

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 018 412**

51 Int. Cl.:

G01N 29/44 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

G01N 29/36 (2006.01)

B61K 9/12 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.10.2018** **PCT/US2018/055639**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.04.2019** **WO19075347**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2018** **E 18866404 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2025** **EP 3695221**

54 Título: **Inspección con ensayo por ultrasonidos con validación de acoplamiento**

30 Prioridad:

12.10.2017 US 201762571448 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
16.05.2025

73 Titular/es:

**BAKER HUGHES ENERGY SERVICES LLC
(100.00%)
575 N. Dairy Ashford Rd., Suite 100
Houston, TX 77079, US**

72 Inventor/es:

**WERNER, DANIEL;
HENRIX, FRANK;
FRANZEN, ANDREAS y
FALTER, STEPHAN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 018 412 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

Inspección con ensayo por ultrasonidos con validación de acoplamiento

5 Antecedentes

Los ensayos no destructivos (Non-Destructive Testing - NDT) son un tipo de técnicas analíticas que se pueden utilizar para inspeccionar un objetivo, sin causar daños, con el fin de garantizar que el objetivo inspeccionado cumpla con las especificaciones requeridas. Por esta razón, los NDT han encontrado una amplia aceptación en industrias como la

aeroespacial, la generación de energía, el transporte o refinación de petróleo y gas y el transporte, que emplean estructuras que no se pueden retirar fácilmente de su entorno.

Por ejemplo, las normas ferroviarias mundiales pueden exigir que las ruedas de los trenes se inspeccionen por ultrasonidos de forma regular después de la fabricación y durante el mantenimiento. En un ensayo por ultrasonidos, la energía acústica (sonido) en forma de ondas se puede dirigir hacia la rueda del tren. Cuando las ondas ultrasónicas entran en contacto con la rueda del tren y penetran en ella, pueden reflejarse desde características tales como defectos en las superficies exteriores y en el interior (p. ej., grietas, porosidad, etc.). Un sensor ultrasónico puede adquirir mediciones ultrasónicas de la fuerza acústica en función del tiempo. Posteriormente, estas mediciones ultrasónicas se pueden analizar para proporcionar resultados de ensayo que caractericen los defectos presentes dentro de una rueda de tren, tales como su presencia o ausencia, ubicación y/o tamaño. ZHANG YU y col: "Application of phased array ultrasonic inspection for EMU Wheel-set Online", 2014 IEEE FAR EAST FORUM ON NONDESTRUCTIVE EVALUACIÓN/TESTING IEEE, 20 de junio de 2014, páginas 168-171, describe la inspección de ruedas; la inspección ultrasónica con control de fase se valida mediante una rueda de referencia provista de defectos artificiales ubicados a diferentes profundidades de la rosca de la rueda.

25 Resumen

La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

La precisión de las mediciones ultrasónicas puede basarse en un buen acoplamiento entre las sondas ultrasónicas de inspección y un objetivo, como una rueda. El acoplamiento se refiere a la capacidad de los haces ultrasónicos para transmitirse de manera fiable entre las sondas ultrasónicas y el objetivo. Es decir, no hay prácticamente ningún impedimento para que los haces ultrasónicos viajen entre las sondas ultrasónicas y el objetivo. Sin embargo, puede producirse un mal acoplamiento cuando la sonda ultrasónica hace mal contacto con el objetivo. En un aspecto, puede producirse un mal contacto debido a los espacios entre las sondas ultrasónicas y el objetivo derivados de la desalineación. En otro aspecto, puede producirse un mal contacto debido a la presencia de contaminantes entre las sondas ultrasónicas de inspección y el objetivo. En algunos casos, el objetivo puede ser una rueda de tren.

Puede ser conveniente validar los resultados de un ensayo por ultrasonidos para garantizar su precisión. Si no se validan, los resultados del ensayo por ultrasonidos pueden malinterpretarse y sacar conclusiones falsas de que los defectos están ausentes o se encuentran dentro de los límites aceptables. Estos errores pueden provocar la avería de las ruedas durante su funcionamiento, con consecuencias catastróficas, tales como daños en el equipo y lesiones humanas.

En consecuencia, sigue existiendo la necesidad de sistemas y métodos mejorados para validar los resultados de un ensayo por ultrasonidos.

Se proporciona un sistema de ensayo por ultrasonidos que incluye una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases, un ensamblaje de colocación de sondas y un analizador. El ensamblaje de colocación de sondas está configurado para acoplarse mecánicamente a una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases y para colocar la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases para la comunicación ultrasónica con una rueda que incluye al menos una geometría de validación de acoplamiento. Cada una de la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases está configurada para emitir una señal ultrasónica de validación dirigida hacia una geometría de validación de acoplamiento dentro de la rueda, para medir su señal ultrasónica de validación emitida después de la reflexión desde una respectiva de la al menos una geometría de validación de acoplamiento, y al menos una de emitir una señal ultrasónica de inspección y medir una señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto situado dentro de un área de inspección de la rueda. El analizador está configurado para recibir la señal ultrasónica de validación medida y la señal ultrasónica de inspección medida, determinar que la señal ultrasónica de validación medida coincide con una señal de validación de referencia y emitir una primera notificación que represente la validación de la señal ultrasónica de inspección medida.

En una realización, el analizador puede configurarse para determinar que la señal ultrasónica de validación medida no coincide con la señal de validación de referencia y para emitir una segunda notificación que represente la invalidación de la señal ultrasónica de inspección medida.

En otra realización, cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases puede configurarse para barrer el haz ultrasónico de validación emitido a través de un arco de direcciones predeterminadas y para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de validación después de la reflexión desde una pluralidad de geometrías de validación de acoplamiento respectivas.

En otra realización, cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases que emiten la señal ultrasónica de inspección puede configurarse para barrer la señal ultrasónica de inspección a través de un arco de direcciones predeterminadas y cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases que miden el haz ultrasónico de inspección reflejado puede configurarse para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de inspección después de la reflexión desde una pluralidad de defectos respectivos.

Las realizaciones de las sondas ultrasónicas de matriz pueden adoptar una variedad de configuraciones. En una realización, el sistema incluye al menos dos sondas ultrasónicas de matriz y se puede configurar un portasondas para colocar las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases una con respecto a la otra en una configuración que imite una curvatura de la banda de rodadura de la rueda. En otra realización, una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz puede configurarse para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección, y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases puede configurarse para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección. En otro aspecto, una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas pueden configurarse cada una para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección y para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección.

En otra realización, el ensamblaje de colocación de sondas puede configurarse para elevar reversiblemente la rueda por encima de una superficie subyacente y para rotar la rueda mientras está elevada.

En otra modalidad, el sistema puede incluir un anunciador en comunicación con el analizador. El anunciador puede configurarse para anunciar un primer anuncio que represente la validación de la señal ultrasónica de inspección en respuesta a la recepción de la primera notificación. El anunciador también puede configurarse para anunciar un segundo anuncio, diferente del primer anuncio, que represente la invalidación de la señal ultrasónica de inspección en respuesta a la recepción de la segunda notificación.

Se proporciona un método para la inspección ultrasónica. El método incluye colocar una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases para la comunicación ultrasónica con una rueda que incluya al menos una geometría de validación de acoplamiento. El método también incluye emitir, por cada una de la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases, una señal ultrasónica de validación dirigida hacia una geometría de validación de acoplamiento dentro de la rueda. El método incluye además medir, mediante cada una de la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases, su señal ultrasónica de validación emitida después de la reflexión desde una respectiva de la al menos una geometría de validación de acoplamiento. El método incluye además emitir, mediante al menos una de las sondas ultrasónicas de la matriz, una señal de inspección ultrasónica hacia un área de inspección de la rueda. El método también incluye medir, mediante al menos una de las sondas ultrasónicas de matriz, la señal ultrasónica de inspección después de la reflexión de un defecto colocado dentro del área de inspección. El método incluye además recibir, mediante un analizador en comunicación con cada una de la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases, la señal ultrasónica de validación medida y la señal ultrasónica de inspección medida. El método también incluye determinar, mediante el analizador, que la señal ultrasónica de validación medida coincide con una señal de validación de referencia. El método incluye además emitir, mediante el analizador, una primera notificación que representa la validación de la señal ultrasónica de inspección medida.

En una realización, el método puede incluir determinar, mediante el analizador, que la señal ultrasónica de validación medida no coincide con la señal de validación de referencia y emitir, mediante el analizador, una segunda notificación que represente la invalidación de la señal ultrasónica de inspección medida.

En otra realización, cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases puede configurarse para barrer el haz ultrasónico de validación emitido a través de un arco de direcciones predeterminadas y para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de validación después de la reflexión desde una pluralidad de geometrías de validación de acoplamiento respectivas.

En otra realización, cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases que emiten la señal ultrasónica de inspección puede configurarse para barrer la señal ultrasónica de inspección a través de un arco de direcciones predeterminadas y cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases que miden el haz ultrasónico de inspección reflejado puede configurarse para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de inspección después de la reflexión desde una pluralidad de defectos respectivos dentro del área de inspección.

En otra realización, la al menos una sonda ultrasónica de matriz de fases puede adoptar una variedad de configuraciones. En una realización, la al menos una sonda ultrasónica de matriz de fases puede incluir al menos dos sondas ultrasónicas de matriz. Las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases se pueden colocar una con respecto a la otra en una configuración que imite una curvatura de una banda de rodadura de la rueda. En otra

realización, una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz puede configurarse para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección, y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases puede configurarse para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección. En otra realización, una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas pueden configurarse cada una para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección y para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección.

En otra realización, la una o más sondas ultrasónicas de matriz de fases pueden colocarse con respecto a la rueda mientras la rueda se eleva por encima de una superficie subyacente.

En otra realización, el método puede incluir además rotar la rueda mientras está elevada y después de que cada sonda ultrasónica de matriz de fases mida su señal ultrasónica de validación emitida y emita y/o mida su señal ultrasónica de inspección.

En otra modalidad, la rueda es una rueda de tren.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características se entenderán más fácilmente a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la Fig. 1 es una imagen que ilustra un tren y una rueda de tren;

la Fig. 2A es una imagen que ilustra una realización ilustrativa de un entorno operativo que incluye un sistema de ensayo por ultrasonidos que tiene una sonda ultrasónica para la inspección de las ruedas del tren;

la Fig. 2B es un diagrama esquemático que ilustra una vista ampliada del sistema de ensayo por ultrasonidos de la Fig. 2A;

la Fig. 3A es una vista lateral de una parte de una rueda de tren que ilustra las sondas ultrasónicas de un sistema de ensayo por ultrasonidos existente colocadas sobre la misma para el ensayo por ultrasonidos;

la Fig. 3B es una vista frontal en sección transversal de la Fig. 3A;

la Fig. 4A es un diagrama que ilustra una realización ilustrativa de una sonda ultrasónica de matriz de fases;

la Fig. 4B es una vista lateral de una parte de una rueda de tren que ilustra una realización ilustrativa de una sonda ultrasónica de matriz de fases según la Fig. 4A colocada sobre la misma para realizar el ensayo por ultrasonidos;

la Fig. 4C es una vista frontal en sección transversal de la Fig. 4B;

las Figs. 5A-5D son vistas frontales en sección transversal de otras realizaciones de ruedas de tren que ilustran las características de la validación de acoplamiento y las sondas ultrasónicas de matriz de fases colocadas sobre las mismas para el ensayo por ultrasonidos;

la Fig. 6 es una ilustración esquemática de un sistema de análisis del sistema de inspección ultrasónica de las Figs. 4A-5D; y

la Fig. 7 es un diagrama de flujo que ilustra una realización ilustrativa de un método para la inspección ultrasónica y la validación de acoplamiento utilizando sondas ultrasónicas de matriz de fases.

Se indica que los dibujos no están necesariamente a escala. Los dibujos están destinados a representar únicamente aspectos típicos del objeto descrito en el presente documento y, por lo tanto, no deben considerarse como limitativos del alcance de la descripción. Los expertos en la técnica entenderán que los sistemas, dispositivos y métodos descritos específicamente en el presente documento e ilustrados en los dibujos adjuntos son realizaciones a modo de ejemplo no limitativas y que el alcance de la presente invención se define únicamente por las reivindicaciones.

Descripción detallada

Las ruedas, por ejemplo, las ruedas de tren, pueden sufrir daños, como grietas, con el tiempo durante su uso. Si este daño es demasiado grave, puede provocar la rotura de la rueda. Para evitar que las ruedas fallen durante el servicio, se pueden inspeccionar periódicamente. En algunos casos, dado que el daño no es visible en la superficie de la rueda, la inspección puede incluir técnicas que permitan investigar el interior de la rueda, tales como el ensayo por ultrasonidos. En un ensayo por ultrasonidos, las sondas ultrasónicas se pueden colocar en la rueda y pueden enviar y recibir ondas ultrasónicas (ondas sonoras de alta frecuencia) para detectar defectos debajo de la superficie de la

rueda. Cuando un ensayo por ultrasonidos se realiza correctamente, las ondas ultrasónicas pueden viajar fácilmente entre las sondas ultrasónicas y la rueda. Esta condición, denominada acoplamiento, puede garantizar que los defectos se midan con precisión. Los sistemas de ensayo por ultrasonidos existentes pueden usar una o más primeras sondas ultrasónicas para medir defectos y una o más segundas sondas ultrasónicas, diferentes de las primeras sondas ultrasónicas, para realizar mediciones que validen el acoplamiento ultrasónico de las primeras sondas ultrasónicas. Sin embargo, esta técnica supone que las mediciones de validación de acoplamiento adquiridas por la(s) segunda(s) sonda(s) son aplicables a la(s) primera(s) sonda(s) ultrasónica(s). Sin embargo, en algunos casos, esta suposición puede ser falsa y las mediciones de defectos adquiridas por el primer conjunto de sondas ultrasónicas pueden ser erróneas debido a un acoplamiento deficiente. En consecuencia, se proporcionan sistemas de ensayo por ultrasonidos mejorados y métodos correspondientes en los que cada sonda ultrasónica está configurada para medir defectos dentro de un objetivo, tal como una rueda, y para validar su acoplamiento a la rueda. Debido a que cada sonda ultrasónica puede validar de forma independiente su acoplamiento a la rueda, siempre que su acoplamiento permanezca validado, se garantiza que sus mediciones de defectos sean precisas.

En la presente memoria se explican realizaciones de sistemas de ensayo por ultrasonidos y métodos correspondientes para validar mediciones ultrasónicas adquiridas para ruedas de trenes.

La Fig. 1 ilustra una realización de un tren 100 que incluye ruedas 102 de tren colocadas sobre raíles 103, y las Figs. 2A-2B ilustran una realización ilustrativa de un sistema 200 de ensayo por ultrasonidos para la inspección de una rueda 102 de tren. Como se muestra, la rueda 102 de tren incluye un disco 104 de rueda, una banda 106 de rodadura y una pestaña 110 de rueda. El disco 104 de rueda forma un centro de la rueda 102 de tren y la banda 106 de rodadura forma una superficie exterior circunferencial de la rueda 102 de tren. La pestaña 110 de la rueda puede formarse en un lado de la rueda 102 de tren (p. ej., un lado interior) y extenderse radialmente hacia fuera desde la banda 106 de rodadura.

El disco 104 de rueda incluye uno o más orificios a través del mismo. Como se muestra, un orificio principal 112 está situado aproximadamente en el centro del disco 104 de rueda y puede configurarse para recibir un eje 115 a través de él. Uno o más orificios secundarios 114 pueden formarse radialmente hacia fuera del orificio principal 112 y configurarse para acoplar otros componentes a la rueda 102 de tren, tales como los discos de freno (no mostrados).

El sistema 200 de ensayo por ultrasonidos puede incluir una o más sondas ultrasónicas 202 y un ensamblaje 208 de colocación de sondas que incluye un portasondas 204, una montura 206 para portasondas y una unidad 210 de elevación y rotación. Como se muestra, un número predeterminado de sondas ultrasónicas 202 puede acoplarse mecánicamente al portasondas 204 y orientarse una con respecto a la otra mediante el portasondas 204 (p. ej., en una configuración arqueada que imite una curvatura de la banda 106 de rodadura). Cada portasondas 204, a su vez, puede acoplarse a la montura 206 para portasondas. Cuando se usa el sistema 200 de ensayo por ultrasonidos para la inspección de una rueda 102 de tren, la unidad 210 de elevación y rotación puede configurarse para elevar la rueda 102 de tren por encima del raíl 103 subyacente y rotar la rueda 102 de tren alrededor de un eje que se extiende a través del orificio principal 112 (p. ej., mediante una o más ruedas 210a de rotación). La montura 206 para portasondas se puede acoplar al portasondas 204 y se puede configurar para colocar las sondas ultrasónicas 202 adyacentes a, o en contacto con, la banda 106 de rodadura para una comunicación ultrasónica con la rueda 102 de tren mientras está elevada. Si bien no se muestra, se puede proporcionar un fluido de acoplamiento ultrasónico entre las sondas ultrasónicas 202 y la rueda 102 de tren para facilitar la comunicación ultrasónica.

En general, cuando los haces ultrasónicos atraviesan un material, pueden reflejarse desde las superficies del material, tales como los defectos interiores (p. ej., grietas, poros, etc.) y las superficies exteriores. Las características del material, como los límites geométricos y los defectos, pueden reflejar los haces ultrasónicos de diferentes maneras. Algunas características del material pueden reflejar los haces ultrasónicos mejor que otras, y la intensidad de los haces ultrasónicos reflejados puede variar. Las características del material también pueden estar a diferentes distancias de las sondas ultrasónicas y el tiempo en el que los haces ultrasónicos reflejados llegan a las sondas ultrasónicas puede variar. Las mediciones de la intensidad y el comportamiento en el tiempo de los haces ultrasónicos reflejados desde la rueda 102 de tren pueden analizarse para determinar la posición y el tamaño de los defectos internos.

La Fig. 3A es una vista lateral de una parte de la rueda 102 de tren, que ilustra el sistema 200 de ensayo por ultrasonidos en forma de un sistema 300 de ensayo por ultrasonidos que incluye dos conjuntos de sondas ultrasónicas 302 para el ensayo por ultrasonidos según una técnica existente. Como se muestra, las sondas ultrasónicas 302 se colocan en la rueda 102 de tren (p. ej., una superficie circunferencial exterior de la banda 106 de rodadura) y pueden incluir una o más sondas ultrasónicas de inspección (p. ej., 304a, 304b) y una sonda ultrasónica de validación (p. ej., 306). En la Fig. 3B se ilustra una vista frontal en sección transversal correspondiente de la rueda 102 de tren. El sistema 300 de ensayo por ultrasonidos también puede incluir el portasondas 204, la montura 206 para portasondas y una unidad 210 de elevación y rotación, que se omiten para mayor claridad.

Cada una de las sondas ultrasónicas 302a, 302b puede incluir un único elemento activo ultrasónico configurado para generar y/o medir ondas ultrasónicas (también denominado haces ultrasónicos) para la inspección ultrasónica de la rueda 102 de tren dentro de un área 310 de inspección. El área 310 de inspección se ubica entre el orificio principal 112 y la banda 106 de rodadura. Las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección pueden configurarse para medir defectos 308 (p. ej., 1, 2, 3, 4) dentro del área 310 de inspección enviando y recibiendo señales ultrasónicas 304s de

inspección. En un aspecto, las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección se pueden emparejar, una para transmitir y otra para recibir, denominado “configuración de transmisión en V”. Como se muestra en la Fig. 3A, una primera sonda ultrasónica 304a de inspección puede configurarse para emitir una señal ultrasónica 304s de inspección. Si hay un defecto 308 en la trayectoria de la señal ultrasónica 304s de inspección, puede reflejarse desde ese defecto 308 (p. ej., 1, 2, 3) y medirse mediante una segunda sonda ultrasónica 304b de inspección. En otro aspecto, una sola de las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección puede generar y medir un haz ultrasónico de inspección que se refleja desde uno de los defectos 308, también denominado escaneo directo. Como se muestra, la segunda sonda ultrasónica 304b de inspección puede generar una señal ultrasónica 304s' de inspección que se refleja desde uno de los defectos 308 (p. ej., 4) dentro del área 310 de inspección y medir la señal ultrasónica 304s' de inspección reflejada. En cualquier caso, el análisis de las señales ultrasónicas 304s, 304s' de inspección medidas puede proporcionar estimaciones del tamaño y la ubicación de uno o más de los defectos 308 (p. ej., 1, 2, 3, 4) dentro del área 310 de inspección.

La sonda ultrasónica 306 de validación se emplea para validar el acoplamiento de las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección. En general, las geometrías del disco de rueda incluyen características que reflejan haces ultrasónicos con propiedades de reflexión definidas, características y muy conocidas. Estas características incluyen, pero no se limitan a, la intersección convexa desde la banda 106 de rodadura hasta el disco 104 de rueda. Estas características pueden denominarse en la presente memoria geometrías 312 de validación de acoplamiento. La sonda ultrasónica 306 de validación está configurada para generar y medir las señales ultrasónicas 306s de validación reflejadas desde las geometrías 312 de validación de acoplamiento. Cuando las señales ultrasónicas 306s de validación medidas por la sonda ultrasónica 306 de validación concuerdan con un comportamiento esperado, el acoplamiento puede considerarse bueno o validarse. Cuando las señales ultrasónicas 306s de validación medidas por la sonda ultrasónica 306 de validación se desvían de un comportamiento esperado, el acoplamiento puede considerarse deficiente o no está validado.

Sin embargo, el uso de la sonda ultrasónica 306 de validación separada de la sonda o sondas ultrasónicas 302 de inspección puede ser problemático por varias razones.

En un aspecto, se supone que cuando la sonda ultrasónica 306 de validación valida su propio acoplamiento a la rueda 102 de tren, este resultado también es aplicable a las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección. Sin embargo, en el peor de los casos, esta suposición no es cierta. Por lo tanto, los sistemas de ensayo por ultrasonidos existentes, tales como el sistema 300 de ensayo por ultrasonidos, pueden no validar adecuadamente las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección, con el riesgo de una interpretación incorrecta de los resultados del ensayo por ultrasonidos.

En otro aspecto, debido a que están configuradas para generar y medir haces ultrasónicos para diferentes características dentro de la rueda 102 de tren (p. ej., los defectos 308 en comparación con las geometrías 312 de validación de acoplamiento), la orientación de las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección y la sonda ultrasónica 306 de validación es diferente. Es decir, las respectivas sondas ultrasónicas 302 no pueden tanto medir los defectos 308 como realizar la validación.

En otro aspecto, la necesidad de una sonda ultrasónica 306 de validación separada de las sondas ultrasónicas 304a, 304b de inspección puede añadir costes y complejidad adicionales a los sistemas de ensayo por ultrasonidos existentes (p. ej., el sistema 300 de ensayo por ultrasonidos).

Las realizaciones de la presente descripción proporcionan sistemas y métodos mejorados para un ensayo por ultrasonidos. Un sistema 400 de ensayo por ultrasonidos mejorado puede ser similar al sistema 200 de ensayo por ultrasonidos, incluidos el portasondas 204, la montura 206 para portasondas y la unidad 210 de elevación y rotación de la Fig. 2. Sin embargo, las sondas ultrasónicas 202 se sustituyen por sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases, también denominadas sondas ultrasónicas de control de fase, ilustradas en la Fig. 4A. Una sonda ultrasónica 402 de matriz de fases puede incluir dos o más elementos activos ultrasónicos. Estos elementos activos ultrasónicos pueden configurarse para generar y medir haces ultrasónicos y pueden disponerse en un patrón predeterminado uno con respecto a otro (p. ej., una línea, un círculo, una cuadrícula, etc.). Cada uno de los elementos activos ultrasónicos también puede configurarse para generar haces ultrasónicos que varían en intensidad y/o tiempo con respecto a los haces ultrasónicos generados por los otros elementos activos ultrasónicos. Los diversos haces ultrasónicos pueden interferir uno con otro para producir un haz ultrasónico 402s neto en una dirección predeterminada. Este proceso puede repetirse según sea necesario para barrer el haz ultrasónico 402s a través de un arco A de diferentes direcciones predeterminadas. En la patente US-9.244.043 se pueden encontrar realizaciones ilustrativas de sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases.

La Fig. 4B es una vista lateral de una parte de la rueda 102 de tren. Como se muestra, las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden colocarse sobre o adyacentes a la rueda 102 de tren (p. ej., una superficie circunferencial exterior de la banda 106 de rodadura) para el ensayo por ultrasonidos. En la Fig. 4C se ilustra una vista frontal en sección transversal correspondiente de la rueda 102 de tren. Se ilustran dos sondas ultrasónicas 402a, 402b de matriz de fases y las partes restantes del sistema 400 de ensayo por ultrasonidos mejorado se omiten para mayor claridad. Sin embargo, se puede emplear sin límite cualquier número de sondas de matriz de fases. En circunstancias en las que el sistema se emplea con ruedas que no sean ruedas de tren, las sondas ultrasónicas de matriz de fases pueden

colocarse sobre o adyacentes a la rueda en una ubicación adecuada, tal como una superficie circunferencial exterior de la rueda.

Cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases está configurada para adquirir mediciones para la detección de defectos 404 dentro de un área 406 de inspección y la validación de su acoplamiento ultrasónico con respecto a la rueda 102 de tren. El área 406 de inspección se extiende desde la banda 106 de rodadura hasta el orificio principal 112.

Como se muestra en la Fig. 4B, las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases están dispuestas en una configuración de transmisión en V. La sonda ultrasónica 402a de matriz de fases puede configurarse para generar una señal ultrasónica 410s de inspección que se dirige hacia el área 406 de inspección. Si el defecto 404 está presente en la trayectoria de la señal ultrasónica 410s de inspección, la señal ultrasónica 410s de inspección puede reflejarse desde el defecto 404 y medirse mediante la sonda ultrasónica 402b de matriz de fases. Como se muestra además, ambas sondas ultrasónicas 402a, 402b de matriz de fases también pueden configurarse para generar y medir una señal ultrasónica 412s de validación respectiva reflejada desde una geometría 414 de validación de acoplamiento. En consecuencia, la señal ultrasónica 410s de inspección y la señal ultrasónica 412s de validación pueden emitirse y reflejarse en direcciones diferentes entre sí. Como se ha explicado anteriormente, la geometría 414 de validación de acoplamiento representa una o más características que reflejan haces ultrasónicos con propiedades de reflexión definidas, características y muy conocidas (p. ej., características con radios convexos). Si bien las configuraciones de transmisión en V se han explicado anteriormente, las realizaciones del sistema de ensayo por ultrasonidos mejorado también pueden emplear sondas ultrasónicas de matriz en una configuración de escaneo directo, en la que cada sonda ultrasónica de matriz genera y mide haces ultrasónicos de inspección después de la reflexión desde un defecto.

En ciertas realizaciones, la rueda 102 de tren se puede elevar de una superficie subyacente (p. ej., el raíl 103) mientras se emiten y reflejan la señal ultrasónica 410s de inspección y la señal ultrasónica 412s de validación. La rueda 102 de tren también se puede rotar mientras está elevada para facilitar la inspección de prácticamente todo el volumen del área 406 de inspección. En un aspecto, la rotación se puede realizar después de la medición de la señal ultrasónica 410s de inspección reflejada y la señal ultrasónica 412s de validación. En otro aspecto, la rotación se puede realizar a una velocidad seleccionada durante la emisión de la señal ultrasónica 410s de inspección y la señal ultrasónica 412s de validación, la reflexión de la señal ultrasónica 410s de inspección reflejada y la señal ultrasónica 412s de validación, y/o la medición de la señal ultrasónica 410s de inspección reflejada y la señal ultrasónica 412s de validación.

Las Figs. 5A-5D ilustran vistas frontales en sección transversal de realizaciones ilustrativas adicionales de ruedas 500, 502, 504, 506 de tren que tienen diferentes geometrías 510, 512, 514, 516 de validación de acoplamiento adicionales y las respectivas sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases colocadas sobre las mismas para el ensayo por ultrasonidos. Las geometrías 510, 512, 514, 516 de validación de acoplamiento adicionales para cada una de las ruedas 500, 502, 504, 506 de tren están rodeadas con un círculo como referencia. Como ejemplo, pueden estar presentes geometrías 510, 512, 514, 516 de validación de acoplamiento adicionales dentro de la banda 106 de rodadura, el disco 104 de rueda o combinaciones de los mismos. Como se muestra, las realizaciones de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden dirigir señales ultrasónicas 412s de validación adicionales hacia una o más de las geometrías 510, 512, 514, 516 de validación de acoplamiento de su respectiva rueda 500, 502, 504, 506 de tren para validar su acoplamiento a las mismas. Además, como se ha explicado anteriormente, las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden dirigir señales ultrasónicas 410s de inspección al área 406 de inspección para la detección de defectos 404.

La Fig. 6 ilustra un sistema 600 de análisis del sistema 400 de ensayo por ultrasonidos mejorado configurado para la comunicación electrónica con cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases. El sistema 600 de análisis puede incluir un analizador 602, un anunciador 604 y un dispositivo 606 de visualización. El analizador 602 puede ser cualquier dispositivo informático que emplee un procesador de uso general o específico para una aplicación (p. ej., el procesador 610) y también puede incluir una memoria 612. El procesador 610 puede incluir uno o más dispositivos de procesamiento, y la primera memoria 220 puede incluir uno o más medios tangibles, no transitorios y legibles por máquina que almacenen colectivamente instrucciones ejecutables por el primer procesador 216 para realizar los métodos y las acciones de control descritos en la presente memoria. Las realizaciones del analizador 602 pueden implementarse usando circuitos electrónicos analógicos, circuitos electrónicos digitales y combinaciones de los mismos.

En una realización, la memoria 612 puede almacenar una señal de validación de referencia para cada geometría 414 de validación de acoplamiento. La señal de validación de referencia puede representar una señal ultrasónica 412s de validación medida en condiciones de buen acoplamiento. La memoria 612 puede almacenar además instrucciones y/o algoritmos para determinar si la señal ultrasónica 412s de validación medida reflejada desde una geometría 414 de validación de acoplamiento coincide con una señal ultrasónica de referencia correspondiente para esa geometría 414 de validación de acoplamiento. Como ejemplo, se puede determinar una coincidencia cuando la intensidad de la señal ultrasónica 412s de validación medida y la señal ultrasónica de validación de referencia varían entre sí en menos de una cantidad umbral predeterminada en función del tiempo. Por el contrario, no se puede determinar una coincidencia cuando la intensidad de la señal ultrasónica 412s de validación medida y la señal ultrasónica de validación de referencia varían entre sí en más de la cantidad umbral predeterminada en función del tiempo.

En una realización alternativa, la memoria puede almacenar una intensidad de señal de validación de referencia para cada geometría de acoplamiento de validación. La intensidad de la señal de validación de referencia puede representar una intensidad umbral por encima de la cual se puede considerar que una señal ultrasónica de validación representa un buen acoplamiento. La memoria puede almacenar además instrucciones y/o algoritmos para determinar si la señal ultrasónica de validación medida reflejada desde una geometría de validación de acoplamiento presenta una intensidad mayor o igual a la intensidad de la señal de validación de referencia para esa geometría de validación de acoplamiento. Se puede considerar que una señal ultrasónica de validación medida que tenga una intensidad mayor o igual a la intensidad de la señal de validación de referencia posee un buen acoplamiento. Por el contrario, se puede considerar que una señal ultrasónica de validación medida que tenga una intensidad inferior a la intensidad de la señal de validación de referencia posee un acoplamiento deficiente.

La Fig. 7 es un diagrama de flujo que ilustra una realización ilustrativa de un método 700 para la inspección ultrasónica en el que cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases puede configurarse tanto para realizar una inspección ultrasónica de la rueda 102 de tren como para validar su acoplamiento ultrasónico con la rueda 102 de tren. El método 700 se describe a continuación en relación con el sistema 400 de ensayo por ultrasonidos mejorado de las Figs. 4A-6. Como se ilustra, el método 700 incluye las operaciones 702-716. Sin embargo, realizaciones alternativas del método pueden incluir más operaciones que las ilustradas en la Fig. 7, y las operaciones pueden realizarse en un orden diferente al ilustrado en la Fig. 7, en la medida en que entren dentro del alcance de las reivindicaciones.

En la operación 702, una o más sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases se colocan para la comunicación ultrasónica con la rueda 102 de tren. Las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases se colocan usando el ensamblaje 208 de colocación de sondas. Como ejemplo, la una o más sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden colocarse sobre o adyacentes a la banda 106 de rodadura de la rueda 102 de tren. En otras realizaciones, la una o más sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden incluir al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases (p. ej., 402a, 402b) colocadas una con respecto a la otra en una configuración que imita una curvatura de la banda 106 de rodadura. En las operaciones 704-706, cada una de la una o más sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases emite la señal ultrasónica 412s de validación hacia una geometría de validación de acoplamiento (p. ej., 414) dentro de la rueda 102 de tren y mide las correspondientes señales ultrasónicas 412s de validación reflejadas. La rueda 102 de tren incluye una o más geometrías de validación de acoplamiento (p. ej., 414). Además, cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases puede configurarse para barrer la señal ultrasónica 412s de validación emitida a través de un arco de direcciones predeterminadas y medir una pluralidad de señales ultrasónicas 412s de validación después de la reflexión desde una pluralidad de geometrías 414 de validación de acoplamiento.

En la operación 708, cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases emite una señal ultrasónica 410s de inspección hacia el área 406 de inspección de la rueda 102 de tren. De manera similar a las señales ultrasónicas 412s de validación, las señales ultrasónicas 410s de inspección emitidas se pueden barrer a través de un arco de direcciones predeterminadas. En la operación 710, al menos una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases puede medir la señal ultrasónica 410s de inspección emitida después de la reflexión desde un defecto dentro del área 406 de inspección (p. ej., el defecto 404). Por lo tanto, cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases que emite una señal ultrasónica 410s de inspección puede configurarse para barrer la señal ultrasónica 410s de inspección a través de un arco de direcciones predeterminadas, y cada una de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases que mide la señal ultrasónica 410s de inspección reflejada puede configurarse para medir una pluralidad de señales ultrasónicas 410s de inspección después de la reflexión desde una pluralidad de defectos 404 respectivos.

En ciertas realizaciones, la una o más sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases pueden incluir al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases (p. ej., 402a, 402b). En un aspecto, una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas 402a de matriz de fases puede configurarse para emitir la señal ultrasónica 410s de inspección hacia el área 406 de inspección, y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas 402b de matriz de fases puede configurarse para medir la señal ultrasónica 410s de inspección reflejada desde un defecto 404 (p. ej., una configuración de transmisión en V). En otro aspecto, la primera sonda ultrasónica 402a de matriz de fases y la segunda sonda ultrasónica 402b de matriz de fases pueden configurarse cada una para emitir la señal ultrasónica 410s de inspección y para medir su señal ultrasónica 410s de inspección reflejada desde un defecto 404 (p. ej., una configuración de haz directo).

La manera en la que se generan las señales ultrasónicas 410s de inspección y las señales ultrasónicas 412s de validación se puede elegir en función de la rueda 102 de tren que se esté inspeccionando. En general, se puede generar un número predefinido de haces ultrasónicos de inspección, seguido de una señal ultrasónica de validación, o viceversa. En un aspecto, las señales ultrasónicas de inspección y las señales ultrasónicas de validación pueden generarse alternativamente. En otro aspecto, se puede generar un número predeterminado de señales ultrasónicas de inspección (p. ej., aproximadamente 100) seguido de una o más señales ultrasónicas de validación. Este ciclo se puede repetir o variar según sea necesario durante la duración del ensayo por ultrasonidos.

En las operaciones 712-716, el analizador 602 valida el acoplamiento ultrasónico de las sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases. En la operación 712, el analizador 602 recibe una señal ultrasónica 412s de validación medida y una señal ultrasónica 410s de inspección medida (p. ej., desde sondas ultrasónicas 402 de matriz de fases). En la operación 714, el analizador 602 puede determinar que la señal ultrasónica 412s de validación medida coincide con

una señal ultrasónica de validación de referencia. La señal ultrasónica 412 de validación de referencia puede mantenerse mediante la memoria 612 y el procesador 610 puede realizar una comparación de las dos para determinar una coincidencia. Como ejemplo, se puede identificar una coincidencia cuando la señal ultrasónica 412s de validación medida y la señal ultrasónica de validación de referencia difieren en menos de una cantidad umbral (p. ej., basándose en la intensidad en función del tiempo). El analizador 602 está configurado para emitir una primera señal 602s de notificación que representa la validación de la señal ultrasónica 410s de inspección medida en la operación 716. Por el contrario, en circunstancias en las que la señal ultrasónica 412s de validación medida y la señal ultrasónica de validación de referencia difieren en más o igual que la cantidad umbral (p. ej., basándose en la intensidad en función del tiempo), el analizador 602 puede configurarse para emitir también una segunda señal 602s' de notificación que represente la invalidación de la señal ultrasónica 410s de inspección medida en la operación 716.

El anunciador 604 puede recibir la primera y la segunda señales 602s, 602s' de notificación. El anunciador 604 puede configurarse para anunciar un primer anuncio (p. ej., audio, vídeo, texto, etc.) que represente la validación de la señal ultrasónica 410s de inspección en respuesta a la recepción de la primera señal 602s de notificación. El anunciador 604 puede configurarse para anunciar un segundo anuncio (p. ej., audio, vídeo, texto, etc.) que represente la invalidación de la señal ultrasónica 410s de inspección en respuesta a la recepción de la segunda señal 602s' de notificación.

Los efectos técnicos de los métodos, sistemas y dispositivos descritos en la presente memoria incluyen ensayo por ultrasonidos y validación de acoplamiento ultrasónico integrados. En un aspecto, se puede proporcionar la validación de acoplamiento ultrasónico para cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases. Es decir, a diferencia del sistema de ensayo por ultrasonidos existente, el acoplamiento ultrasónico entre cada sonda ultrasónica de matriz y una rueda de tren se puede medir directamente, en lugar de asumirlo basándose en mediciones de otras sondas ultrasónicas. Esta validación directa puede garantizar que los resultados de un ensayo por ultrasonidos se interpreten correctamente. En otro aspecto, el uso de sondas ultrasónicas de matriz de fases en un sistema de ensayo por ultrasonidos puede minimizar sustancialmente el riesgo de que se pasen por alto defectos debido a interpretaciones erróneas de los resultados de un ensayo por ultrasonidos. En otro aspecto, se pueden proporcionar sistemas de ensayo por ultrasonidos mejorados en los que se emplean todas las sondas ultrasónicas para la detección de defectos. Esto difiere de los sistemas de ensayo por ultrasonidos existentes, en los que algunas sondas (p. ej., las sondas ultrasónicas de validación) se emplean únicamente para la validación de acoplamiento y no para la detección de defectos. La ausencia de sondas configuradas para diferentes funciones puede reducir la complejidad y el coste de un ensayo por ultrasonidos.

El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse en circuitos electrónicos analógicos, circuitos electrónicos digitales, y/o en software, firmware o hardware informáticos, incluyendo los medios estructurales descritos en esta memoria descriptiva y equivalentes estructurales de los mismos, o en combinaciones de los mismos. El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse como uno o más productos de programas informáticos, tales como uno o más programas informáticos incorporados de forma tangible en un soporte de información (p. ej., en un dispositivo de almacenamiento legible por máquina), o incorporarse en una señal propagada, para su ejecución por, o para controlar el funcionamiento de, el aparato de procesamiento de datos (p. ej., un procesador programable, un ordenador o múltiples ordenadores). Un programa informático (también conocido como programa, software, aplicación de software, script, o código) se puede escribir en cualquier lenguaje de programación, incluidos lenguajes compilados o interpretados, y pueden implementarse en cualquier forma, incluso como un programa independiente o como un módulo, componente, subrutina, u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático. Un programa informático no corresponde necesariamente a un archivo. Un programa puede almacenarse en una parte de un archivo que contenga otros programas o datos, en un solo archivo dedicado al programa en cuestión, o en múltiples archivos coordinados (p. ej., archivos que almacenen uno o más módulos, subprogramas, o partes de código). Un programa informático puede implementarse para que se ejecute en un ordenador o en múltiples ordenadores en un sitio o distribuidos en múltiples sitios y que estén interconectados por una red de comunicación.

Los procesos y flujos lógicos descritos en esta memoria descriptiva, incluyendo las etapas del método del objeto descrito en la presente memoria, se pueden llevar a cabo mediante uno o más procesadores programables que ejecuten uno o más programas informáticos para realizar funciones del objeto descrito en la presente memoria, operando con datos de entrada y generando salida. Los procesos y flujos lógicos también se pueden llevar a cabo mediante, y un dispositivo del objeto descrito en la presente memoria puede implementarse como, circuitos lógicos de propósito, p. ej., una matriz de puertas programable en campo (Field Programmable Gate Array - FPGA), o un circuito integrado específico de la aplicación (Application-Specific Integrated Circuit - ASIC).

Los procesadores adecuados para la ejecución de un programa informático incluyen, a modo de ejemplo, microprocesadores tanto para aplicaciones generales como especiales, y uno o más procesadores de cualquier tipo de ordenador digital. Por lo general, un procesador recibirá instrucciones y datos de una memoria de solo lectura o de una memoria de acceso aleatorio o de ambas. Los elementos esenciales de un ordenador son un procesador para ejecutar instrucciones, y uno o más dispositivos de memoria para almacenar instrucciones y datos. Generalmente, un ordenador también incluirá o estará acoplado operativamente para recibir datos, transferir datos, o ambos, a y de uno o más dispositivos de almacenamiento masivo para almacenar datos, p. ej., discos magnéticos, discos magnetoópticos o discos ópticos. Los portadores de información adecuados para incorporar instrucciones y datos del programa

informático incluyen todas las formas de memoria no volátil, incluyendo, a modo de ejemplo, dispositivos de memoria semiconductores, (p. ej., EPROM, EEPROM y dispositivos de memoria flash); discos magnéticos (p. ej., discos duros internos, o discos extraíbles); discos magnetoópticos; y discos ópticos (p. ej., discos CD y DVD). El procesador y la memoria pueden complementarse con o incorporarse en un sistema de circuitos lógicos con un propósito especial.

Para proporcionar una interacción con un usuario, las realizaciones del objeto descrito en la presente memoria se pueden implementar en un ordenador que tenga un dispositivo de visualización, p. ej., un monitor de tubos de rayos catódicos (CRT, por su siglas en inglés) o una pantalla de cristal líquido (LCD, por su siglas en inglés), para mostrar información al usuario. y un teclado y un puntero (p. ej., un ratón o una bola de seguimiento), con los que el usuario pueda proporcionar entradas al ordenador. También se pueden utilizar otros tipos de dispositivos para proporcionar interacción con un usuario. Por ejemplo, la retroalimentación proporcionada al usuario puede ser cualquier forma de retroalimentación sensorial (p. ej., retroalimentación visual, retroalimentación auditiva o retroalimentación táctil), y la entrada del usuario puede recibirse en cualquier forma, incluyendo una entrada acústica, de voz, o táctil.

Las técnicas descritas en la presente memoria pueden implementarse usando uno o más módulos. Como se usa en la presente memoria, el “término módulo” se refiere al software, firmware, hardware informáticos, y/o diversas combinaciones de los mismos. Sin embargo, como mínimo, los módulos no deben interpretarse como software que no se implemente en hardware, firmware, o grabado en un medio de almacenamiento no transitorio grabable legible por procesador (es decir, los módulos no son software en sí). De hecho, un “módulo” debe interpretarse como que siempre incluye al menos algún hardware físico no transitorio, tal como una parte de un procesador u ordenador. Dos módulos diferentes pueden compartir el mismo hardware físico (p. ej., dos módulos diferentes pueden utilizar el mismo procesador e interfaz de red). Los módulos descritos en la presente memoria pueden combinarse, integrarse, separarse y/o duplicarse para soportar diversas aplicaciones. Además, una función descrita en la presente memoria como realizada en un módulo particular, puede realizarse en uno o más de otros módulos y/o por uno o más de otros dispositivos, en lugar de o además de la función realizada en el módulo en particular. Además, los módulos pueden implementarse a través de múltiples dispositivos y/u otros componentes locales o remotos entre sí. Además, los módulos pueden moverse de un dispositivo y añadirse a otro dispositivo, y/o pueden incluirse en ambos dispositivos.

El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse en un sistema informático que incluya un componente *back-end* (p. ej., un servidor de datos), un componente de *middleware* (p. ej., un servidor de aplicaciones), o un componente de *front-end* (p. ej., un ordenador cliente que tenga una interfaz gráfica de usuario o un navegador web a través del cual un usuario pueda interactuar con una implementación del objeto descrito en la presente memoria), o cualquier combinación de dichos componentes back-end, middleware y front-end. Los componentes del sistema pueden interconectarse mediante cualquier forma o medio de comunicación de datos digitales, p. ej., una red de comunicaciones. Los ejemplos de redes de comunicaciones incluyen una red de área local (Local Area Network - “LAN”) y una red de área amplia (Wide Area Network - “WAN”), p. ej., Internet.

Se han descrito determinadas realizaciones ilustrativas para proporcionar una comprensión global de los principios de la estructura, función, fabricación y uso de los sistemas, dispositivos y métodos descritos en la presente memoria. Uno o más ejemplos de estas realizaciones se ilustran en los dibujos adjuntos. Las características ilustradas o descritas en relación con una realización a modo de ejemplo pueden combinarse con las características de otras realizaciones. Además, en la presente descripción, los componentes con nombres similares de las realizaciones tienen generalmente características similares y, por lo tanto, dentro de una realización particular, cada característica de cada componente de nombre similar no se desarrolla necesariamente de manera completa.

El lenguaje de aproximación, como se usa en la presente memoria a lo largo de la memoria descriptiva y las reivindicaciones, puede aplicarse para modificar cualquier representación cuantitativa que pudiera variar de manera permisible sin resultar en un cambio en la función básica con la que se relaciona. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, tales como “alrededor de”, “aproximadamente” y “sustancialmente”, no deben limitarse al valor preciso especificado. En al menos algunos casos, el lenguaje de aproximación puede corresponder a la precisión de un instrumento para medir el valor. Aquí y a lo largo de la memoria descriptiva y las reivindicaciones, las limitaciones de intervalo pueden combinarse y/o intercambiarse, dichos intervalos se identifican e incluyen todos los subintervalos contenidos en estos, a menos que el contexto o el lenguaje indiquen otra cosa.

Un experto en la técnica apreciará características y ventajas adicionales de la invención basándose en las realizaciones descritas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (400) de ensayo por ultrasonidos y una rueda (102) a inspeccionar, comprendiendo el sistema:
 - una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases;
un ensamblaje (208) de colocación de sondas configurado para acoplarse mecánicamente a la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases y para colocar la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases para la comunicación ultrasónica con la rueda (102), que incluye un disco (104) de rueda, que forma un centro de la rueda, una banda (106) de rodadura, que forma una superficie exterior circunferencial de la rueda, y al menos una geometría (312) de validación de acoplamiento, que incluye una característica que refleja haces ultrasónicos con propiedades de reflexión definidas, características y conocidas;
en donde la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases está(n) configurada(s) para: emitir una señal ultrasónica (412s) de validación dirigida hacia la geometría (312) de validación del acoplamiento dentro de la rueda (102);

medir su señal ultrasónica de validación emitida después de la reflexión desde una respectiva de la al menos una geometría (312) de validación de acoplamiento; y
emitir una señal ultrasónica (410s) de inspección para medir una señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto (404) situado dentro de un área (310) de inspección ubicada entre un orificio principal (112) situado alrededor del centro del disco (104) de rueda y la banda (106) de rodadura de la rueda; y
un analizador (602) configurado para:
recibir la señal ultrasónica (412s) de validación medida y la señal ultrasónica (410s) de inspección medida;
determinar si la señal ultrasónica (412s) de validación medida coincide con una señal de validación de referencia; y
emitir una primera notificación que representa la validación de la señal ultrasónica (410s) de inspección medida en las circunstancias en que la señal de validación medida coincide con la señal de validación de referencia;
en donde la al menos una geometría (312) de validación de acoplamiento comprende la intersección convexa desde la banda (106) de rodadura de la rueda (102) hasta el disco (104) de rueda de la rueda (102).
2. El sistema y la rueda de la reivindicación 1, en donde el analizador (602) está además configurado para:
 - determinar que la señal ultrasónica (412s) de validación medida no coincide con la señal de validación de referencia; y
emitir una segunda notificación que representa la invalidación de la señal ultrasónica (410s) de inspección medida en las circunstancias en que la señal de validación medida no coincide con la señal de validación de referencia.
3. El sistema y la rueda de la reivindicación 1, en donde cada una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases está configurada para barrer el haz ultrasónico (412s) de validación emitido a través de un arco de direcciones predeterminadas y para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de validación después de la reflexión desde una pluralidad de geometrías (312) de validación de acoplamiento respectivas.
4. El sistema y la rueda de la reivindicación 1, en donde cada una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases que emiten la señal ultrasónica de inspección está configurada para barrer la señal ultrasónica de inspección a través de un arco de direcciones predeterminadas y cada una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases que miden el haz ultrasónico de inspección reflejado está configurada para medir una pluralidad de señales ultrasónicas de inspección después de la reflexión desde una pluralidad de defectos respectivos.
5. El sistema y la rueda de la reivindicación 1, que comprenden un portasondas (204) y al menos dos sondas ultrasónicas (402) de matriz, en donde el portasondas (204) coloca las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases una con respecto a la otra en una configuración que imita una curvatura de una banda de rodadura de la rueda.
6. El sistema y la rueda de la reivindicación 5, en donde una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas (402) de matriz está configurada para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección, y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases está configurada para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección.
7. El sistema y la rueda de la reivindicación 5, en donde una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas están configuradas cada una para emitir

la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección y para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección.

- 5 8. El sistema y la rueda de la reivindicación 1, en donde el ensamblaje (208) de colocación de sondas está configurado para elevar de forma reversible la rueda (102) por encima de una superficie subyacente y para rotar la rueda (102) mientras está elevada.
- 10 9. El sistema y la rueda de la reivindicación 2, que comprenden además un anunciador (604) en comunicación con el analizador (602) y configurado para anunciar un primer anuncio que represente la validación de la señal ultrasónica de inspección en respuesta a la recepción de la primera notificación y un segundo anuncio que represente la invalidación de la señal ultrasónica de inspección en respuesta a la recepción de la segunda notificación.
- 15 10. Un método (700) de ensayo por ultrasonidos de una rueda (102), comprendiendo el método:
colocar (702) una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases para la comunicación
ultrasónica con la rueda (102), que incluye un disco (104) de rueda, que forma un centro de la rueda,
una banda (106) de rodadura, que forma una superficie exterior circunferencial de la rueda, y al
menos una geometría (312) de validación de acoplamiento;
20 emitir (704), mediante la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases, una señal
ultrasónica (412s) de validación dirigida hacia la geometría (312) de validación del acoplamiento que
incluye una característica que refleja haces ultrasónicos con propiedades de reflexión definidas,
características y conocidas dentro de la rueda (102);
25 medir (706), mediante la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases, su señal
ultrasónica de validación emitida después de la reflexión desde una respectiva de la al menos una
geometría (312) de validación de acoplamiento;
emitir (708), mediante la al menos una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases, una
señal ultrasónica (410s) de inspección hacia un área (310) de inspección ubicada entre un orificio
30 principal (112) situado aproximadamente en el centro del disco (104) de rueda y la banda (106) de
rodadura de la rueda (102);
medir (710), mediante al menos una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases, la señal
ultrasónica de inspección después de la reflexión desde un defecto (404) situado dentro del área de
inspección;
35 recibir (712), mediante un analizador (602) en comunicación con cada una de la una o más sondas
ultrasónicas (402) de matriz de fases, la señal ultrasónica de validación medida y la señal ultrasónica
de inspección medida;
determinar (714), mediante el analizador (602), si la señal ultrasónica de validación medida coincide
con una señal de validación de referencia; y
40 emitir (716), mediante el analizador (602), una primera notificación que represente la validación de
la señal ultrasónica (410s) de inspección medida en las circunstancias en que la señal de validación
medida coincide con la señal de validación de referencia;
en donde la al menos una geometría (312) de validación de acoplamiento comprende la intersección
convexa desde la banda (106) de rodadura de la rueda (102) hasta el disco (104) de rueda de la
45 rueda (102).
- 50 11. El método de la reivindicación 10, que comprende, además, mediante el analizador (602), determinar que la
señal ultrasónica de validación medida no coincide con la señal de validación de referencia; y
emitir una segunda notificación que represente la invalidación de la señal ultrasónica de inspección
55 medida en las circunstancias en que la señal de validación medida no coincide con la señal de
validación de referencia.
- 60 12. El método de la reivindicación 10, en donde cada una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases
está configurada para barrer el haz ultrasónico de validación emitido a través de un arco de direcciones
predeterminadas y medir una pluralidad de señales ultrasónicas de validación después de la reflexión desde
una pluralidad de geometrías de validación de acoplamiento respectivas.
- 65 13. El método de la reivindicación 10, en donde cada una de las sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases
que emiten la señal ultrasónica de inspección está configurada para barrer la señal ultrasónica de inspección
a través de un arco de direcciones predeterminadas y cada una de las sondas ultrasónicas de matriz de fases
que miden el haz ultrasónico de inspección reflejado está configurada para medir una pluralidad de señales
ultrasónicas de inspección después de la reflexión desde una pluralidad de defectos respectivos dentro del
área de inspección.
14. El método de la reivindicación 10, en donde la al menos una sonda ultrasónica de matriz de fases comprende
al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases, y en donde las al menos dos sondas ultrasónicas de

matriz de fases están colocadas una con respecto a la otra en una configuración que imita una curvatura de la banda de rodadura de la rueda (102).

- 5 15. El método de la reivindicación 14, en donde una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas (402) de matriz está configurada para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección, y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz de fases está configurada para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto dentro del área de inspección.
- 10 16. El método de la reivindicación 14, en donde una primera de las al menos dos sondas ultrasónicas de matriz y una segunda de las al menos dos sondas ultrasónicas están configuradas cada una para emitir la señal ultrasónica de inspección hacia el área de inspección y para medir la señal ultrasónica de inspección reflejada desde un defecto (404) dentro del área de inspección.
- 15 17. El método de la reivindicación 10, en donde la una o más sondas ultrasónicas (402) de matriz de fases se colocan con respecto a la rueda (102) mientras la rueda se eleva por encima de una superficie subyacente.
- 20 18. El método de la reivindicación 17, que comprende además rotar la rueda (102) mientras está elevada y después de que cada sonda ultrasónica (402) de matriz de fases mida su señal ultrasónica de validación emitida y emita y/o mida su señal ultrasónica de inspección.
19. El método de la reivindicación 10, en donde la rueda (102) es una rueda de tren.

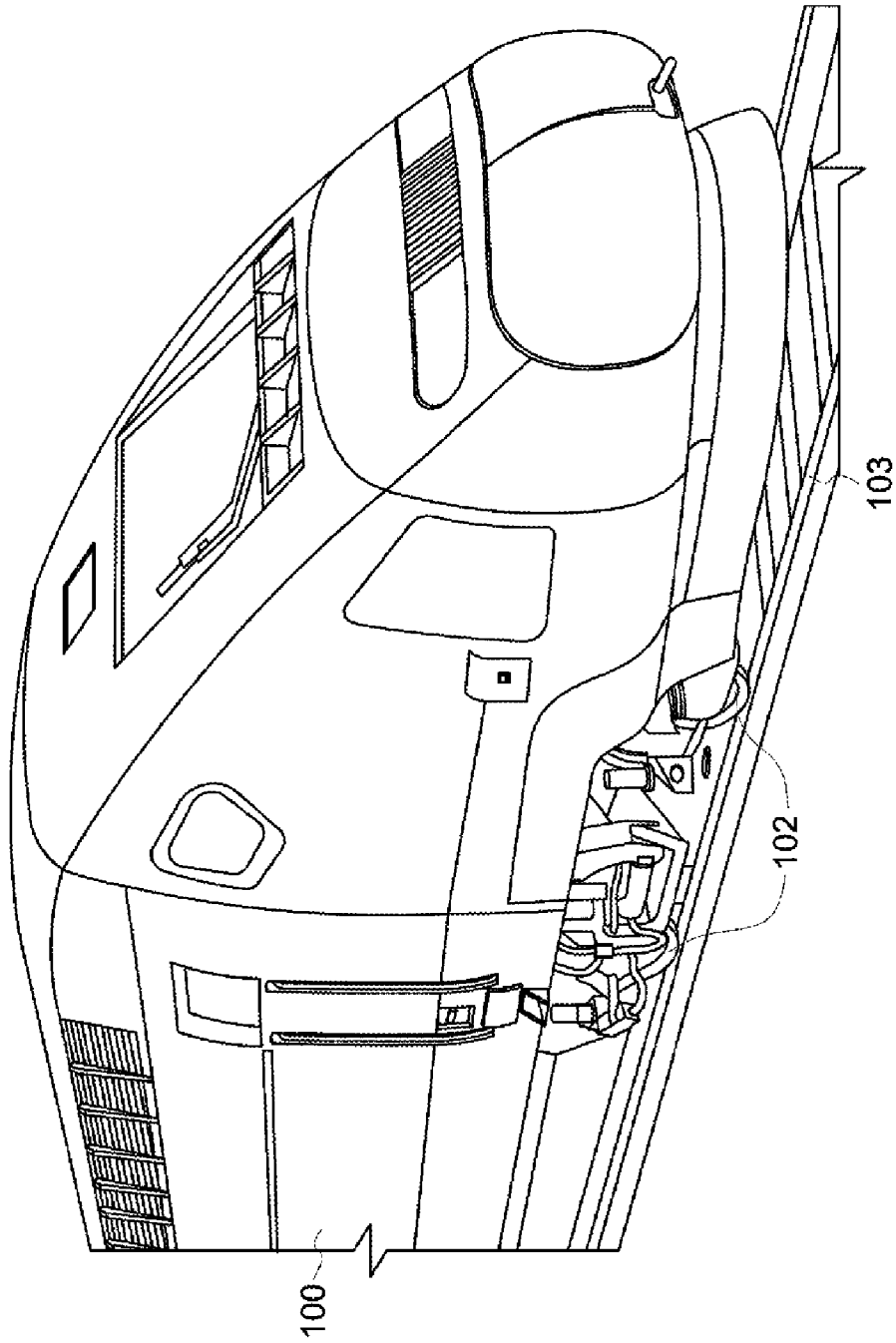


Figura 1

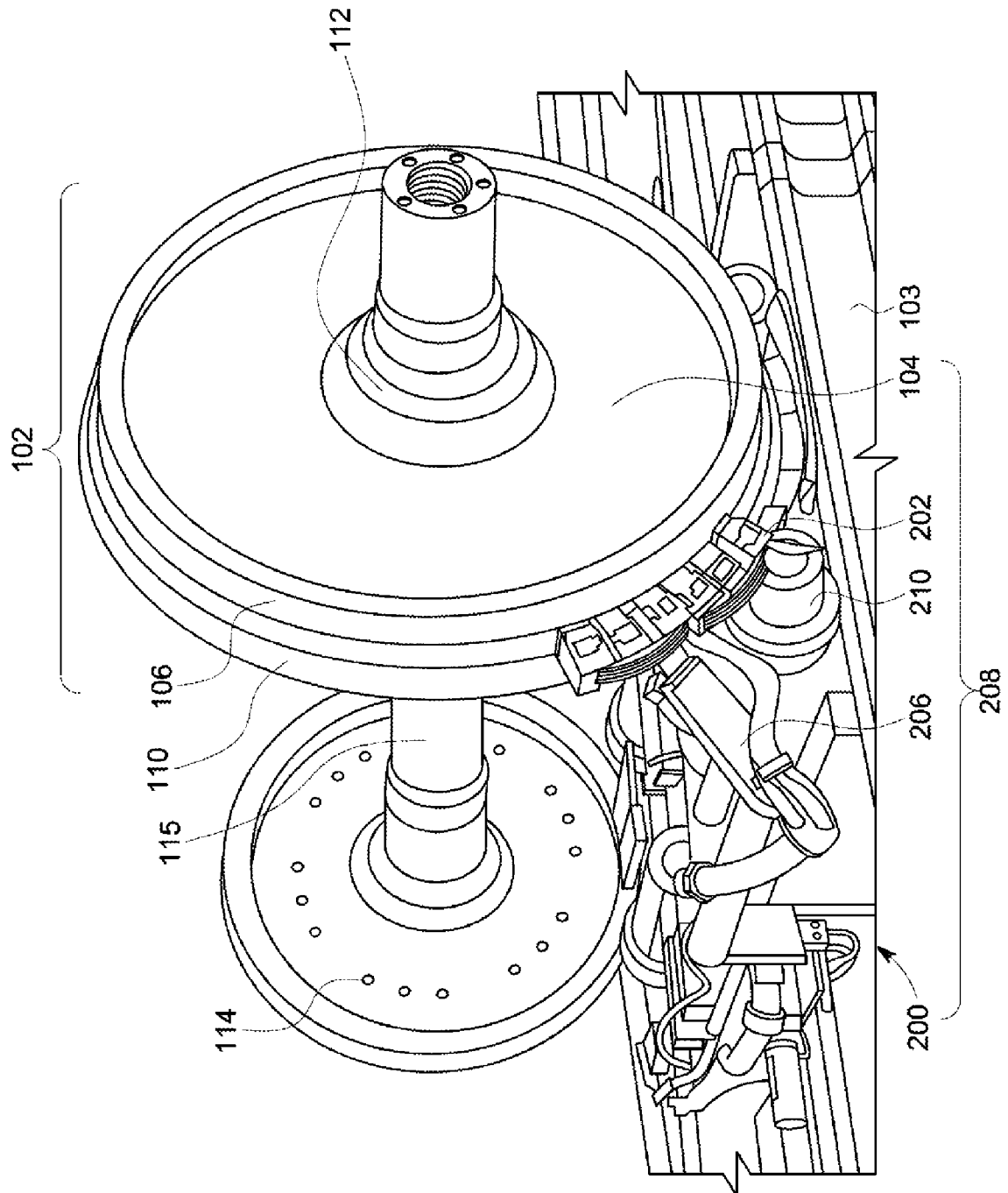


Figure 2A

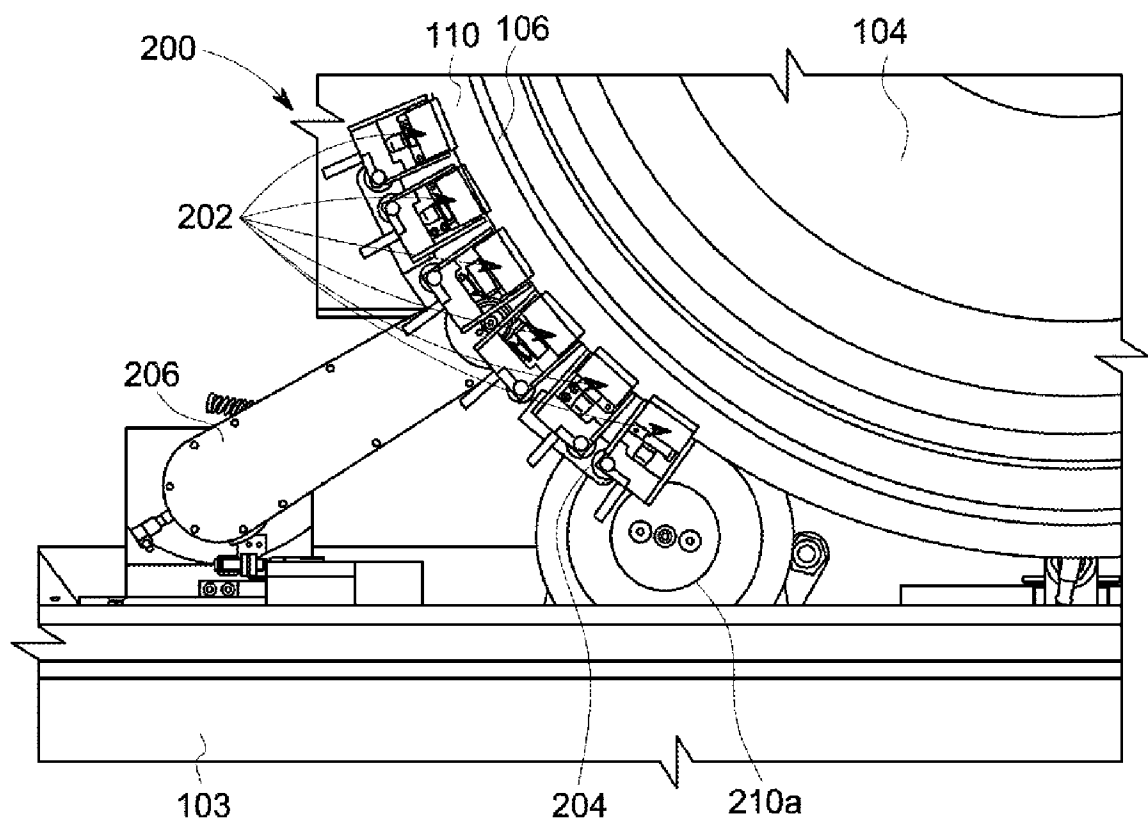


Figura 2B

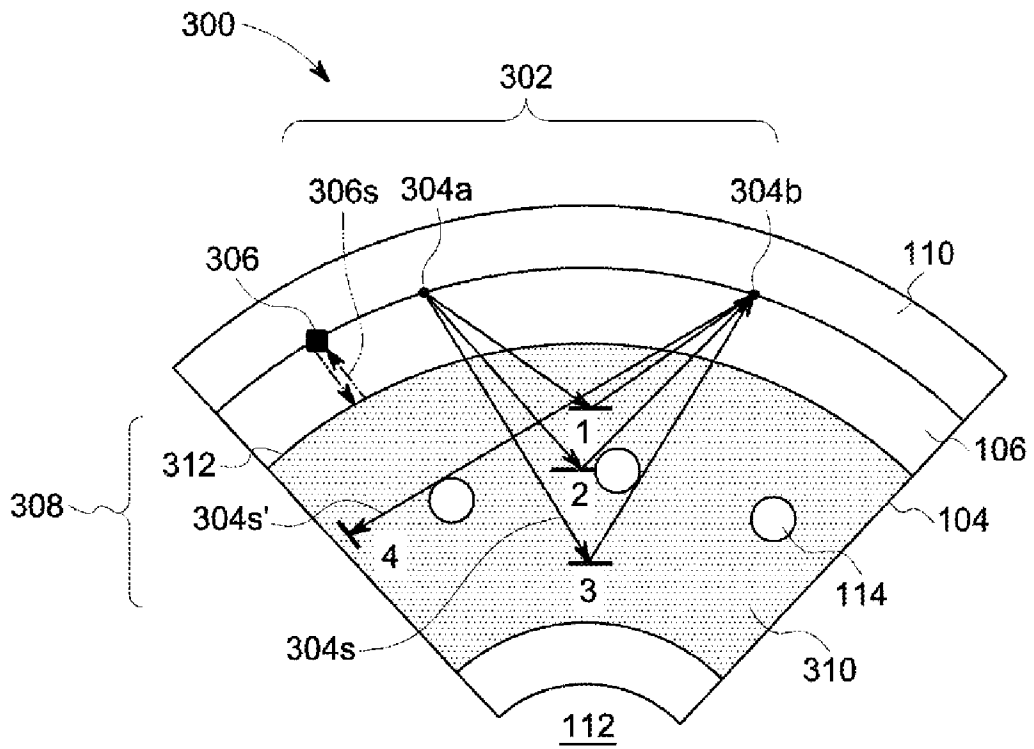


Figura 3A

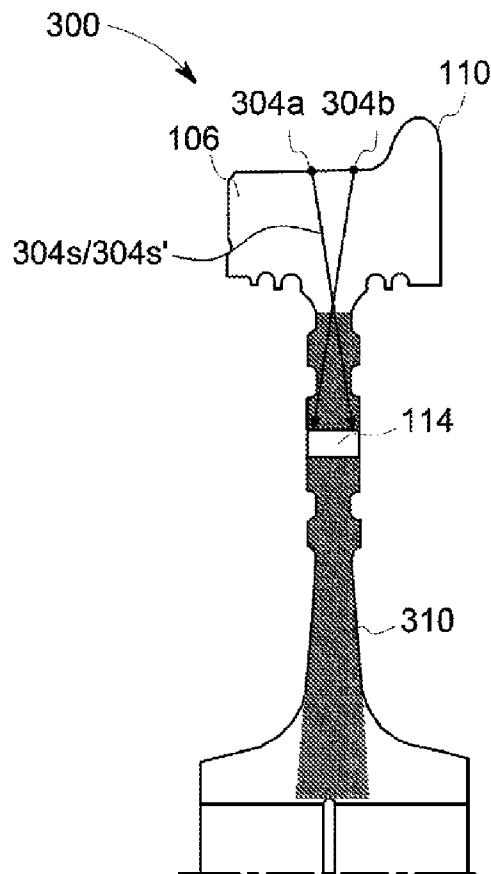


Figura 3B

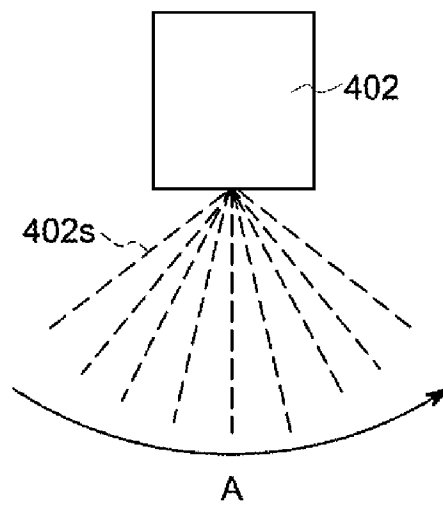


Figura 4A

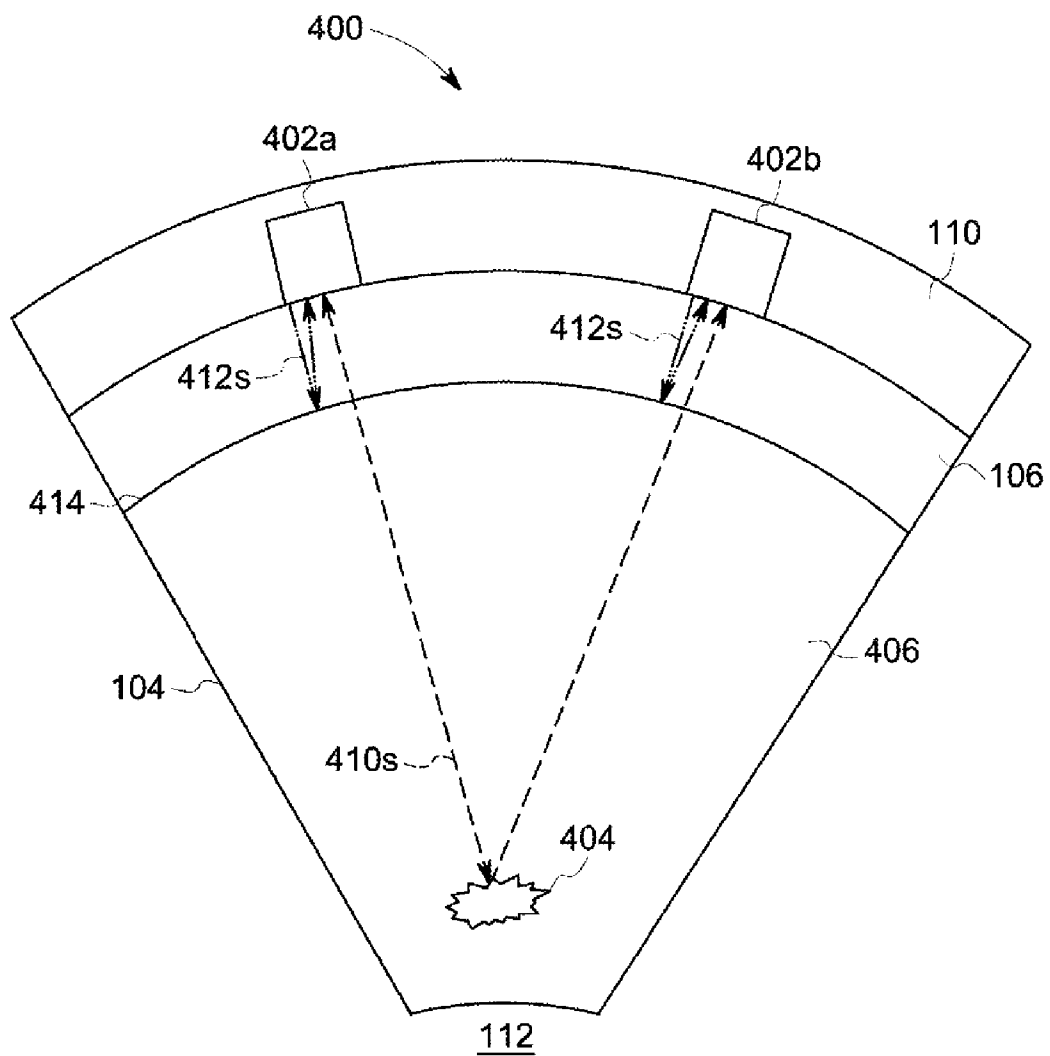


Figura 4B

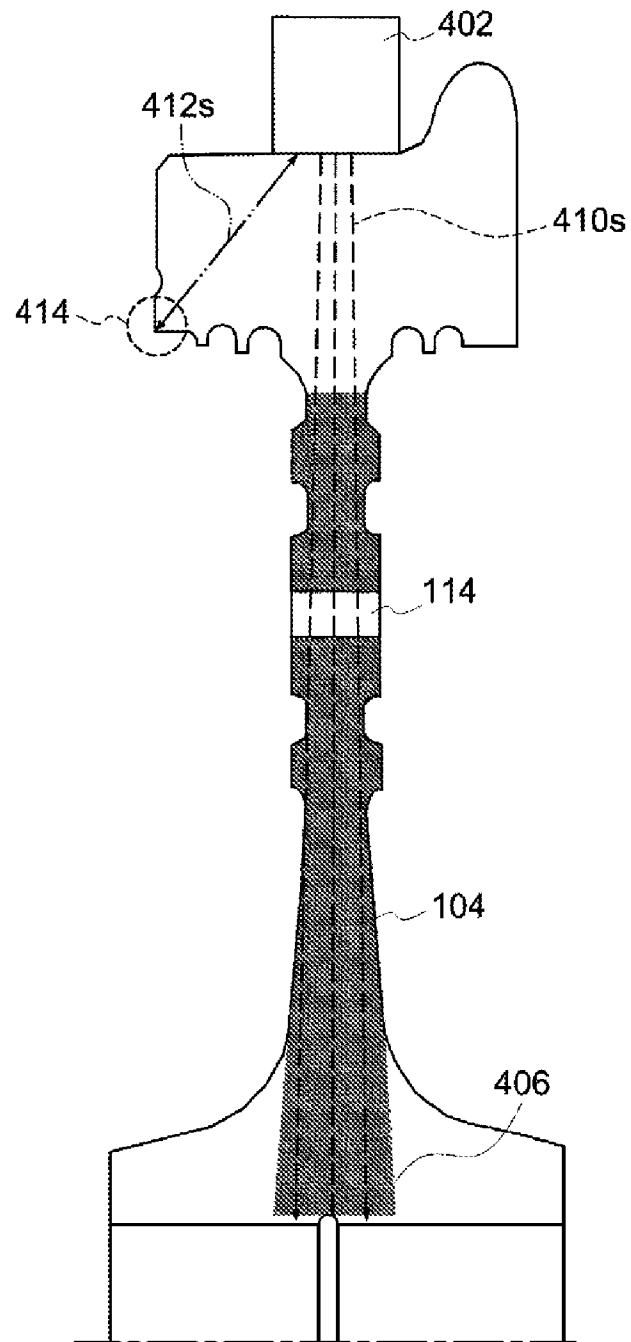


Figura 4C

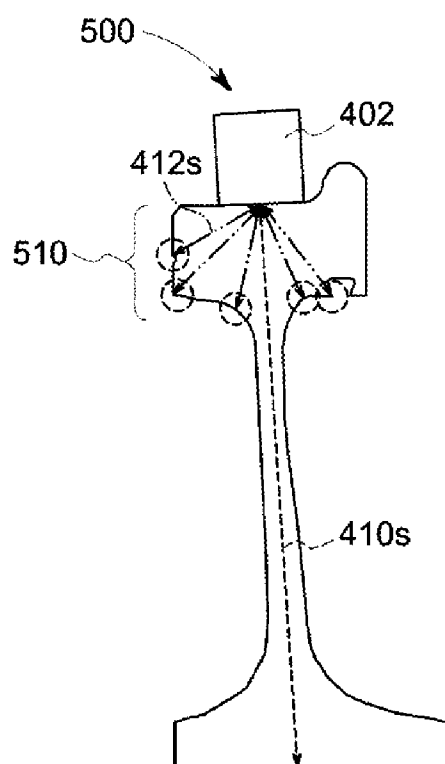


Figura 5A

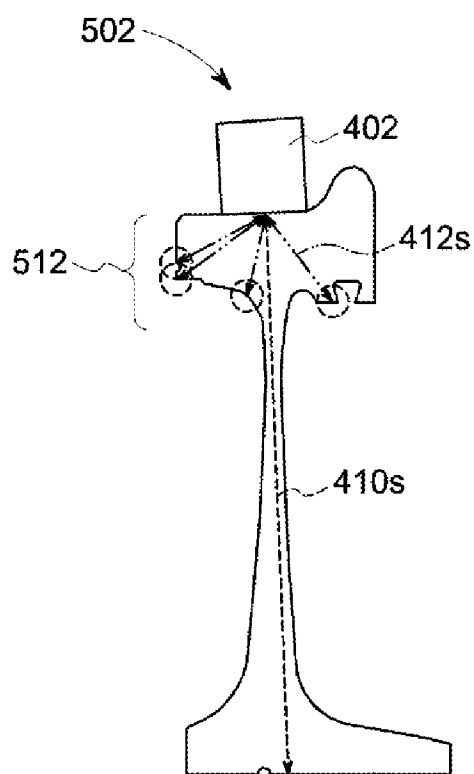


Figura 5B

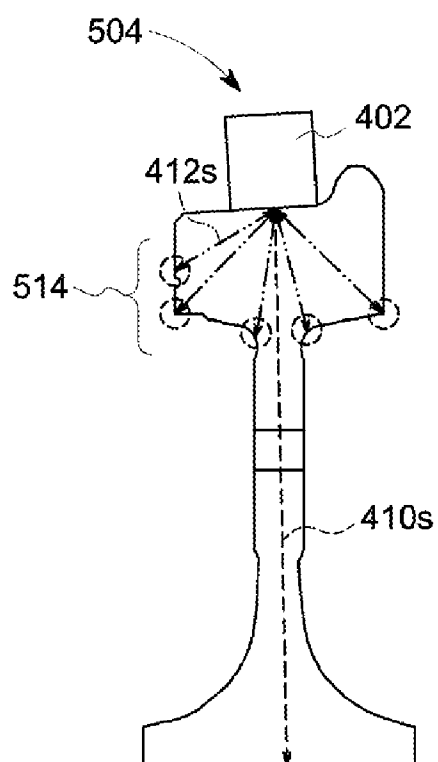


Figura 5C

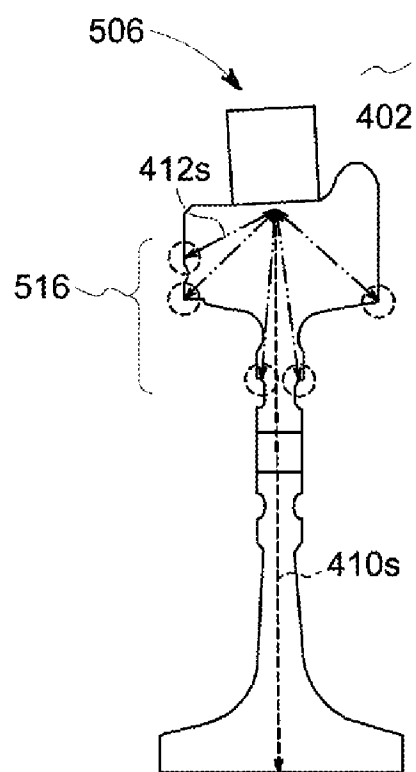


Figura 5D

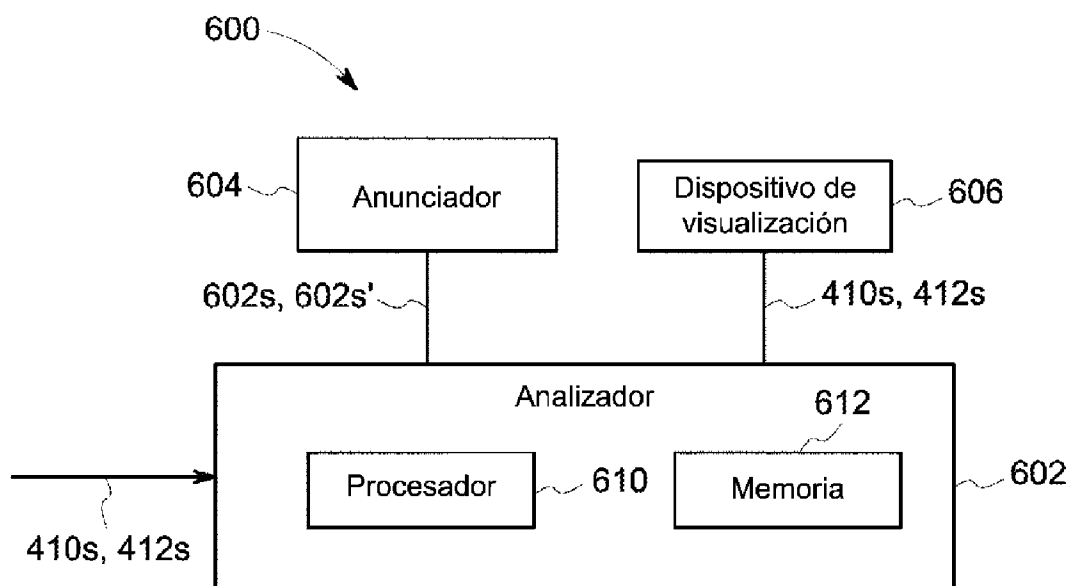


Figura 6

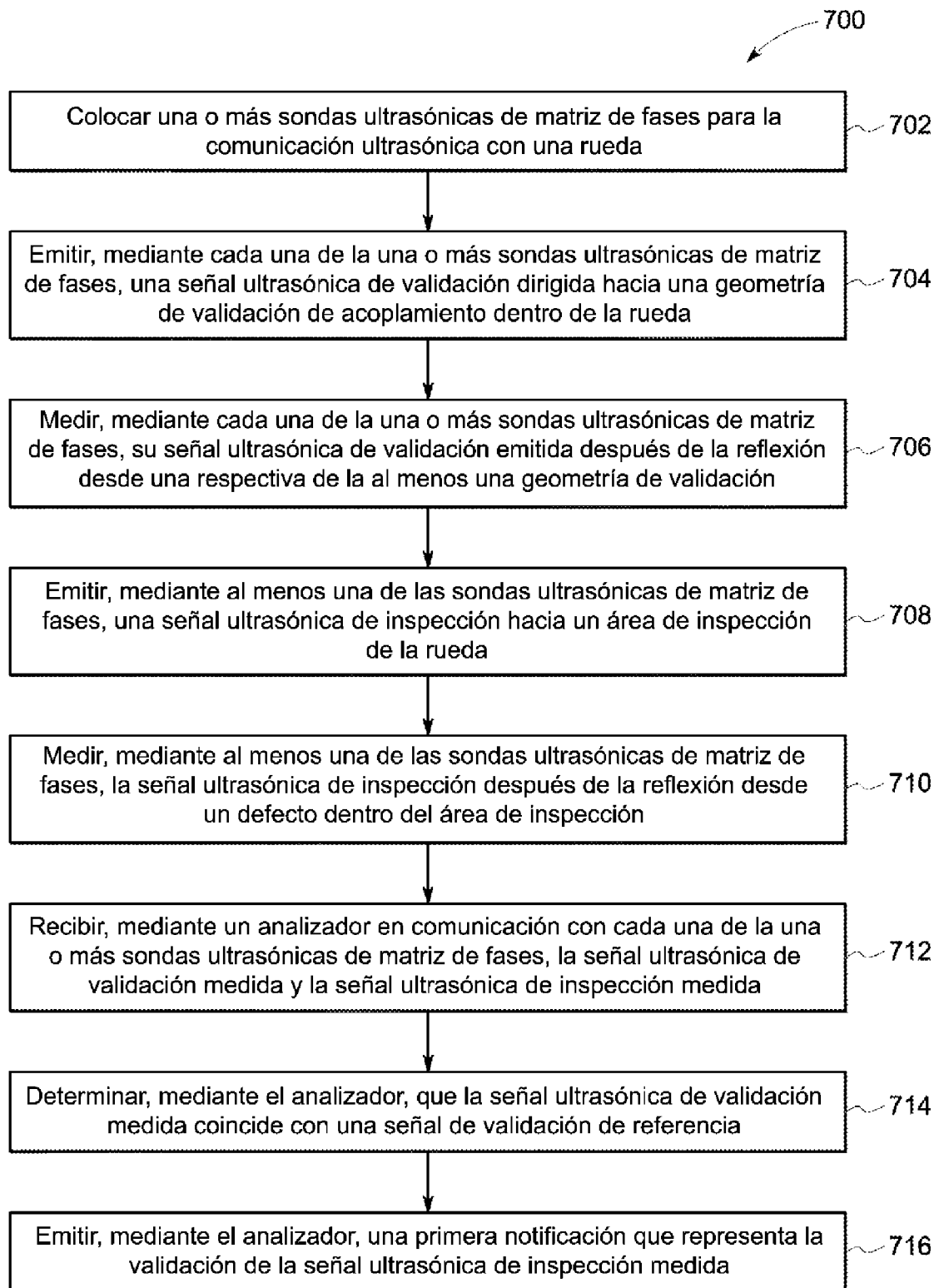


Figura 7