existe una base de conocimientos que relacione la estructura microscópica del acero en ruedas y rines todo terreno con la vida útil de esas ruedas y rines.

Lo que se necesita es un sistema que permita la inspección concomitante de múltiples ruedas de acero y rines de acero de vehículos OTR en múltiples ubicaciones, seguido de un análisis de datos en la ubicación del cliente o en una instalación central. Sería preferible que la inspección incluyera evaluaciones de la calidad del acero en términos de análisis elemental y estructura microscópica, además de pruebas de corrientes de Foucault multielementos para

detectar daños y desgaste. Sería preferible que el sistema pudiera identificar inspecciones defectuosas de corrientes de Foucault multielementos, incluyendo permanecer en una posición determinada o no probar los 360 grados de la rueda. Lo que también se necesita es un sistema que integre datos de pruebas no destructivas con mantenimiento predictivo y algoritmos de aprendizaje automático para proporcionar modelos predictivos de la solidez de la rueda y rin y posibles modos de fallo de las ruedas y rines.

### SUMARIO

La tecnología actual está dirigida a un sistema que permite la prueba concomitante de múltiples ruedas y rines de vehículos OTR en múltiples ubicaciones, con análisis de datos en una instalación central. El sistema está diseñado para reducir los cambios innecesarios de ruedas y rines, ya que puede identificar pruebas defectuosas, incluyendo permanecer en una posición determinada o no probar los 360 grados de la rueda. Los errores en las pruebas se pueden comunicar al emplazamiento de prueba en remoto mediante el sistema informático. El sistema informático puede comunicarse también con un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP). Esto puede ser por radio, WiFi o Bluetooth® u otra comunicación inalámbrica. La recopilación de datos incluye la identificación positiva del material y la caracterización microscópica, que en conjunto son indicativos de la calidad del acero, y tanto las pruebas de corrientes de Foucault multielementos como la caracterización microscópica que juntas son indicativas de la solidez del acero. El sistema integra también datos de pruebas no destructivas con mantenimiento predictivo y algoritmos de aprendizaje automático para proporcionar modelos predictivos de la solidez de la rueda y rin y posibles modos de fallo de las ruedas y rines. Se proporcionan modelos predictivos para la programación posterior de inspección y mantenimiento preventivo.

En una realización, se proporciona un sistema para el modelado predictivo del desgaste y daños en una rueda de acero o un rin de acero de un vehículo todoterreno en el emplazamiento, comprendiendo el sistema: una sonda de corrientes de Foucault multielementos, que está configurada para generar y transmitir escaneos; y un dispositivo informático que está en comunicación electrónica con la sonda de corrientes de Foucault multielementos e incluye una memoria y un procesador, estando el procesador controlado por la memoria, en donde la memoria está configurada para recibir los escaneos, determinar cambios en los escaneos a lo largo del tiempo, analizar estadísticamente los cambios en relación con el tiempo para proporcionar un conjunto de características basadas en el tiempo, aplicar las características basadas en el tiempo como valores de entrada a una transformación seleccionada y desarrollar un modelo predictivo de solidez y vida útil restante de la rueda o rin de acero utilizando la transformación seleccionada.

El sistema puede incluir además un analizador de fluorescencia de rayos X.

En el sistema, la memoria puede configurarse para correlacionar los datos del analizador

de fluorescencia de rayos X (identificación positiva de material) con las características basadas en el tiempo.

En el sistema, la memoria puede configurarse para desarrollar un modelo predictivo de solidez y vida útil basado en análisis elemental basándose en los datos del analizador de fluorescencia de rayos X.

El sistema puede incluir además un microscopio de alta resolución.

En el sistema, la memoria puede configurarse para correlacionar los datos del microscopio de alta resolución con las características basadas en el tiempo.

En el sistema, la memoria puede configurarse para desarrollar un modelo predictivo de solidez y vida útil basado en microestructura basándose en los datos del microscopio de alta resolución.

En el sistema, la memoria puede configurarse para combinar el modelo predictivo basado en análisis elemental con el modelo predictivo basado en microestructura para determinar un modelo predictivo de solidez y vida útil.

En otra realización, se proporciona un método para inspeccionar una rueda de acero o un rin de acero de un vehículo todoterreno en el emplazamiento, comprendiendo el método: seleccionar un sistema que comprende un analizador de fluorescencia de rayos X en comunicación electrónica con una computadora de ubicación remota, una sonda de corrientes de Foucault multielementos en comunicación electrónica con la computadora de ubicación remota, teniendo la computadora de ubicación remota un procesador, una memoria, siendo la memoria para proporcionar instrucciones al procesador y una interfaz de usuario, y una computadora de la instalación central, que incluye un procesador y una memoria, siendo la memoria para proporcionar instrucciones al procesador, comprendiendo el método: escanear la rueda de acero o rin de acero con el analizador de fluorescencia de rayos X; estandarizar la sonda de corrientes de Foucault multielementos con un estándar de referencia; colocar la sonda de corrientes de Foucault multielementos en una superficie de la rueda de acero o rin de acero; escanear la rueda de acero o rin de acero con una corriente alterna; enviar datos tanto a la computadora de ubicación remota como a la computadora de la instalación central; la computadora de la instalación central determina si el escaneo es defectuoso; si el escaneo es defectuoso, la computadora de la instalación central envía una alerta a la computadora de ubicación remota; una vez finalizado el escaneo, la computadora de ubicación remota analiza los datos; la computadora de ubicación remota muestra una imagen tridimensional de los datos en la interfaz de usuario; y la computadora de la instalación central analiza, compila y almacena los datos.

El método además puede comprender examinar la microestructura de la rueda de acero o rin de acero.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para detectar una discontinuidad de la

superficie.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para detectar una discontinuidad debajo de la superficie.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para determinar si hay discontinuidad tanto en la superficie como debajo de la superficie.

En el método, en el emplazamiento puede haber una mina.

El método además puede comprender multiplexar los datos.

El método además puede comprender la compilación de un conjunto de datos de inspecciones a lo largo del tiempo.

En otra realización, se proporciona un método para desarrollar un modelo predictivo de solidez y vida útil restante de una rueda de acero o rin de acero de un vehículo todoterreno en el emplazamiento, comprendiendo el método: seleccionar un sistema que comprende una computadora, teniendo la computadora un procesador, una memoria, siendo la memoria para proporcionar instrucciones al procesador, y una interfaz de usuario; una sonda de corrientes de Foucault multielementos en comunicación electrónica con la computadora; y repetidamente a lo largo del tiempo: estandarizar la sonda de corrientes de Foucault multielementos con un estándar de referencia; colocar la sonda de corrientes de Foucault multielementos en una superficie de la rueda de acero o rin de acero; escanear la rueda de acero o rin de acero con una corriente alterna; enviar datos a la computadora; la computadora analiza los datos; la computadora muestra una imagen tridimensional del conjunto de datos en la interfaz de usuario; la computadora analiza, compila y almacena los datos; la computadora determina los cambios en los datos a lo largo del tiempo, analiza estadísticamente los cambios en relación con el tiempo para proporcionar un conjunto de características basadas en el tiempo, aplica las características basadas en el tiempo como valores de entrada a una transformación seleccionada y desarrolla un modelo predictivo de solidez y vida útil restante de la rueda o rin de acero utilizando la transformación seleccionada.

El método además puede comprender examinar la microestructura de la rueda de acero o rin de acero y enviar datos de la microestructura a la computadora para su análisis.

El método además puede comprender que la computadora correlacione los datos de la microestructura con las características basadas en el tiempo.

El método además puede comprender que la computadora desarrolle un modelo predictivo de solidez y vida útil basado en microestructura.

El método además puede comprender que la computadora correlacione los datos del analizador de fluorescencia de rayos X con las características basadas en el tiempo.

El método además puede comprender seleccionar un analizador de fluorescencia de rayos X en comunicación electrónica con la computadora; escanear la rueda de acero o rin de acero con el analizador de fluorescencia de rayos X para proporcionar datos de análisis

elemental; y enviar los datos del análisis elemental a la computadora.

El método además puede comprender que la computadora correlacione los datos del analizador de fluorescencia de rayos X con las características basadas en el tiempo.

El método además puede comprender que la computadora desarrolle un modelo predictivo de solidez y vida útil basado en análisis elemental basándose en los datos del analizador de fluorescencia de rayos X.

El método además puede comprender que la computadora combine el modelo predictivo basado en análisis elemental con el modelo predictivo basado en microestructura para determinar un modelo predictivo de solidez y vida útil.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para detectar una discontinuidad de la superficie.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para detectar una discontinuidad debajo de la superficie.

En el método, la rueda o rin pueden examinarse para determinar si hay discontinuidad tanto en la superficie como debajo de la superficie.

En el método, en el emplazamiento puede haber una mina.

En otra realización, se proporciona un sistema para el modelado predictivo del desgaste y daños en una rueda de acero o un rin de acero de un vehículo todoterreno, comprendiendo el sistema: una sonda de corrientes de Foucault multielementos que está configurada para generar y transmitir escaneos de la rueda de acero o rin de acero; y un dispositivo informático que es una comunicación electrónica con la sonda de corrientes de Foucault multielementos, y que incluye una memoria y un procesador, estando el procesador controlado por la memoria, en donde la memoria retiene un modelo predictivo de solidez y vida útil restante de la rueda de acero o rin de acero y está configurada para recibir los escaneos, determinar cambios en los escaneos a lo largo del tiempo, analizar estadísticamente los cambios en relación con el modelo predictivo de solidez y vida útil restante de la rueda de acero o rin de acero y proporcionar una predicción de solidez y vida útil restante de la rueda de acero o rin de acero.

### FIGURAS

La Figura 1 es un esquema del sistema de la presente tecnología.

La Figura 2 muestra la matriz de bobinas de una sonda del sistema de la Figura 1.

La Figura 3 es una sonda rígida de ejemplo de la presente tecnología.

La Figura 4 es un diagrama de bloques del método de análisis elemental de la presente tecnología.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de la inspección de ECA de la tecnología actual.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de otro método de inspección de ECA de la presente tecnología.

La Figura 7 es un diagrama de bloques de la inspección con microscopio óptico de la

microestructura del acero de la presente tecnología.

La Figura 8 es un diagrama de bloques de la inspección con microscopio óptico de la integridad microscópica del acero de la presente tecnología.

La Figura 9 es un diagrama de bloques de un enfoque alternativo a la clasificación en las Figuras 7 y 8.

La Figura 10 es una descripción general del sistema de modelado predictivo de la tecnología actual.

La Figura 11 es un diagrama de bloques del método para determinar la calidad del acero.

La Figura 12 es un diagrama de bloques del método de clasificación de la solidez de la rueda.

La Figura 13 es un diagrama de bloques del método de desarrollo de un modelo predictivo para ruedas y rines de acero de vehículos todoterreno.

La Figura 14 es un diagrama de bloques de un método más completo para desarrollar un modelo predictivo para ruedas de acero y rines de acero de vehículos todoterreno.

La Figura 15 es un ejemplo de toma de decisiones integrada: a. indicador de la condición de la rueda y del rin (microestructura o clasificación de calidad); b. indicador de la condición de la rueda y del rin (ECA); y c. toma de decisiones integrada.

#### DESCRIPCIÓN

Las técnicas que operan de acuerdo con los principios descritos en el presente documento pueden implementarse de cualquier forma adecuada. Los bloques de procesamiento y decisión de los diagramas de flujo anteriores representan pasos y acciones que pueden incluirse en algoritmos y/o circuitos que llevan a cabo estos diversos procesos. A menos que se indique lo contrario en el presente documento, la secuencia particular de pasos y/o acciones que se describen en cada diagrama de flujo es simplemente ilustrativa de los algoritmos que pueden implementarse y pueden variarse en implementaciones y realizaciones de los principios descritos en el presente documento.

Las acciones realizadas como parte de un método pueden ordenarse de cualquier forma adecuada. En consecuencia, se pueden construir realizaciones en las que las acciones se realicen en un orden diferente al ilustrado, que puede incluir la realización de algunas acciones simultáneamente, aunque se muestran como acciones secuenciales en realizaciones ilustrativas.

Salvo que se disponga expresamente lo contrario, las siguientes reglas de interpretación se aplican a esta memoria descriptiva (descripción escrita y reivindicaciones): (a) todas las palabras utilizadas en el presente documento se interpretarán como de género o número (singular o plural) según lo requieran las circunstancias; (b) los términos singulares "un", "una" y "el/la", como se usan en la memoria descriptiva y las reivindicaciones adjuntas incluyen referencias en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario; (c) el término

antecedente "aproximadamente" aplicado a un intervalo o valor mencionado denota una aproximación dentro de la desviación en el intervalo o valor conocido o esperado en la técnica del método de medición; (d) las expresiones "en el presente documento", "por la presente", "del mismo/a", "a la presente", "en adelante" y "en lo sucesivo", y palabras de importancia similares, se refieren a esta memoria descriptiva en su totalidad y no a ningún párrafo, reivindicación u otra subdivisión particular, a menos que se especifique lo contrario; (e) los títulos descriptivos son solo por conveniencia y no deben controlar ni afectar el significado o la construcción de ninguna parte de la memoria descriptiva; y (f) "o" y "cualquiera" no son exclusivos y "incluir" e "incluyendo" no son limitantes. Además, los términos "comprendiendo", "teniendo", "incluyendo", y "conteniendo" deben interpretarse como términos abiertos (es decir, que significa "incluyendo, pero sin limitarse a"), a menos que se indique lo contrario.

La recitación de intervalos de valores en el presente documento tiene como único objetivo servir como un método abreviado para referirse individualmente a cada valor separado que se encuentre dentro del intervalo, a menos que se indique lo contrario en el presente documento, y cada valor separado se incorpora en la memoria descriptiva como si se recitara individualmente en el presente documento. Cuando se proporciona un intervalo específico de valores, se entiende que cada valor que interviene, hasta el décimo de la unidad del límite inferior a menos que el contexto indique claramente lo contrario, entre el límite superior e inferior de ese intervalo y cualquier otro valor establecido o intermedio en ese intervalo establecido, está incluido en el mismo. También se incluyen todos los subintervalos más pequeños. Los límites superior e inferior de estos intervalos más pequeños se incluyen también en el mismo, sujetos a cualquier límite específicamente excluido en el intervalo indicado.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que el comúnmente entendido por un experto en la materia relevante. Aunque también se puede utilizar cualquier método y material similar o equivalente a los descritos en el presente documento, a continuación, se describen los métodos y materiales aceptables.

#### DEFINICIONES:

Microestructura - en el contexto de la tecnología actual, microestructura se refiere a la fase del acero, por ejemplo, pero sin limitarse a austenita, martensita, perlita y cementita.

Microscopio de alta resolución - en el contexto de la tecnología actual, un microscopio de alta resolución proporciona al menos un aumento de 800X, preferentemente aumento de 1000X.

Dispositivo informático - en el contexto de la tecnología actual, un dispositivo informático incluye al menos un procesador, un adaptador de red y un medio de almacenamiento legible por computadora. Un dispositivo informático puede ser, por ejemplo, una computadora personal de escritorio o portátil, un asistente digital personal (PDA), un teléfono móvil inteligente, un

servidor o cualquier otro dispositivo informático adecuado. Un adaptador de red puede ser cualquier hardware y/o software adecuado para permitir que el dispositivo informático se comunique alámbrica y/o inalámbricamente con cualquier otro dispositivo informático adecuado a través de cualquier red informática adecuada. La red informática puede incluir puntos de acceso, interruptores, enrutadores, pasarelas y/u otro equipo de red inalámbrico, así como cualquier medio o medio de comunicación alámbrico o inalámbrico adecuado para intercambiar datos entre dos o más ordenadores, incluyendo Internet. Los medios legibles por computadora se pueden adaptar para almacenar datos para ser procesados y/o instrucciones para ser ejecutadas por el procesador. El procesador permite el procesamiento de datos y la ejecución de instrucciones. Los datos y las instrucciones pueden almacenarse en los medios de almacenamiento legibles por computadora.

Un dispositivo informático puede tener además uno o más componentes y periféricos, incluidos los dispositivos de entrada y salida. Ejemplos de dispositivos de salida que pueden usarse para proporcionar una interfaz de usuario incluyen impresoras o pantallas de visualización para la presentación visual de la salida y altavoces u otros dispositivos generadores de sonido para la presentación audible de la salida. Ejemplos de dispositivos de entrada que se pueden utilizar para una interfaz de usuario incluyen teclados y dispositivos señaladores, tales como ratones, almohadillas táctiles y tabletas digitalizadoras.

Red de comunicación - en el contexto de la tecnología actual, una red de comunicación incluye, pero no se limita a una red de fidelidad inalámbrica (Wi-Fi [IEEE 802.11]), una red de fidelidad de la luz (Li-Fi), una red satelital, la Internet, una red de datos móviles, una red de área local (LAN), una red de área local inalámbrica (WLAN), o cualquier combinación de las mismas. El adaptador de red del dispositivo informático se comunica a través de la red de comunicación.

Instrucciones ejecutables por computadora - en el contexto de la tecnología actual, las instrucciones ejecutables por computadora incluyen software, incluyendo software de aplicación, software del sistema, firmware, middleware, código incrustado, o cualquier otro tipo adecuado de código informático y también puede compilarse como código de lenguaje de máquina ejecutable o código intermedio.

Medios legibles por computadora - en el contexto de la tecnología actual, los medios legibles por computadora incluyen medios magnéticos como una unidad de disco duro, medios ópticos como un disco compacto (CD) o un disco versátil digital (DVD), una memoria de estado sólido persistente o no persistente (por ejemplo, memoria Flash, RAM magnética, etc.), o cualquier otro medio de almacenamiento adecuado. Dicho medio legible por computadora puede implementarse de cualquier manera adecuada. Los medios legibles por computadora no son transitorios y tienen al menos un componente estructural, físico.

Herramientas de minería de datos - en el contexto de la tecnología actual, las herramientas de minería de datos son, por ejemplo, pero no se limitan a, datos de Periscope,

Análisis de Alteryx, Miner Advanced, Servicios de integración del servidor Microsoft SQL, Lavastorm Analytics Engine y similares. Las herramientas de minería de datos incluyen: instalaciones de almacenamiento de datos, incluido el almacenamiento en la nube; y algoritmos de transformación (transformaciones) tales como Naïve Bayes, Árbol de decisión, Redes neuronales, Redes neuronales Wavelet, Redes neuronales convolucionales Wavelet, Máquinas de vectores de soporte (SVM), Regresión logística, Regresión lineal, Regresión no lineal y similares.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA:

Como se muestra en la Figura 1, una sonda de ECA generalizada, generalmente referida como 10, tiene una pluralidad de sensores 12 debajo de la superficie de la sonda desde un extremo distal 14 hasta un extremo proximal 16. La salida de la sonda es preferentemente de alta frecuencia, variando de aproximadamente 50 kilohercios (kHz) a aproximadamente 700 kHz y todas las frecuencias entre medio, por ejemplo, pero sin limitarse a aproximadamente 500 kHz, ya que es particularmente adecuado para la detección de discontinuidades superficiales. Se han desarrollado sondas tanto flexibles como rígidas que tienen la forma de adaptarse a la forma de una rueda o un rin que se está evaluando. Un codificador 19 está unido a la sonda 10 o está integrado en la sonda 10.

Se consideraron tres topologías en el diseño de la sonda:

a) Topología de impedancia: modo clásico absoluto o diferencial que ofrece un alto nivel de sensibilidad, donde hay mínima variación de elevación. Esta es capaz de detectar discontinuidades en cualquier orientación.

b) Topología de accionamiento único: modo de transmisión-recepción en donde una bobina actúa como transmisor y la otra como receptor. Esta es capaz de detectar discontinuidades debajo de la superficie.

c) Topología de doble controlador: actúa en modo transmisión-recepción, simultáneamente utiliza dos bobinas para actuar como un solo transmisor grande. Esta ofrece una excelente resolución y, por lo tanto, tiene excelentes capacidades de detección.

Como uno de los objetivos de la tecnología actual es reducir, minimizar o eliminar el error humano, el diseño de la sonda permite específicamente la medición de grietas superficiales y no penetra más en el material que se está inspeccionando. El diseño permite también específicamente la detección de desgaste de aproximadamente 2 mm, o aproximadamente 3 mm o más, y, cuando se establece en un modo aprobado/fallo, no detectar un desgaste de menos de aproximadamente 1 mm o aproximadamente 2 mm, dependiendo del entorno. En el modo de investigación y recopilación de datos, la elevación se establece en posiciones establecidas de aproximadamente 0.25 mm, aproximadamente 0.5 mm, aproximadamente 0.75 mm y aproximadamente 1.0 mm. Esto permite la recopilación de datos de desgaste a lo largo del tiempo en emplazamientos específicos, lo que permite predecir el

desgaste y programar las pruebas. Como las pruebas requieren que se retire la rueda del camión y se retire después el neumático de la rueda, un modelo predictivo puede reducir en gran medida la mano de obra innecesaria y el tiempo de inactividad asociado del vehículo.

La recopilación de datos de grietas recopilados de numerosas pruebas muestra que las grietas casi siempre comienzan en una orientación circunferencial, (eje x) después puede ramificarse en una orientación axial (eje y). Como es la grieta del eje x la que propaga la grieta del eje y, se concluyó que el diseño de la sonda solo necesita abordar las grietas del eje x, simplificando así el diseño de la sonda.

Continuando con la Figura 1, la sonda 10 y el codificador 19 están en comunicación con una computadora 50, teniendo la computadora 50 un procesador 52 para recibir instrucciones desde una memoria 54. La computadora 50 convierte la información de impedancia en valores de propiedad física para el material bajo examen, incluyendo la elevación en cada punto en un escaneo B o un escaneo C. La computadora 50 puede integrarse en la sonda 10. La computadora 50 está en comunicación electrónica con una interfaz de usuario 56, que también puede integrarse en la sonda 10. La sonda de corrientes de Foucault multielementos 10 y la computadora 50 se utilizan en el método de la presente tecnología. La computadora 50 se puede integrar en la sonda como un instrumento 29. Una alarma visual o audible 59 está en comunicación con el codificador 19. Una pistola de mano de fluorescencia de rayos X (XRF) 58 también está en comunicación con la computadora 50 y proporciona análisis elemental (Identificación Positiva de Material). Estos componentes del sistema se encuentran en una ubicación remota, por ejemplo, un emplazamiento de mina.

La computadora 50 está en comunicación con una segunda computadora 60, que se encuentra en una instalación central. La instalación central puede estar en un país diferente al de la ubicación remota. Existen numerosas ubicaciones remotas donde se realizan las pruebas. La segunda computadora 60 tiene un procesador 62 y una memoria 64 con instrucciones para dar instrucciones al procesador 62. Además de que el procesador 62 se comunica con la computadora 50 ubicada remotamente, se comunica con un sistema ERP 66.

En otra realización, el análisis elemental no destructivo se puede realizar mediante cualquier método de prueba no destructivo, incluida la espectroscopia de emisión óptica, análisis de plasma acoplado inductivamente, análisis de absorción atómica o emisión de rayos X inducida por protones.

Como se muestra en la Figura 2, los sensores 12 tienen una pluralidad de bobinas tipo panqueque 20 para formar una matriz de corrientes de Foucault multielementos, generalmente referida como matriz 22. Hay al menos dos filas de bobinas 20 desplazadas por media bobina 20. La matriz 22 está diseñada para cubrir la superficie que se va a analizar. Hay bobinas de accionamiento 24 y bobinas de detección 26. La matriz de superficie tiene: (1) un conductor de excitación lineal y una o más matrices lineales de bobinas de detección colocadas en paralelo

al conductor de excitación, donde la segunda matriz lineal está alineada con la primera fila para agregar redundancia o desplazamiento para mejorar la resolución de la imagen en la dirección transversal a la dirección de escaneo; (2) un conductor de excitación complejo que produce un patrón de campo deseado en cada bobina de detección; y (3) conductores de excitación individuales asociados con cada bobina de detección.

Las señales de la matriz de corrientes de Foucault multielementos 22 pueden pasar a través de un multiplexor 28 y después a los canales de datos 30. El multiplexor 28 puede estar dentro del instrumento 29 o fuera, separado del instrumento. Se utiliza cuando el número de bobinas de detección 26 para la medición de impedancia es mayor que el número de canales 30. El codificador 19 notifica la posición de la sonda 10 a la computadora 50.

Un diseño de sonda rígido de ejemplo, generalmente referido como 200 se muestra en la Figura 3. La sonda rígida 200 tiene un soporte 202, una capa de sensor 208 y una superficie elástica 220. La salida de la sonda es preferentemente de alta frecuencia, variando de aproximadamente 50 kilohercios (kHz) a aproximadamente 500 kHz o aproximadamente 700 kHz. La capa de sensor 208 tiene una pluralidad de sensores 230. Cada sensor 230 tiene una pluralidad de bobinas 240 para formar una matriz de corrientes de Foucault multielementos, generalmente referida como matriz 242. La sonda 200 tiene una forma específica para adaptarse a la forma del artículo que se está probando. La superficie elástica 220 es flexible y está doblada a la forma de la sonda 200. Es de larga duración y resistente a los arañazos. La superficie elástica 220 es preferentemente un material polimérico plástico, tal como, pero sin limitarse a polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW), polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo o similar, plástico resbaladizo. Una superficie preferida es una película plástica flexible con respaldo adhesivo UHMW extraíble. Tiene un bajo coeficiente de fricción y una alta resistencia a la abrasión. Si se emplea una superficie elástica no adhesiva, entonces se pega a la capa de sensor 208 con una capa adhesiva desprendible 222. Esto permite el reemplazo de la superficie resiliente 220, según sea necesario. Un mecanismo de elevación 224 se puede unir a la sonda 200 y se extiende hacia fuera desde la sonda 200. Tiene configuraciones de fábrica que permiten que solo se utilicen elevaciones específicas. Para pruebas de aprobado/fallo, la elevación es de 2 mm. Un manómetro 226 en el mecanismo de elevación 224, que puede ser una bola en un resorte, está en comunicación electrónica con la computadora 50, ya sea directamente o a través de un procesador 228 o placa de circuito 230. Como sabrá un experto en la materia, se puede utilizar cualquier medio de ajuste y control de la elevación.

En la realización preferida, el diseño de la sonda permite la colocación directa de la sonda en la superficie que se va a inspeccionar. No es necesario ajustar la elevación.

En la Figura 4 se muestra una descripción general del método de análisis elemental. El método se utiliza para la detección de grietas, patrones de desgaste y signos tempranos de

picaduras en las ruedas y rines de vehículos todo terreno, en el emplazamiento. La prueba se realiza en:

- Ranura del anillo de bloqueo/Ranura de la junta tórica;
- Punto de contacto de la sección trasera;
- 5     • puntos de contacto de la banda del asiento del talón y soldadura a tope;
- Puntos de contacto del anillo lateral y soldadura a tope;
- Orificios para espárragos del disco de montaje - superficie en el disco;
- Todas las soldaduras en ángulo;
- Todas las soldaduras a tope circunferenciales y transversales; y
- 10    • Área adyacente al orificio de válvula.

Un número, por ejemplo, dos o más, de ruedas o rines en un número de ubicaciones diferentes o en la misma ubicación se pueden probar simultáneamente. La parte que se va a evaluar se limpia 350. No es necesario quitar la pintura ni ningún recubrimiento de la superficie. La pistola XRF se pasa 352 sobre la superficie que se va a probar. Esto lo hace manualmente

15    un operador. Este es un método de prueba no destructivo para el análisis elemental de ruedas o rines. Sin estar ligado a la teoría, se prevé que el uso de diferentes aleaciones en las ruedas y rines puede afectar la calidad de las ruedas y rines. Por ejemplo, el cromo y el vanadio hacen que el acero sea más endurecible. El cromo ayuda también a resistir la abrasión, oxidación y corrosión. El cromo y el carbono pueden mejorar la elasticidad. Se agrega cobre para aumentar

20    la resistencia a la corrosión. El níquel aumenta la fuerza, resistencia al impacto y tenacidad, al mismo tiempo que mejora la resistencia a la oxidación y a la corrosión. El níquel es un elemento formador de austenita. El manganeso mejora la templabilidad, ductilidad y resistencia al desgaste. Como el níquel, el manganeso es un elemento formador de austenita. Los datos originales se envían 354 a la computadora 50 ubicada remotamente que puede determinar 356

25    la composición en términos de aleaciones y puede determinar 358 también si existen diferencias en la composición dentro de la rueda o rin de la rueda. Los datos se envían 360 a la computadora 60 en la instalación central para su almacenamiento. Como alternativa, la computadora 50 ubicada remotamente puede retransmitir 362 los datos originales a la computadora 60 en la instalación central. Esa computadora 60 determina después 364 la composición de la rueda o

30    rin y determina 366 si existen diferencias en la composición de la rueda o rin dada para proporcionar 368 datos de composición. Los datos de composición para cada fabricante de rueda y rin se almacenan 370 en una primera base de datos. Múltiples conjuntos de datos se envían 372 a la computadora 60 en la instalación central, por ende, el procesador, bajo el control de la memoria, clasifica 374 los datos de composición y almacena los datos de composición

35    para un rin o rueda específica desde una ubicación remota específica en una segunda base de datos. Cada rueda y rin tiene un identificador único.

El método de ECA se utiliza para la detección de grietas, patrones de desgaste y signos

tempranos de picaduras en las ruedas y rines de vehículos todo terreno, en el emplazamiento.

La prueba se realiza en:

- Ranura del anillo de bloqueo/Ranura de la junta tórica;
- Punto de contacto de la sección trasera;
- 5      • puntos de contacto de la banda del asiento del talón y soldadura a tope;
- Puntos de contacto del anillo lateral y soldadura a tope;
- Orificios para espárragos del disco de montaje - superficie en el disco;
- Todas las soldaduras en ángulo;
- Todas las soldaduras a tope circunferenciales y transversales; y
- 10     • Área adyacente al orificio de válvula.

Como se muestra en la Figura 5, un número, por ejemplo, dos o más, de ruedas o rines en un número de ubicaciones diferentes o en la misma ubicación se pueden probar simultáneamente. Se muestran tres escenarios: un escaneo a una velocidad incorrecta; un escaneo incompleto; y un escaneo correcto. La parte que se va a evaluar se limpia 375. No es necesario quitar la pintura ni ningún recubrimiento de la superficie. A cada rueda o rin se le ha proporcionado un identificador único al momento en que se realizó el análisis elemental, por tanto, las ruedas y rines se rastrean. después, el operador utiliza la sonda de corrientes de Foucault multielementos para evaluar la integridad de la rueda o rin. Se utiliza un estándar de referencia para estandarizar 376 todos los canales de la matriz. La sonda se coloca 378 sobre la superficie de la parte que se va a evaluar. El diseño de la sonda permite que la sonda se coloque directamente en la superficie sin que se establezca la elevación. La superficie se escanea 382 con una corriente alterna, moviendo la sonda a lo largo de la superficie. La velocidad de exploración se controla manualmente 384 cuando el operador desliza la sonda sobre la superficie que se está inspeccionando. Si el operador permite que la sonda permanezca 386 en una posición, suena la alarma acústica 388. Los datos de sonda se transmiten continuamente 390 a la computadora 60 en la instalación central, así como a la computadora 50 en la ubicación remota. El software en la computadora 60 en la instalación central determina 394 que la velocidad de la sonda no se ha controlado adecuadamente, puesto que los datos del codificador mostrarán que la sonda no se había movido durante un tiempo y después comenzó a moverse nuevamente. la computadora 60 en la instalación central informa 396 del escaneo defectuoso a la computadora 50 en la ubicación remota y se repite la prueba. El operador mueve 400 la sonda sobre la superficie de la rueda o rin, pero se detiene 402 antes de que se inspeccionen los 360° completos de la superficie de la rueda o rin. El software en la computadora 60 en la instalación central determina 404 que la sonda no se ha movido sobre toda la circunferencia de la rueda o rin, ya que los datos del codificador mostrarán este error. la computadora 60 en la instalación central informa 406 del escaneo defectuoso a la computadora 50 en la ubicación remota y se repite la prueba.

Si no hay defectos, la corriente alterna produce 410 un campo magnético uniforme sobre la superficie. Si hay defectos, la corriente alterna conduce 412 a un campo magnético no uniforme. La señal proporciona información de posición y profundidad 414. Esta señal se procesa 416 después por el procesador usando las instrucciones proporcionadas 418 por la memoria para proporcionar 420 profundidad, información de longitud y posición con respecto a las grietas. Los datos se pueden analizar a partir de canales de bobinas individuales o para toda la superficie. Se produce 422 una imagen tridimensional y se visualiza 424 en la interfaz de usuario de la computadora 50 en la ubicación remota. La computadora 60 en la instalación central clasifica 426 datos entrantes en términos de:

- 10           Nombre del Cliente;
- Emplazamiento de la Mina;
- Modelo de Camión;
- Tamaño de Rueda;
- Fabricante de Equipos Originales de Ruedas (OEM);
- 15           Fecha de Fabricación;
- Horas de operación;
- Inspector; e
- Identificación/Número de serie de la rueda.

La computadora 60 en la instalación central realiza 428 el análisis de datos, incluyendo, pero sin limitarse a correlacionar los datos XFR con los datos de la sonda y produce 430 informes que incluyen, pero no se limitan al desgaste y las discontinuidades de la superficie durante la vida útil de una determinada rueda o rin, o datos de desgaste y discontinuidad de la superficie para un fabricante o aleación determinados. Los datos procesados se archivan 430 en la memoria de la computadora 60 en la instalación central para su referencia futura. La computadora 60 en la instalación central comunica 432 los datos procesados al sistema ERP donde también se archivan 434. Esto puede ser por radio, WiFi o Bluetooth® u otra comunicación inalámbrica. Los informes se generan 436 utilizando criterios de selección que incluyen, por ejemplo, pero no se limitan al historial de una rueda determinada, historial de las ruedas de un fabricante determinado e historial del desempeño de un operador determinado.

30 Las inspecciones se realizan de forma rutinaria (cada dos años, normalmente) y los datos acumulados durante la vida útil de la rueda o rin, por lo tanto, se puede determinar una imagen de la solidez de la rueda o rin y la línea de tiempo hasta el fallo. Se realiza un seguimiento del tiempo de trabajo de las ruedas y rines para que el tiempo de trabajo se pueda utilizar como métrica para el modelado predictivo.

35           La sonda detectará discontinuidades en la superficie y el desgaste se puede determinar a partir de los datos de elevación proporcionados, proporcionando así una evaluación completa de la integridad de la rueda o rin.

Como se muestra en la Figura 6, si se va a determinar el desgaste, la elevación se establece en 380 a 2 mm para la evaluación de aprobado/fallo, o en uno de 0.5, 1.0 o 1.5 mm para la recopilación de datos. Esto se puede hacer por separado o junto con el examen de discontinuidades de la superficie. Si hay un desgaste mayor que el ajuste de elevación, la sonda

5 no enviará una señal 452. La falta de señal o la presencia de señal es procesada 454 después por el procesador usando instrucciones proporcionadas 456 por la memoria para proporcionar una lectura de aprobación 458 o una lectura de fallo 460. Si se utiliza para la recopilación de datos, los procesadores procesarán 462 la señal usando instrucciones proporcionadas 464 por la memoria para proporcionar 466 datos sobre el desgaste, forma del área de desgaste e

10 información de posición. Esto se puede procesar más 468 usando sellos de fecha para producir 470 modelos predictivos de desgaste. Como el primer paso en el desarrollo del modelo predictivo, los datos históricos de ruedas y rines se clasificaron y graficaron, lo que llevó a una estimación del tiempo de fallo. Se llevó a cabo un análisis cualitativo de defectos para verificar si el defecto existe e identificar el tipo de defecto (por ejemplo, picaduras, corrosión, diente roto,

15 etc.). Después, el criterio fue diseñado para caracterizar el grado de discontinuidad estructural de acuerdo con su tipo, geometría y profundidad. A este respecto, se investigaron los métodos de identificación de defectos existentes (como los métodos basados en el análisis de componentes principales y los métodos basados en el análisis de componentes independientes y los métodos de cuantificación de defectos, como el método magnético de Barkhausen basado

20 en el ruido y el nuevo método basado en características. Finalmente, la tendencia de degeneración de la rueda o rin se evaluó y cuantificó de acuerdo con los resultados de la inspección. Se determinó que los rines y ruedas que han perdido 2 mm o más de metal deben sacarse de servicio. Esto puede deberse al desgaste o las picaduras. Ajustando la elevación a 2 mm, si el área que se está inspeccionando ha perdido 2 mm o más de metal, las corrientes

25 de Foucault multielementos no detectan el área desgastada, no hay señal, la pantalla indica la elevación y, por lo tanto, el rin se saca de servicio. Por tanto, se trata de una evaluación cuantitativa que minimiza cualquier error humano.

Si se desea, se produce un examen de partículas magnéticas. Esto no es esencial ya que no proporciona ninguna información adicional.

30 Como se muestra en la Figura 7, la microscopía óptica (que puede ser, por ejemplo, pero sin limitarse al campo claro o campo oscuro) se utiliza para estudiar la microestructura del acero. Esto se realiza al mismo tiempo que se realiza el análisis elemental y también se realiza cada vez que se realiza una inspección de ECA. Un número, por ejemplo, dos o más, de ruedas o rines en un número de ubicaciones diferentes o en la misma ubicación se pueden probar

35 simultáneamente. La parte que se va a evaluar se limpia 500. La pintura o cualquier otro recubrimiento de la superficie se quita 502 en un área pequeña. A cada rueda o rin se le ha proporcionado un identificador único al momento en que se realizó el análisis elemental, por

tanto, las ruedas y rines se rastrean. Se usa un microscopio óptico de mano para examinar 504 el acero. Un aumento de 1000X es suficiente para poder determinar la microestructura, por tanto, se determina si el acero es martensítico o austenítico u otra microestructura y las proporciones relativas de cada uno. Sin estar ligado a la teoría, el acero martensítico es preferible para ruedas y rines de vehículos todoterreno. La determinación se realiza al mismo tiempo que el análisis elemental. El operador clasifica 506 el acero basándose en la cantidad relativa de acero martensítico. Los datos de clasificación de la microestructura se envían 508 a la computadora 50 ubicada remotamente. Los datos de clasificación de la microestructura se envían 512 a la computadora 60 en la instalación central para su almacenamiento. Los datos de clasificación de la microestructura para cada fabricante de rueda y rin se almacenan 514 en una primera base de datos. Múltiples conjuntos de datos se envían 516 a la computadora 60 en la instalación central, por ende, el procesador, bajo el control de la memoria, clasifica 518 los datos de clasificación de la microestructura y almacena 520 los datos de clasificación de la microestructura para un rin o rueda específica desde una ubicación remota específica en una segunda base de datos.

Como se muestra en la Figura 8, la microscopía óptica se realiza también cuando se realizan las inspecciones de ECA. Esto es para determinar la integridad microscópica, por ejemplo, si hay problemas relacionados con la corrosión, tales como el agrietamiento por corrosión, fatiga por corrosión, fragilización por hidrógeno, inclusiones, estrés interno y similares. Un número, por ejemplo, dos o más, de ruedas o rines en un número de ubicaciones diferentes o en la misma ubicación se pueden probar simultáneamente. La parte que se va a evaluar se limpia 550. La pintura o cualquier otro recubrimiento de la superficie se quita 552 en un área pequeña. A cada rueda o rin se le ha proporcionado un identificador único al momento en que se realizó el análisis elemental, por tanto, las ruedas y rines se rastrean. Se usa un microscopio óptico de mano para examinar 554 el acero. Un aumento de 1000X es suficiente para poder determinar la integridad microscópica. El operador clasifica 556 el acero basándose en los hallazgos. Los datos de clasificación se envían 558 a la computadora 50 ubicada remotamente que puede determinar 560 la integridad microscópica de la rueda o rin. Los datos se envían 562 a la computadora 60 en la instalación central para su almacenamiento. Los datos de clasificación de integridad microscópica para cada rueda y fabricante de llanta se almacenan 564 en una primera base de datos. Múltiples conjuntos de datos se envían 566 a la computadora 60 en la instalación central, por ende, el procesador, bajo el control de la memoria, clasifica 568 los datos de clasificación de integridad microscópica y almacena 570 los datos de clasificación de integridad microscópica para un rin o rueda específica desde una ubicación remota específica en una segunda base de datos.

Como se muestra en la Figura 9, en una realización alternativa, en lugar de que el operador clasifique la microestructura y la integridad microscópica de la rueda o rin de acero,

se toman 600 imágenes digitales. Las imágenes se envían 602 a la computadora 50 ubicada remotamente que puede determinar 604 la integridad microscópica de la rueda o rin. Los datos se envían 606 a la computadora 60 en la instalación central para su almacenamiento. Los datos de clasificación de integridad microscópica para cada rueda y fabricante de llanta se almacenan 608 en una primera base de datos. Múltiples conjuntos de datos se envían 610 a la computadora 60 en la instalación central, por ende, el procesador, bajo el control de la memoria, clasifica 612 los datos de clasificación de integridad microscópica y almacena 614 los datos de clasificación de integridad microscópica para un rin o rueda específica desde una ubicación remota específica en una segunda base de datos. Sin estar ligado a la teoría, las redes neuronales convolucionales Wavelet son útiles para extraer imágenes de las ruedas y rines con el fin de desarrollar modelos predictivos y, a partir de eso, programas de mantenimiento preventivo.

Como se muestra en la Figura 10, un sistema de modelo predictivo incluye la sonda de ECA 14, el analizador de fluorescencia de rayos X 58 y el microscopio óptico 650, todos los que se comunican directa o indirectamente con un dispositivo informático 50, que a su vez se comunica con un sistema de minería de datos, generalmente referido como 700. El sistema de minería de datos 700 incluye una instalación de almacenamiento de datos 702 y una herramienta de minería de datos 704, que está alojada en un sistema informático.

Como se muestra en la Figura 11, los datos químicos del análisis elemental y los datos de la microestructura de la microscopía óptica se combinan utilizando un método accionado por un procesador para atribuir una calidad al acero de las ruedas y rines. Esto se realiza preferentemente en ruedas y rines nuevos, pero se puede hacer en ruedas y rines que están en servicio, sin embargo, los datos de esos servicios generalmente no deben incluirse en el desarrollo de modelos predictivos. La calidad se define como una clasificación de calidad.

Como se muestra en la Figura 12, la integridad microscópica de la microscopía óptica y los datos de desgaste y daño del análisis de ECA se combinan utilizando un método accionado por un procesador para atribuir una integridad estructural al acero de las ruedas y rines. Esto se realiza periódicamente sobre ruedas y rines que están en servicio y los datos se incluyen en el desarrollo de modelos predictivos. La integridad estructural se define como una clasificación de solidez.

En la Figura 13 se muestra un método de modelado predictivo para ruedas y rines de vehículos todo terreno. Como se ha señalado anteriormente, los datos se recopilan cuando las ruedas y rines son nuevos y a medida que envejecen. Con la excepción de los pasos de adquisición de datos (operador que realiza escaneos de ECA, operador que toma imágenes digitales de microscopía óptica y operador que realiza análisis elemental), todos los pasos están controlados por el procesador. Los datos del análisis químico y los datos de la microestructura se combinan para dar una clasificación de calidad.

El análisis de ECA da como resultado datos de ECA digitales que se recopilan. Los datos

de ECA digitales se analizan después para eliminar el ruido y, opcionalmente, se muestran en una interfaz de usuario. Los datos digitales de ECA se clasifican por condición. Los datos de ECA clasificados se combinan y analizan para encontrar una relación predecible entre uno o más de los tiempos de trabajo y la calidad de la rueda o rin de acero, según lo determinado por análisis químico y microscopía. Se fusionan los datos que tienen una relación predecible con el tiempo de trabajo y/o la calidad del acero en la rueda o rin. Los datos fusionados se grafican y se determinan los umbrales superior e inferior. Los datos fusionados entre los umbrales se analizan después utilizando una transformación adecuada. A medida que se recopilan nuevos datos, el sistema continúa capacitándose. Se desarrolla un modelo predictivo de solidez de las ruedas y rines, y sobre esa base se desarrolla un programa de mantenimiento preventivo.

Como se muestra en la Figura 14, un método más completo y preferido de modelado predictivo incluye el examen microscópico óptico de la rueda o rin cuando se realiza la inspección de ECA. De esta forma, los datos se pueden combinar para proporcionar una determinación de la integridad estructural. Esto después se usa para proporcionar una clasificación de solidez. Un análisis determina si los datos de solidez clasificados tienen una relación predecible con el tiempo de trabajo y/o la calidad de la rueda o rin.

Al determinar la calidad del acero en la llanta o rin y determinar la integridad estructural y la clasificación de solidez, los datos pueden clasificarse según sea necesario.

Como se muestra en la Figura 15, los indicadores de condición se representarán gráficamente a lo largo del tiempo. Los indicadores de condición incluyen microestructura, clasificación de calidad y análisis de ECA. A continuación, se compara la relación entre los indicadores de condición y la solidez de la rueda o rin. Los indicadores de condición se ajustan a medida que se agregan datos. Por tanto, se puede estimar una tendencia de degeneración más confiable y robusta. De acuerdo con la tendencia estimada, el estado de solidez de la rueda o rin en tiempo real se puede concluir verificando el indicador de condición sintonizada a lo largo del tiempo. Posteriormente, se construirá un modelo de predicción para pronosticar la vida útil restante, advertencia de fallo potencial e intervalo de tiempo de fallo. Los métodos de predicción, tal como el filtrado de Kalman, filtrado de partículas y modelo bayesiano, serán investigado exhaustivamente.

#### EJEMPLO 1:

Se analizaron ruedas de acero de dos fabricantes diferentes para este perfil químico mediante análisis de fluorescencia de rayos X. Los resultados se muestran en la Tabla 1:

| Elemento | Fe    | Ti   | Mn   | Cr   | Cu   | Ni    | Zn    | LEC* | V     | C     |
|----------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Rueda 1  | 96.8  | 0.59 | 1.4  | 0.05 | 0.02 | 0.003 | 0.002 | 0.45 | 0     | 0.074 |
| Rueda 2  | 96.93 | 0.67 | 1.10 | 0.33 | 0.32 | 0.542 | 0     | 0    | 0.029 | 0.079 |

\*LEC representa elementos de aleación ligera entre los que la fluorescencia de rayos X

no puede discriminar.

El análisis de ECA de las ruedas mostró que la Rueda 2 era inferior, puesto que tenía más defectos, incluyendo picaduras, desgaste y grietas, y las grietas eran más largas. La vida útil de la Rueda 2 fue significativamente más corta que la vida útil de la rueda 1  
5 (aproximadamente 15,000 horas frente a aproximadamente 30,000 horas).

#### EJEMPLO 2:

Las ruedas de los diferentes fabricantes se inspeccionarán de forma no destructiva mediante fluorescencia de rayos X y microscopía óptica antes de su uso. Se encontrará que las  
10 ruedas del segundo fabricante (Rueda 2) tendrán una cantidad significativamente mayor de cromo, cobre y níquel en comparación con las ruedas del primer fabricante (Rueda 1). La microscopía óptica mostró que la Rueda 2 tenía menos acero martensítico y más acero austenítico que la Rueda 1. Por tanto, tanto el análisis elemental como la microscopía óptica llevaron a una calificación más baja en términos de la calidad del acero. Después de que las  
15 ruedas hubieran estado en uso durante dos años, y cada dos años después de eso, las ruedas se inspeccionarán de forma no destructiva mediante ECA y microscopía óptica. Dentro de cuatro años, la Rueda 2 recibirá una calificación de ECA más alta, con 1 siendo los defectos mínimos y 9 requiriendo que la rueda se saque de servicio. De forma similar, dentro de cuatro años, la Rueda 2 presentará más defectos microscópicos. Los defectos macroscópicos y los defectos microscópicos indican que la integridad estructural de la Rueda 2 es pobre en relación con la  
20 Rueda 1. Después de aproximadamente 8 años, la rueda 1 deberá sacarse de servicio, mientras que a la Rueda 2 le quedarán otros 7 años de servicio.

Si bien se han descrito realizaciones de ejemplo en relación con lo que actualmente se considera un ejemplo de una posible realización más práctica y/o adecuada, debe entenderse que las descripciones no deben limitarse a las realizaciones desveladas, sino que, por el  
25 contrario, pretenden cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del espíritu y ámbito de la realización de ejemplo. Los expertos en la materia reconocerán o serán capaces de determinar utilizando únicamente la experimentación de rutina, muchos equivalentes a las realizaciones de ejemplo específicas descritas específicamente en el presente documento. Por ejemplo, se pueden utilizar otras técnicas de imagen, resultando en  
30 el análisis de otras imágenes. Se pretende que tales equivalentes estén incluidos en el ámbito de las reivindicaciones, si se adjuntan al presente o se presentan posteriormente.

NOVEDAD DE LA INVENCION

Habiendo descrito la presente invención como antecede, se considera como una novedad y, por lo tanto, se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes:

5

10

15

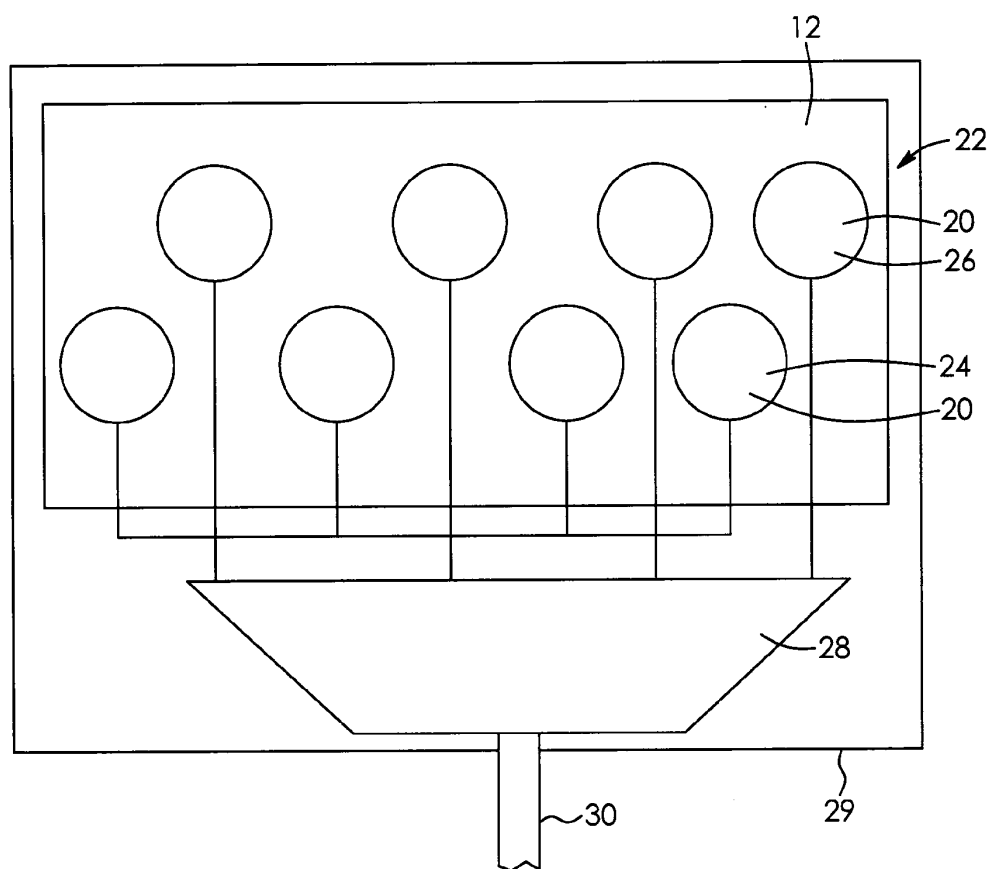
20

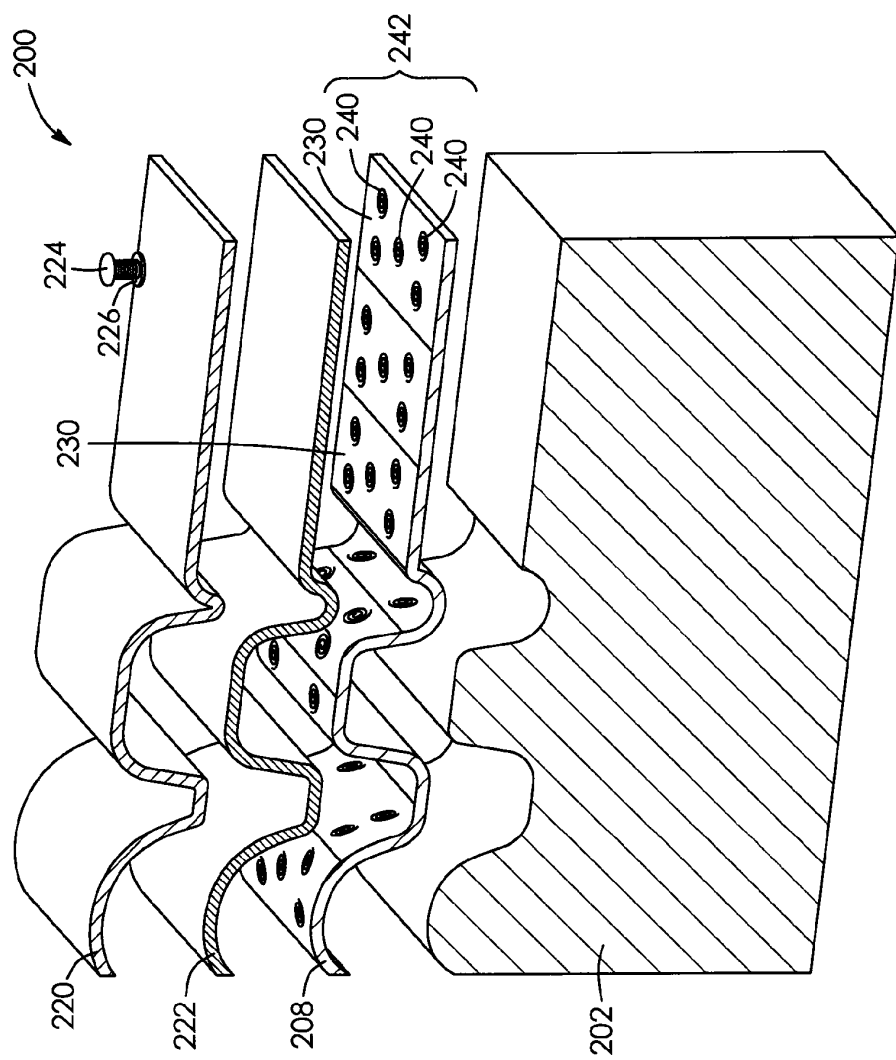
25

30

35



**FIG. 2**

**FIG. 3**

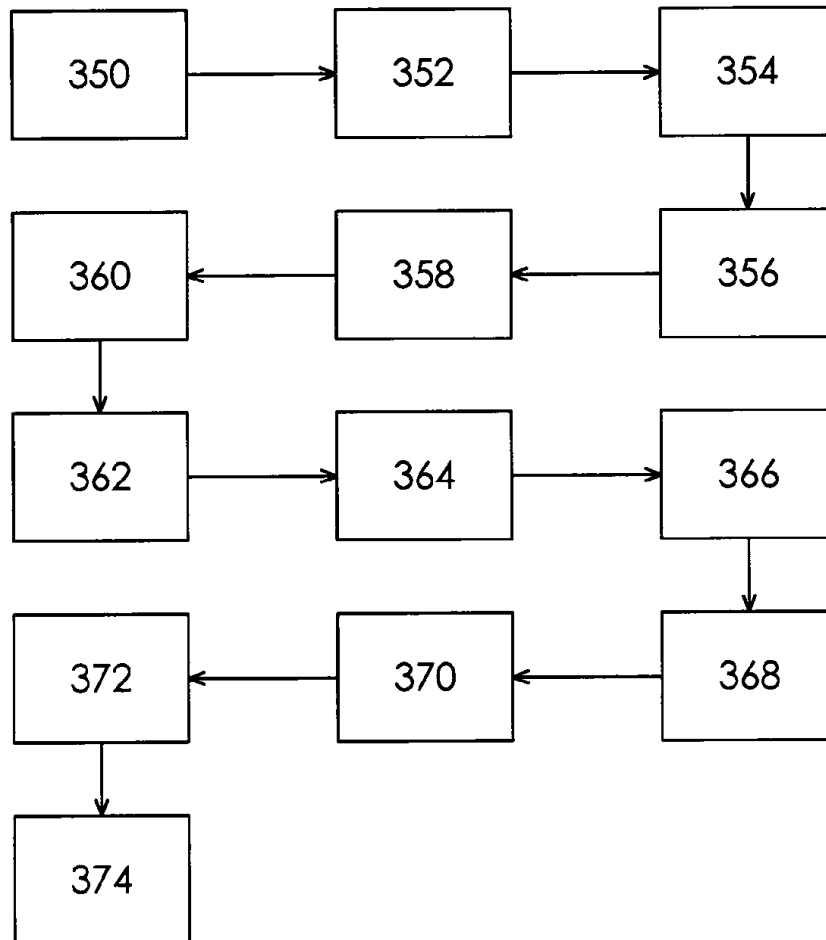
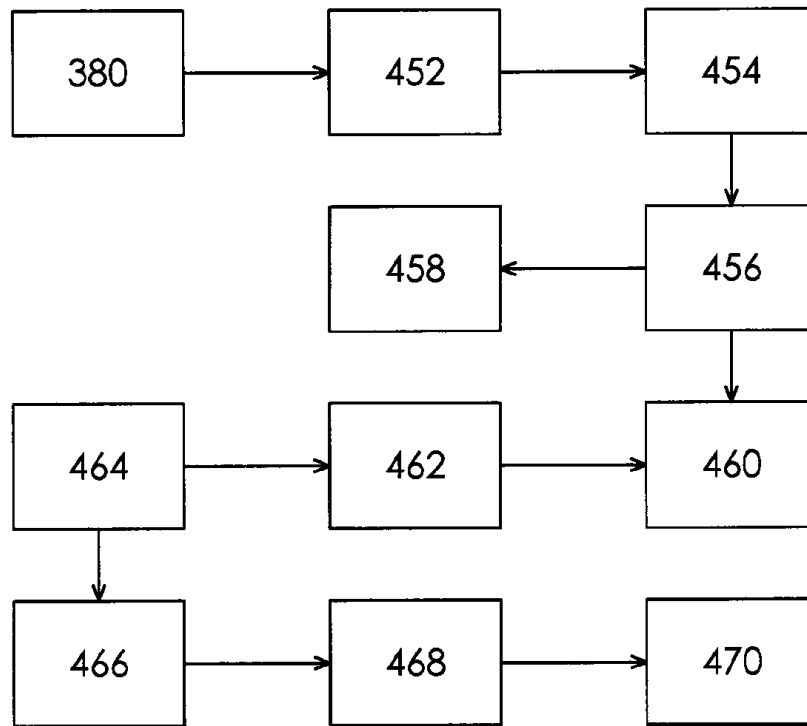
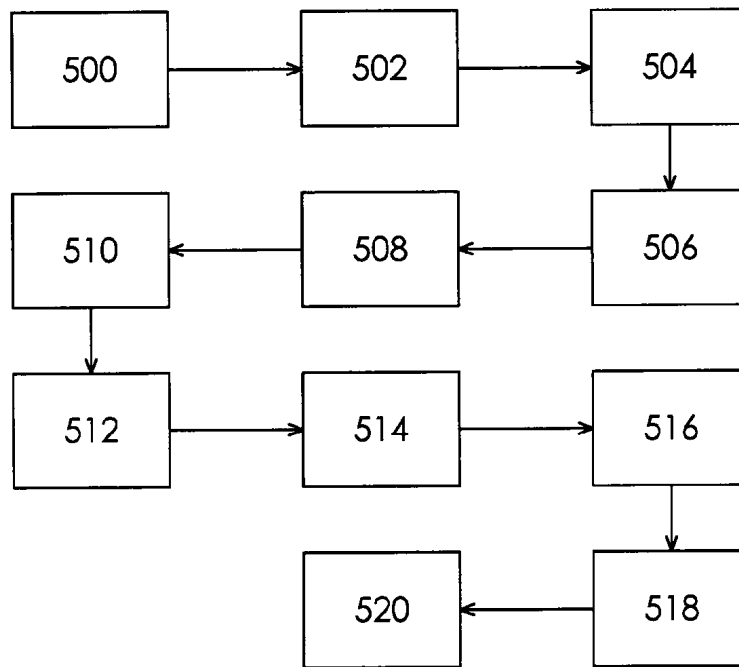
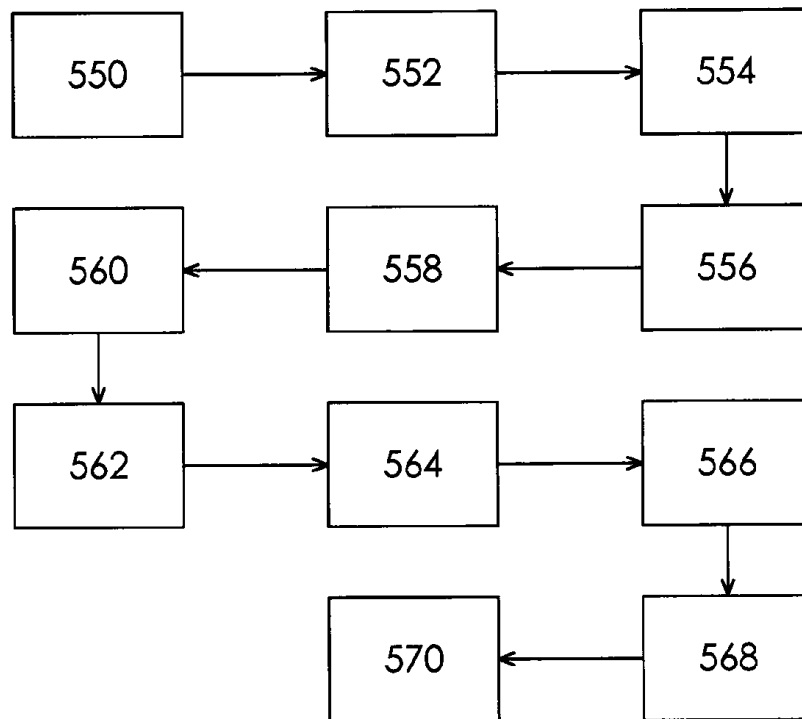
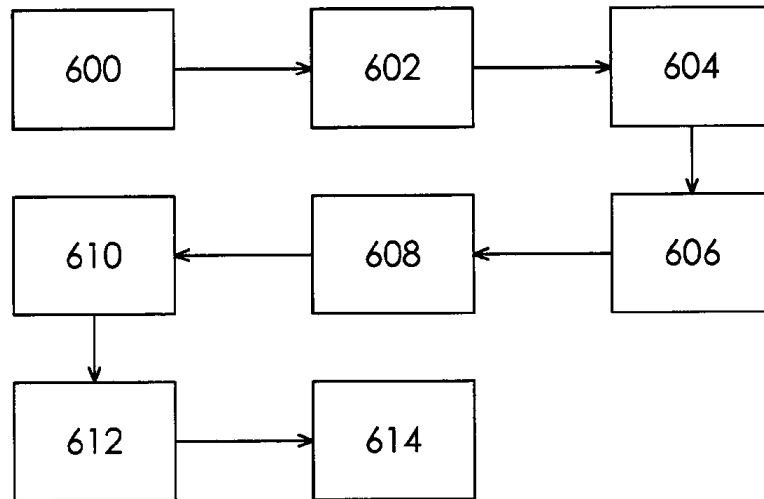
**FIG. 4**

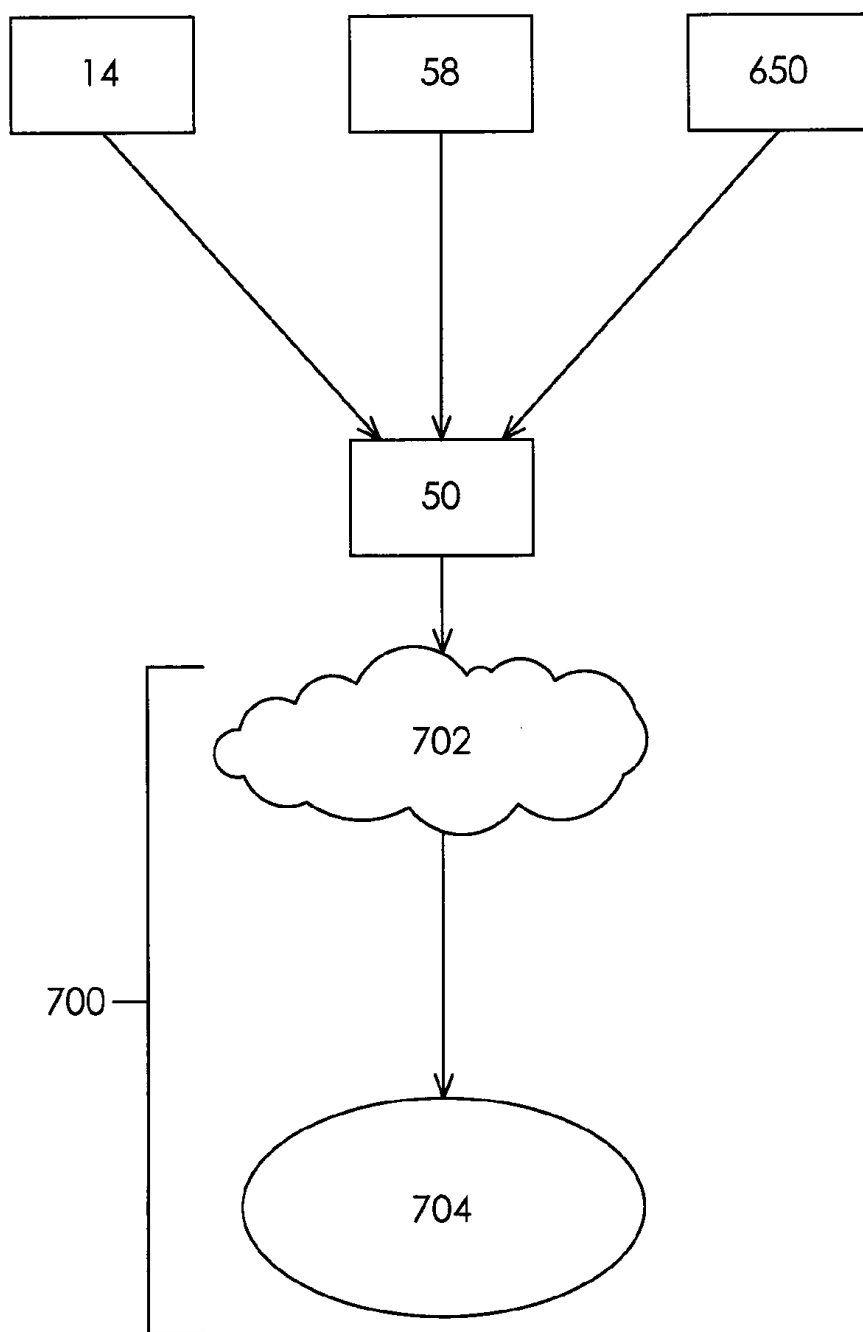
**FIG. 5**

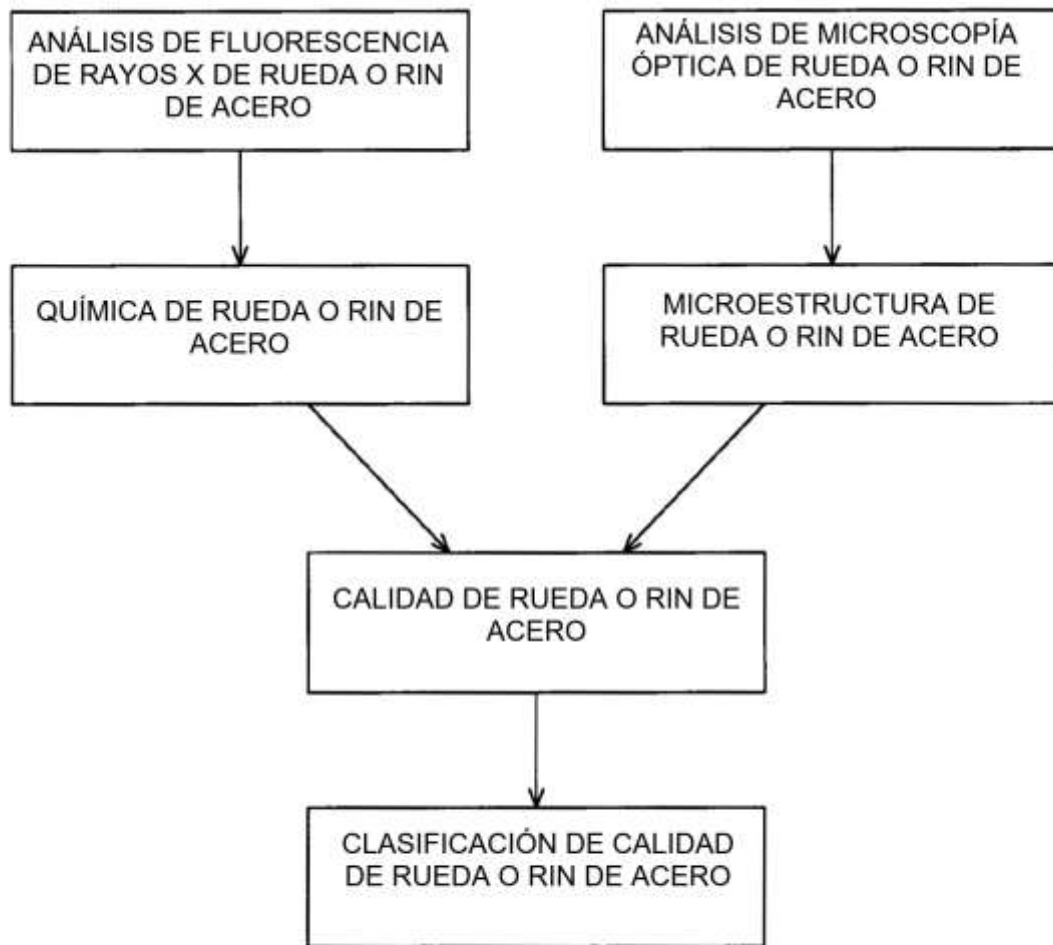
**FIG. 6**

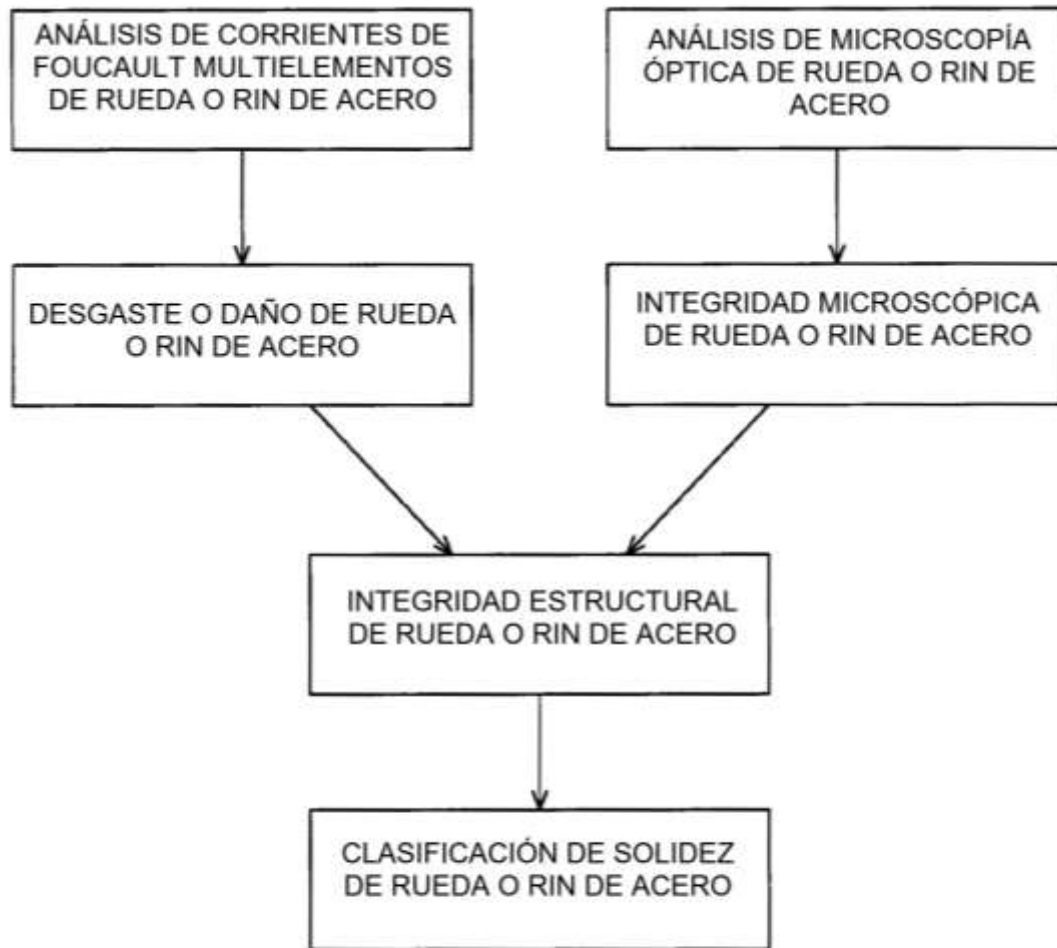
**FIG. 7**

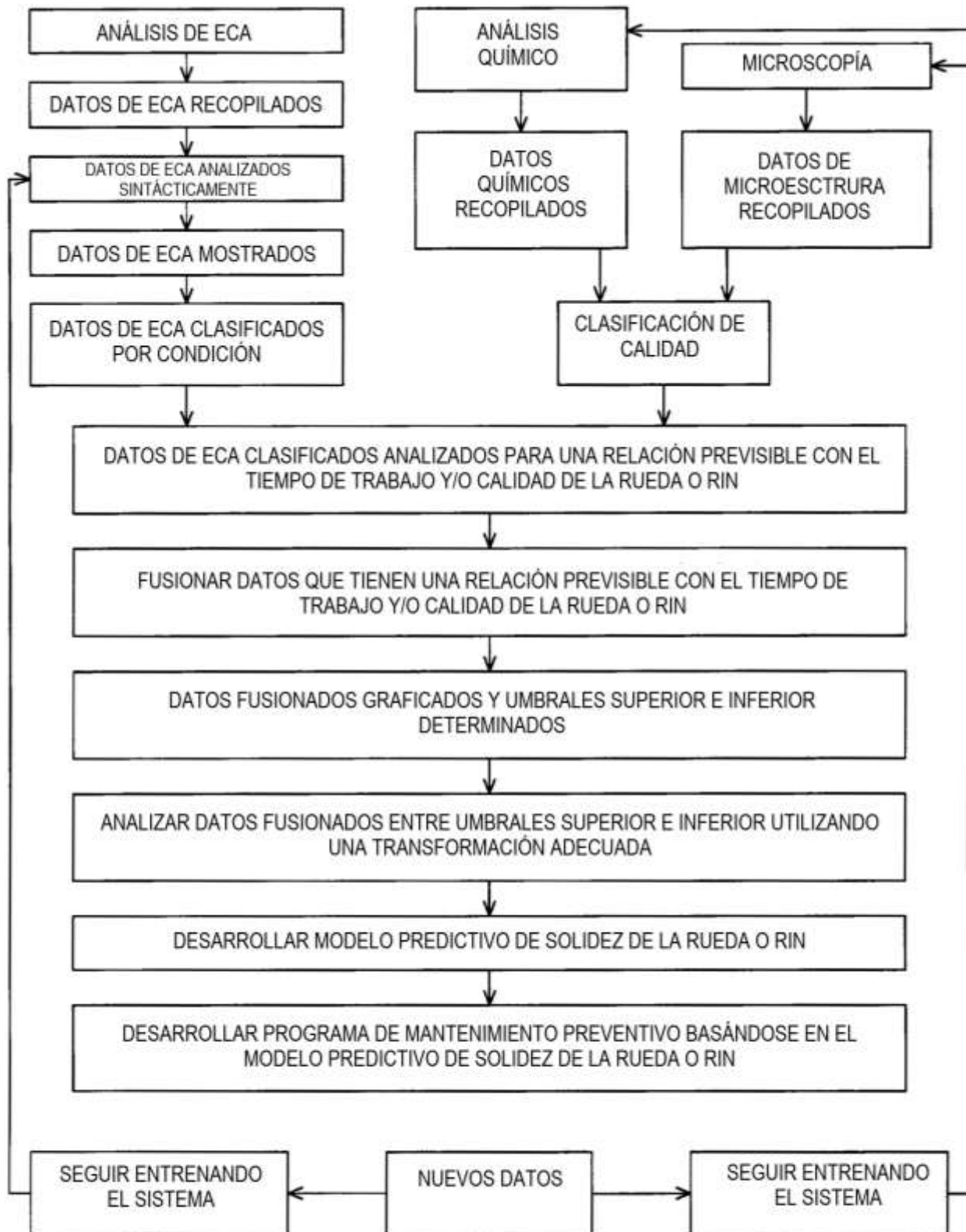
**FIG. 8**

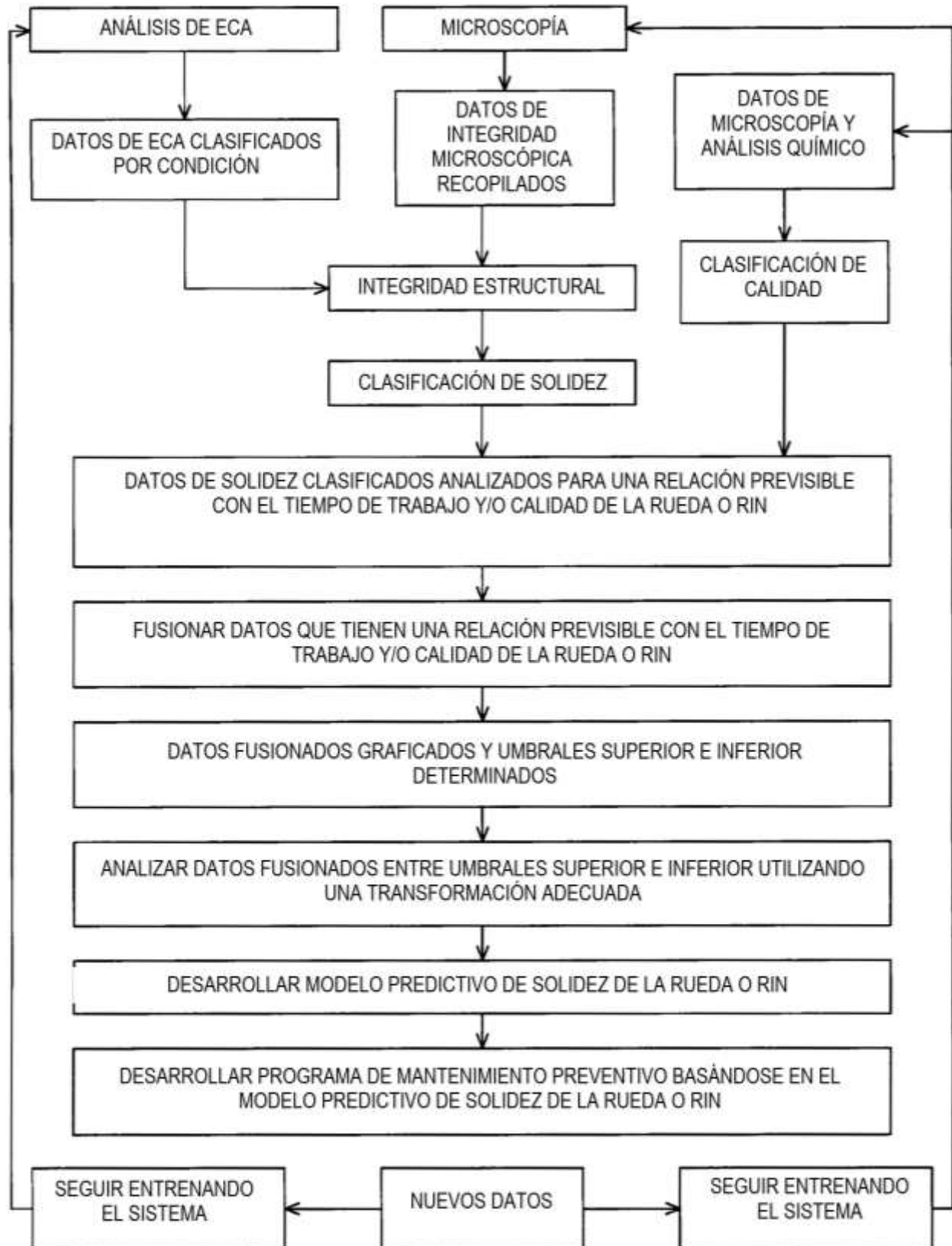
**FIG. 9**

**FIG. 10**

**FIG. 11**

**FIG. 12**

**FIG. 13**

**FIG. 14**

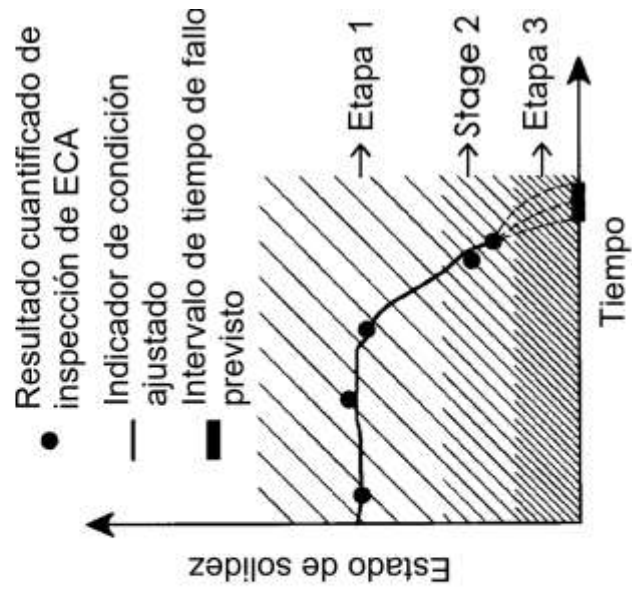


FIG. 15a

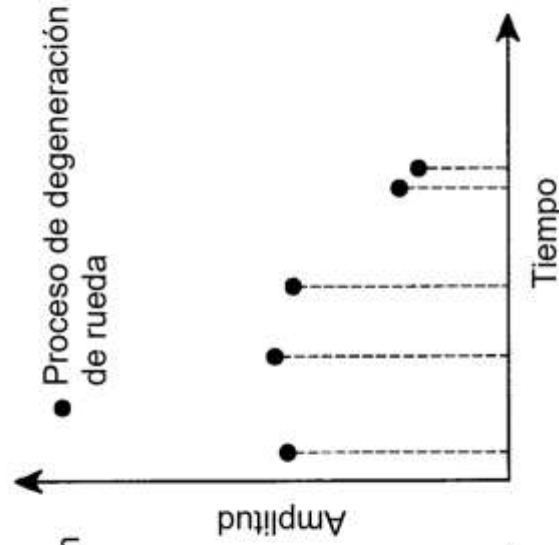


FIG. 15b

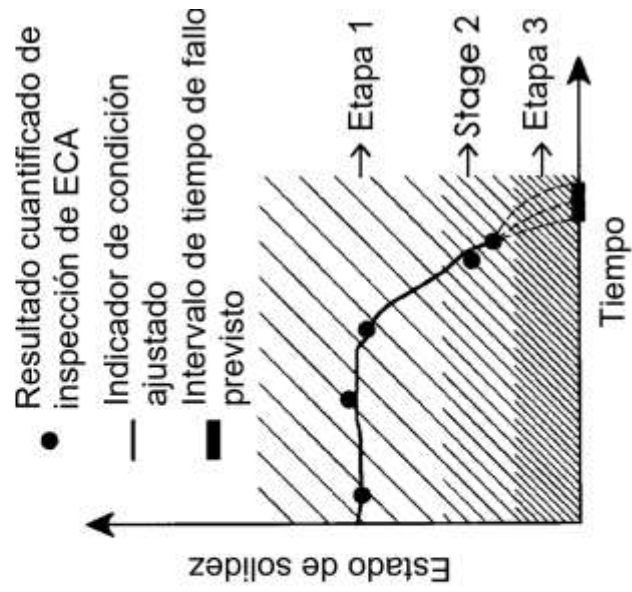


FIG. 15c