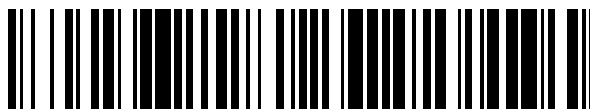


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 305**

51 Int. Cl.:

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/11 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G01S 7/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.01.2014 PCT/US2014/011589**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.07.2014 WO14116473**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2014 E 14704204 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 2948766**

54 Título: **Transformar muestras de datos de un A-SCAN en un espacio tridimensional para facilitar la visualización de fallas**

30 Prioridad:

24.01.2013 US 201313749023

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.07.2020

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

RATERING, RALF

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 774 305 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

Transformar muestras de datos de un A-scan en un espacio tridimensional para facilitar la visualización de fallas

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere, generalmente, a pruebas no destructivas y, más particularmente, a la transformación de muestras de datos de un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional, para facilitar la visualización tridimensional de cualquier falla presente en un material de prueba que se somete a pruebas no destructivas.

Las pruebas no destructivas pueden conllevar múltiples técnicas de análisis que se utilizan para evaluar las propiedades de un material, componente o sistema ("material de prueba"), sin causar daño al mismo. Las pruebas ultrasónicas son un tipo de modalidad de pruebas no destructivas que utiliza energía sonora de alta frecuencia para realizar exámenes de un material de prueba. Un sistema típico de inspección de pruebas ultrasónicas que se utiliza para localizar fallas en un material de prueba, tal como una soldadura en tuberías y tubos, puede incluir una sonda ultrasónica manual que contiene un pulsador/receptor y un transductor. El pulsador/receptor produce pulsos eléctricos que impulsan el transductor a generar energía ultrasónica. La energía ultrasónica se introduce en el material de prueba y se propaga a través del mismo en forma de ondas o haces. Cuando hay una discontinuidad, tal como una falla (p. ej., una fisura) en la trayectoria del haz, parte de la energía se reflejará desde la falla a la superficie del material de prueba. Las ondas reflejadas de energía ultrasónica se convierten en señales eléctricas ("señales ultrasónicas") y se pueden mostrar en una pantalla de un dispositivo de visualización que se asocie con el sistema de inspección de pruebas ultrasónicas.

Un A-scan es un tipo de formato de visualización que puede utilizarse para presentar las señales ultrasónicas reflejadas desde el material de prueba. Por lo general, los A-scans son unidimensionales, ya que cada escaneo traza la potencia reflejada de la señal representativa de la cantidad de energía ultrasónica recibida en relación a la cantidad de tiempo desde que se genera la señal hasta que se recibe un eco por parte del transductor. Un especialista en inspección ultrasónica puede examinar los A-scans para detectar la existencia de cualquier falla en el material de prueba en base a la ubicación, tamaño y orientación de cualquier reflexión que aparezca en los escaneos.

Para un especialista en inspección ultrasónica, puede ser una tarea difícil interpretar los A-scans, y determinar con exactitud si existe una falla en el material de prueba. Ubicar fallas en un A-scan es una tarea difícil, ya que las señales de ruido y los ecos geométricos pueden ofuscar las señales ultrasónicas que causan las fallas reales. Esta problemática se agrava en los sistemas de inspección de pruebas ultrasónicas que usan arreglos de sondas bidimensionales para escanear el material de prueba. En particular, los datos ultrasónicos que capta un arreglo de sondas bidimensionales son de naturaleza tridimensional, debido a que la orientación del haz de energía ultrasónica que se genera a partir de los mismos se define por dos ángulos dinámicos, en lugar de un ángulo dinámico, como ocurre con una sonda de arreglo en fase ("phased-array") estándar. Los típicos A-scans, generados a partir de sistemas de inspección de pruebas ultrasónicas actualmente disponibles no son capaces de mostrar la información tridimensional integrada en las señales ultrasónicas captadas por un arreglo de sondas bidimensionales.

Algunos A-scans que se generan a partir de sistemas de inspección de pruebas ultrasónicas pueden mostrar una vista superior, una vista lateral y una vista de extremo de las señales ultrasónicas. En este caso, la vista superior, la vista lateral y la vista de extremo se proyectan próximas entre sí sobre un plano de imagen bidimensional, de tal manera que las vistas son dispares y están separadas. Todas las vistas, superior, lateral y de extremo, contienen las proyecciones de intensidad máxima obtenidas de ángulos fijos para presentar los datos ultrasónicos adquiridos. No se proporciona información de profundidad con estas vistas. Esto hace casi imposible que el especialista en inspección ultrasónica ubique en una sola imagen la posición real de los datos en un espacio tridimensional. Para determinar la posición de una señal reflejada en el material de prueba, la información de múltiples imágenes (es decir, las vistas superior, lateral y de extremo) se ha de combinar en un modelo mental y establecerse en relación con la geometría de la prueba inspeccionada por el especialista en inspección ultrasónica. Esta es una tarea complicada que requiere de formación intensiva y años de experiencia y práctica. Como resultado, para el especialista en inspección ultrasónica es muy difícil determinar si existe, y dónde se encuentra, una falla en un cierto material de prueba, y qué apariencia tiene la falla. Por consiguiente, el especialista en inspección ultrasónica tendrá que utilizar un algoritmo de reconstrucción de volumen de cálculo intensivo que pueda reconstruir la geometría física del haz (es decir, la difusión de haz) en una visualización tridimensional.

La solicitud de patente de los Estados Unidos US-2010/307249 A1 describe pruebas no destructivas de productos de hierro y acero destinados a extraer información de un A-scan sobre posibles defectos en el producto a partir de señales de respuesta capturadas por sensores de ultrasonido y que visualizan un gráfico tridimensional.

Breve descripción de la invención

En un aspecto de la presente invención, se proporciona un método según la reivindicación 1.

En un segundo aspecto de la presente invención, se describe un sistema de inspección de pruebas ultrasónicas según la reivindicación 12.

En un tercer aspecto de la presente invención, se describe un medio legible por ordenador según la reivindicación 11.

Breve descripción de los dibujos

El archivo de patente o de solicitud contiene al menos un dibujo realizado en color. La oficina proporcionará copias de esta patente o publicación de solicitud de patente con dibujo(s) a color, bajo pedido y pago de la cuota requerida.

La Fig. 1 muestra un sistema de inspección de pruebas ultrasónicas, según una realización de la presente invención;

la Fig. 2 muestra un diagrama de flujo que describe un método que utiliza el sistema de inspección de pruebas ultrasónicas que se describe en la Fig. 1 para visualizar una pluralidad de muestras de datos de un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional, según una realización de la presente invención;

las Figs. 3A-3B ilustran la dirección de los haces de energía ultrasónica en un material de prueba con una arreglo bidimensional de sondas en uso con el sistema de inspección de pruebas ultrasónicas que se describe en la Fig. 1;

la Fig. 4 muestra un ejemplo de una visualización de un A-scan tridimensional que puede generarse según una realización de la presente invención;

la Fig. 5 muestra un ejemplo de una visualización de un A-scan unidimensional tradicional transformada en una visualización de un A-scan tridimensional, según una realización de la presente invención;

las Figs. 6A-6B muestran vistas más detalladas de formas geométricas que pueden utilizarse para representar un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional, según realizaciones de la presente invención;

las Figs. 7A-7D ilustran ejemplos de formas geométricas alternativas que pueden utilizarse para representar un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional, según las realizaciones de la presente invención;

la Fig. 8 muestra un ejemplo de una visualización de un A-scan tridimensional integrada en un modelo tridimensional de un material de prueba que se somete a pruebas no destructivas con una sonda ultrasónica, según una realización de la presente invención; y

la Fig. 9 muestra un diagrama de bloques esquemático que ilustra el sistema de inspección de pruebas ultrasónicas que se ilustra en la Fig. 1, que puede proporcionar visualización tridimensional de muestras de datos de un A-scan, según una realización de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Varias realizaciones de la presente invención se orientan a la visualización tridimensional de muestras de datos de un A-scan unidimensional (de aquí en adelante, "muestras de datos") que contienen señales ultrasónicas. En estas realizaciones de la presente invención, las muestras de datos se transforman en un espacio tridimensional y se representan en este como objetos geométricos. El tamaño y el color de los objetos geométricos pueden representar la amplitud de las señales ultrasónicas en las muestras de datos. Además, los objetos geométricos representativos de las señales ultrasónicas en las muestras de datos pueden aparecer en el espacio tridimensional en una ubicación representativa del lugar real dentro de un material que generaron, p. ej., la ubicación en la que ocurrió un reflejo. Las diversas realizaciones de la presente invención pueden proporcionar una visualización tridimensional de las muestras de datos sin tener que reconstruir datos de volumen, en función de la geometría física de los haces de energía ultrasónica que se utilizan para escanear un material de prueba. Es decir, las diversas realizaciones de la presente invención no representan la forma tridimensional real de los haces dentro del material a partir de las muestras de datos. En cambio, cada muestra se visualiza en su posición tridimensional como un objeto geométrico separado que representa amplitud.

Esto simplifica el proceso de localizar fallas en el material. Como resultado, las diversas realizaciones de la presente invención son adecuadas para utilizarse con arreglos de sondas bidimensionales que puedan generar datos tridimensionales, con la limitación de las técnicas de visualización actuales, que hacen difícil a los especialistas en inspección ultrasónica localizar la posición real de cualquiera de los datos en un espacio tridimensional. Además de los arreglos de sondas bidimensionales, las diversas realizaciones son adecuadas para utilizarse con otras sondas ultrasónicas, tales como, por ejemplo, sondas de arreglo en fase unidimensionales o sondas de transductor único.

Haciendo referencia ahora a las figuras, la Fig. 1 muestra un sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas, según una realización de la presente invención. El sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas incluye una sonda ultrasónica 105 y una unidad informática 110 con una unidad 115 de visualización que funcionan en conjunto con la sonda para realizar una operación de pruebas no destructivas en un material 120 de prueba. En una realización, el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas se puede utilizar para examinar material 120 de prueba para localizar fallas o defectos (p. ej., grietas) en el material.

Como se muestra en la Fig. 1, el material 120 de prueba puede ser una tubería o tubos (p. ej., tubería de acero) que se utilice para transportar cualquiera de una serie de artículos. En una realización, el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas se puede utilizar para inspeccionar una soldadura 125 en las tuberías, para localizar fallas. Las realizaciones de la presente invención no se limitan a la inspección de soldaduras en tuberías. En cambio, las diversas realizaciones de la presente invención son adecuadas para utilizarse con cualquier material, componente o sistema (“material de prueba”) donde se desee emplear técnicas de inspección de pruebas ultrasónicas para inspeccionar, examinar o evaluar las propiedades del material.

En una realización, el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas puede ser un dispositivo portátil que se utilice in situ para inspeccionar el material de prueba. Las realizaciones de la presente invención no se limitan a sistemas portátiles de inspección de pruebas ultrasónicas. En cambio, las diversas realizaciones de la presente invención son adecuadas para utilizarse con cualquier sistema de inspección de pruebas ultrasónicas que utilice una unidad de visualización para ver señales ultrasónicas generadas a partir de una sonda ultrasónica para determinar la presencia de fallas en el material que se someta a pruebas ultrasónicas.

En general, un especialista en inspección ultrasónica puede utilizar una unidad informática 110 de un sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas para desarrollar y desplegar un proceso de trabajo de inspección ultrasónica de material 120 de prueba con sonda ultrasónica 105. Durante una inspección ultrasónica, la unidad informática 110 puede instruir al pulsador/receptor de una sonda ultrasónica 105 para producir pulsos eléctricos que impulsen el transductor de sondas para generar energía ultrasónica que se dirija al material 120 de prueba. La energía ultrasónica se propaga a través del material 120 de prueba en forma de ondas o haces. Si hay alguna falla o defecto en la trayectoria del haz, parte de la energía será reflejada desde la falla o defecto a la superficie del material 120 de prueba. La onda reflejada de energía ultrasónica se convierte en señales eléctricas mediante el transductor de la sonda ultrasónica 105. La sonda ultrasónica 105 puede tener un digitalizador, p. ej., analog to digital converter(s) (convertidor(es) analógico-digital - ADC), que digitalice las señales ultrasónicas para transmitir las a la unidad informática 110, o la unidad informática 110 puede recibir señales analógicas desde la sonda ultrasónica 105, y la unidad informática 110 puede tener un digitalizador.

La unidad informática 110 se configura para recibir señales eléctricas digitalizadas (o analógicas) desde la sonda ultrasónica 105, y realizar una multitud de operaciones de procesamiento para facilitar la inspección del material 120 de prueba para localizar fallas. En una realización, la unidad informática 110 puede recibir las señales ultrasónicas digitalizadas desde la sonda ultrasónica 105 en forma de muestras de datos de un A-scan unidimensional. Las muestras de datos pueden presentarse al especialista en inspección ultrasónica a través de una visualización generada a partir de la unidad 115 de visualización que indica una cantidad de energía ultrasónica recibida desde el material de prueba en el momento en que ocurra. Como se explica más adelante en más detalle, la unidad informática 110 se configura para transformar las muestras de datos en un espacio tridimensional, de manera que las muestras de datos se representen como formas geométricas en el espacio tridimensional. La visualización tridimensional de las muestras de datos que genera la unidad 115 de visualización permite al especialista en inspección ultrasónica evaluar rápidamente y de forma precisa, casi en tiempo real, durante la operación de pruebas no destructivas, si el material 120 de prueba, que incluye la soldadura 125, contiene cualquier falla.

Los expertos en la técnica apreciarán que el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas puede realizar otras funciones que faciliten las pruebas no destructivas del material 120 de prueba. Por ejemplo, el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas puede incluir capacidades tales como crear planes de inspección para inspeccionar el material 120 de prueba. Estos planes de inspección pueden depender del sitio del material de prueba, la geometría (p. ej., el diámetro, el grosor) del material, y la composición del material. Otras capacidades que el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas puede realizar incluyen la calibración de la sonda ultrasónica 105 y realizar análisis e informes tras captar las señales ultrasónicas desde la sonda. Más capacidades incluyen archivar las señales ultrasónicas, analizar e informar, y compartir estos elementos con otras estaciones de trabajo y ordenadores centrales conectados al sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas.

Con respecto al aspecto de proporcionar una visualización tridimensional de muestras de datos, las diversas realizaciones de la presente invención pueden tener una aplicación con sondas ultrasónicas que adoptan la forma de arreglos de sondas bidimensionales. Un arreglo de sondas bidimensionales típico dirigirá uno o más haces de energía ultrasónica, cada uno en una dirección arbitraria que se define por dos ángulos. En particular, un haz de energía ultrasónica se dirigirá según un primer ángulo de haz que se define entre la superficie que se escanea y la profundidad a la que el haz entra en el material de prueba desde la superficie (como se describe a continuación, al menos en relación a la Fig. 3A) y un segundo ángulo de haz que se define a lo largo de una línea de orientación de la sonda con la propagación del haz dentro del material, según se ve desde una vista superior (como se ilustra en la Fig. 3B). Como resultado, las señales ultrasónicas que capta el arreglo de sondas bidimensionales contendrán un volumen de datos representativos del material de prueba.

Los sistemas convencionales de inspección de pruebas ultrasónicas no son capaces actualmente de visualizar la información tridimensional integrada en las señales ultrasónicas captada por el arreglo de sondas ultrasónicas bidimensionales. Las visualizaciones de algunos sistemas de inspección de pruebas ultrasónicas pueden generar una vista superior, una vista lateral y una vista de extremo de las señales ultrasónicas, proyectándose cada vista sobre un plano de imagen bidimensional, de manera que las vistas son dispares y están separadas entre sí. De esta manera, la vista superior, la vista lateral y la vista de extremo todas contienen proyecciones de intensidad máxima que se obtienen

desde un ángulo fijo. No se proporciona información de profundidad con esta vista. Esto hace casi imposible que el especialista en inspección ultrasónica ubique en una sola imagen la posición de los datos ultrasónicos en un espacio tridimensional. Para determinar el origen de una señal reflejada en el material, la información de múltiples imágenes (es decir, las vistas superior, lateral y de extremo) se ha de combinar en un modelo mental y establecerse en relación con la geometría de la prueba inspeccionada por el especialista en inspección ultrasónica. Esta es una tarea complicada que requiere de formación intensiva y años de experiencia y práctica. Como resultado, es muy difícil determinar si existe y dónde se encuentra una falla en el material de prueba, y qué apariencia tiene la falla. En consecuencia, el especialista en inspección ultrasónica tendría que utilizar un algoritmo de reconstrucción de volumen de cálculo intensivo que puede reconstruir la geometría física del haz (es decir, la dispersión de haz) en una visualización tridimensional.

Las diversas realizaciones de la presente invención pueden proporcionar una visualización tridimensional de las señales ultrasónicas que se generan desde un arreglo de sondas ultrasónicas bidimensionales, sin tener que utilizar un algoritmo de reconstrucción de volumen de cálculo intensivo que reconstruya la geometría física del haz. Aunque la presente invención tiene particular utilidad con arreglos de sondas ultrasónicas bidimensionales, las realizaciones que se describen en la presente memoria son adecuadas para utilizar con arreglos que sean unidimensionales y cualesquiera otras sondas ultrasónicas que sean capaces de captar señales ultrasónicas que capturen un volumen de datos representativo del material de prueba desde una perspectiva tridimensional.

La Fig. 2 muestra un diagrama 200 de flujo que describe un método que puede utilizar un sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas para visualizar muestras de datos de un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional. El diagrama 200 de flujo comienza obteniendo muestras de datos de un A-scan unidimensional desde una sonda ultrasónica que escanea un material de prueba en 205. En una realización, las muestras de datos pueden incluir señales ultrasónicas que se obtienen desde la sonda ultrasónica durante una operación de pruebas no destructivas del material de prueba. Cada muestra de datos puede indicar una cantidad de energía ultrasónica que se recibe desde el material de prueba en el momento que ocurre.

En el diagrama 200 de flujo, las muestras de datos se pueden transformar en una visualización tridimensional en 210 al determinar primero la posición que cada muestra tendrá en un espacio tridimensional. La posición de cada muestra puede ser representativa de una ubicación de un punto de reflexión dentro del material de prueba. En una realización, la posición que tendrá cada muestra en un espacio tridimensional se calcula en función de: (i) un punto de entrada del haz, donde el haz de energía ultrasónica (generado desde la sonda ultrasónica) entra al material de prueba, (ii) los ángulos de haz que indican la dirección de desplazamiento del haz de energía ultrasónica en el material de prueba (tras la transmisión a través de una superficie del material de prueba), y (iii) la velocidad de sonido del haz de energía ultrasónica en el material de prueba. Más específicamente, una o una combinación de sonda ultrasónica 105 o unidad informática 110 medirán la duración entre el envío y recepción de la señal (tiempo de vuelo) y la intensidad de la reflexión. La dirección del trayecto de sonido en el material de prueba depende de la forma de la cuña que se utilice para enviar las señales al material, y se especifica mediante dos ángulos; A y B. Las Figs. 3A-3B ilustran la dirección del trayecto de sonido para los ángulos A y B para un arreglo de sondas bidimensionales que se pueda utilizar para escanear el material de prueba. Como se muestra en la Fig. 3A, el ángulo A del haz se define entre la superficie que se escanee y la profundidad a la que el haz entra en el material de prueba desde la superficie. En la Fig. 3B, el ángulo B del haz se define a lo largo de una línea de orientación de la sonda con la propagación del haz dentro del material, según se ve desde una vista superior mirando hacia abajo a la superficie escaneada. Haciendo referencia de nuevo al bloque 210 de la Fig. 2, la posición de las muestras de datos a lo largo de la trayectoria del haz en el material, se calcula mediante la formulación de una ecuación geométrica simple que tome en cuenta el punto de entrada, el tiempo de vuelo y los ángulos A y B.

Para cada posición determinada, se genera una forma geométrica en 215. Se puede lograr, de esta manera, la generación de formas geométricas mediante el uso de paquetes gráficos disponibles comercialmente. Las realizaciones de la presente invención no se limitan a ningún tipo particular de forma geométrica. Los expertos en la técnica apreciarán que la forma geométrica que se selecciona para representar una posición en el espacio tridimensional, puede ser cualquier forma que se caracterice por líneas rectas o curvilíneas, o figuras que se utilicen en geometría (p. ej., un polígono). La forma geométrica correspondiente a cada posición determinada puede caracterizarse por un cierto tamaño y color, que corresponden a un valor de amplitud indicativo de la cantidad relativa de energía ultrasónica recibida, p. ej., la intensidad de la reflexión asociada a esa posición determinada. En una realización, las formas geométricas de mayor tamaño son indicativas de mayores valores de amplitud, en comparación con las formas geométricas de menor tamaño, que son indicativas de menores valores de amplitud. Los expertos en la técnica apreciarán que esto es solo un ejemplo de cómo se puede utilizar el tamaño y el color de las formas geométricas para representar los valores de amplitud de las señales ultrasónicas que incorporan las muestras de datos de un A-scan unidimensional. Otras posibles designaciones de tamaños y colores de las formas geométricas están dentro del alcance de la presente invención.

Independientemente de que designación se utilice, puede usarse un mapa de color en una realización para correlacionar una amplitud de una forma geométrica de tamaño específico, con un color. El tamaño y color de la forma geométrica puede corresponder a la cantidad de energía ultrasónica que se refleja en el valor de amplitud. En esta realización, el mapa de color podría contener una pluralidad de colores, correspondiendo cada uno a valores de amplitud o intervalos de valores indicativos de una cantidad relativa de energía ultrasónica, como una posible representación de cualquiera de las muestras de datos de un A-scan unidimensional.

Cada forma geométrica luego se puede representar en el espacio tridimensional con su tamaño y color correspondientes en 220. Con el fin de excluir ciertos valores de amplitud, improbables de ser indicativos de una falla en el material de prueba, se puede aplicar un valor de umbral predeterminado en 225. Establecer de esta manera un valor de umbral predeterminado excluirá representar formas geométricas donde la energía reflejada sea improbable que sea indicativa de una falla. La selección del valor de umbral predeterminado variará dependiendo de varios factores, tales como el tipo de material de prueba que se esté examinando, el tipo de fallas que se busque, y la experiencia del especialista en inspección ultrasónica al utilizar el sistema 100 de inspección de pruebas ultrasónicas. Por ejemplo, se puede seleccionar un valor de umbral a un valor que se conozca por ser un umbral (p. ej., 80 %) en el que puedan surgir ecos geométricos (es decir, ecos que ocurren por la geometría del material que se somete a pruebas; reflexiones de los bordes del material, que no las causan fallas o defectos) mientras se realiza una operación de pruebas no destructivas del material de prueba. En una realización, solo se visualizarán formas geométricas que correspondan a valores de amplitud por encima de este umbral, a la vez que las formas geométricas que correspondan a valores por debajo del umbral se excluirán de la visualización. Esto permitirá al especialista en inspección ultrasónica claramente identificar en tiempo real las fallas partiendo de los ecos geométricos durante el escaneo del material de prueba.

A continuación, puede generarse en 230 una visualización tridimensional de las muestras de datos después de aplicar el valor de umbral predeterminado. Los expertos en la técnica apreciarán que el especialista en inspección ultrasónica pueda aumentar o disminuir el valor predeterminado de umbral en función de las circunstancias, con el fin de obtener una perspectiva diferente, a la vez que se analiza la visualización para evaluar la presencia de fallas en el material de prueba.

Con el fin de ayudar adicionalmente al especialista en inspección ultrasónica a distinguir claramente las fallas y defectos, partiendo de los ecos geométricos en tiempo real durante el escaneo del material de prueba, se puede integrar un modelo tridimensional del material de prueba (un modelo de diseño asistido por ordenador) al visualizador tridimensional de las muestras de datos en 235. Esto ofrece una oportunidad para que el especialista en inspección ultrasónica valide si cualesquiera fallas que parezcan existir en la visualización tridimensional, son realmente fallas. Por ejemplo, si el modelo tridimensional del material de prueba muestra orificios perforados en el material en la ubicación exacta donde aparecen las fallas en la visualización tridimensional, entonces el especialista en inspección ultrasónica sabría que estos orificios perforados está previsto que estén en esta ubicación, y no son necesariamente indicativos de fallas en el material.

El diagrama de flujo de la Fig. 2 muestra algunas de las funciones de procesamiento asociadas con la generación de una visualización tridimensional de muestras de datos de un A-scan unidimensional, generada a partir de una sonda ultrasónica, según una realización de la presente invención. A este respecto, cada bloque representa un acto de proceso asociado a la realización de estas funciones. También debe observarse que en algunas implementaciones alternativas, los actos anotados en los bloques pueden ocurrir en un orden distinto al anotado en la figura o, por ejemplo, pueden, de hecho, llevarse a cabo prácticamente al mismo tiempo o en el orden inverso, dependiendo del acto en cuestión. Además, un experto en la técnica reconocerá que se pueden añadir bloques adicionales que describan las funciones de procesamiento.

La Fig. 4 muestra un ejemplo de una visualización 400 de un A-scan tridimensional que puede generarse según una realización de la presente invención. En este ejemplo, se visualizan los valores de datos de un A-scan en sus ubicaciones reales en un espacio tridimensional definido por los vértices X, Y, y Z. Las líneas 405 representan la dirección del haz desde la sonda ultrasónica a medida que se propaga a través del material de prueba. En este ejemplo, el visualizador 400 visualiza dos orificios 410 presentes en el material de prueba. En una realización, cada una de las señales que se reflejan desde los orificios 410 se visualiza en este ejemplo con formas esféricas que se colorean por un mapa de color que varía de azul a amarillo a rojo. Este color es indicativo de la cantidad de energía que se refleja desde los orificios 410.

La Fig. 5 ilustra una relación entre una señal de un A-scan unidimensional original y la visualización tridimensional que podría generarse según una realización de la presente invención. En este ejemplo, la visualización 500 contiene una visualización 505 de un A-scan unidimensional al lado de una visualización 510 de un A-scan tridimensional que se ha transformado a partir del A-scan unidimensional. Como se muestra en la Fig. 5, una visualización 505 de un A-scan unidimensional traza la cantidad de energía ultrasónica que se recibe desde el material de prueba frente a un tiempo de ocurrencia de que la cantidad de energía ultrasónica se reciba desde el material de prueba en la sonda ultrasónica. Todos los valores de amplitud que se muestran en una visualización 505 de un A-scan unidimensional se transforman en una visualización 510 de un A-scan tridimensional en forma de objetos geométricos, cada uno con un color específico que corresponde a los valores de amplitud que se visualizan 505. En este ejemplo, los objetos geométricos se representan en una visualización 510 de un A-scan tridimensional en forma de esferas. Los valores máximos de amplitud en una visualización 505 de un A-scan unidimensional se representan en una visualización 510 de un A-scan tridimensional en forma de esferas 515 y 520, que son más grandes en comparación con las otras esferas que corresponden a cantidades menores de energía reflejada. Nótese que la ubicación de cada una de las esferas en una visualización 510 de un A-scan tridimensional corresponde a la ubicación dentro del material de prueba en el que se reflejaron estos valores de amplitud. Asimismo, después de establecer el valor de umbral predeterminado, es bastante probable que la visualización solo vaya a mostrar algunas de las esferas más grandes, porque las esferas más pequeñas no van a tener una cantidad suficiente de energía para pasar el umbral y garantizar que la visualización es una posible falla.

Las Figs. 6A-6B muestran vistas más detalladas de formas geométricas que pueden utilizarse para representar un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional, según una realización de la presente invención. En particular, las Figs. 6A-6B muestran vistas más detalladas de algunas de las esferas más grandes que se utilizan en la Fig. 5 para representar valores de amplitud capturados en la muestra de datos de un A-scan unidimensional. Las Figs. 6A-6B también muestran las esferas reticuladas con diferentes patrones para representar sus diferentes colores que se traducen en un valor de amplitud correspondiente. Como se muestra en las Figs. 6A-6B, el tamaño de las esferas, según se define por el radio o el diámetro, se pueden visualizar para que tengan rellenos de color sólidos (Fig. 6A) o pueden construirse como esferas de modelo alámbrico (Fig. 6B) cada una de un color según corresponda a su valor de amplitud respectivo.

Las Figs. 7A-7D muestran ejemplos de formas geométricas alternativas que pueden utilizarse para representar un A-scan unidimensional en un espacio tridimensional. En la Fig. 7A, las formas geométricas que se representan en el espacio tridimensional adoptan la forma de cilindros de color que se orientan en la dirección del haz de energía ultrasónica, en donde cada uno de los diferentes cilindros de color corresponde a los valores de amplitud que se reflejan en la muestra de datos del A-scan. En la Fig. 7B, las formas geométricas en la visualización adoptan la forma de un tubo con un diámetro variable y se colorean con secciones diferentes para representar los valores de amplitud que se reflejan en la muestra de datos del A-scan. En la Fig. 7C, las formas geométricas que se representan en el espacio tridimensional adoptan la forma de cubos de color que se orientan en la dirección del haz de energía ultrasónica, en donde cada uno de los diferentes cubos de color corresponde a los valores de amplitud que se reflejan en la muestra de datos del A-scan. En la Fig. 7D, las formas geométricas en el visualizador adoptan la forma de una versión de tipo modelo alámbrico del tubo en la Fig. 7B. Estos ejemplos no pretenden ser limitativos, y los expertos en la técnica apreciarán que los valores de amplitud que se reflejan en las muestras de datos del A-scan unidimensional pueden representarse en un espacio tridimensional para tener cualquiera de una variedad de formas, tamaños y colores diferentes.

La Fig. 8 muestra un ejemplo de una visualización 800 de un A-scan tridimensional integrada en un modelo tridimensional 805 de un material de prueba que se somete a pruebas no destructivas con una sonda ultrasónica 810. En este ejemplo, se visualizan los valores de datos de un A-scan en sus ubicaciones reales en un espacio tridimensional definido por los vértices X, Y, y Z. Las líneas 815 representan la dirección del haz desde la sonda ultrasónica 810 a medida que se propaga a través del material de prueba. En este ejemplo, la visualización de un A-scan tridimensional visualiza tres orificios 820 presentes en el material de prueba. Dado que el modelo tridimensional 805 de un material de prueba no muestra la presencia de orificios, los orificios pueden ser indicativos de una falla en el material que se inspecciona. Obsérvese que en una visualización 800 de un A-scan tridimensional, el área 825 que está reticulada para representar una cierta cantidad de energía reflejada, no se esperaría que indicase una falla debido a su posición en relación con una superficie lateral del material de prueba. Puesto que el área 825 colinda con esta superficie lateral del material de prueba, probablemente sería indicativo de ecos desde la pared posterior del material, y no una falla en el material.

La Fig. 9 muestra un diagrama 900 de bloques esquemático que ilustra el sistema de inspección de pruebas ultrasónicas que se representa en la Fig. 1, que puede proporcionar una visualización tridimensional de muestras de datos de un A-scan, según las diversas realizaciones de la presente invención. En este diagrama de bloques de alto nivel, la sonda ultrasónica 105 se comunica con la unidad informática 110 mediante un componente 905 de entrada/salida. La unidad informática 110 contiene un procesador 910 que controla el funcionamiento general de la unidad informática al ejecutar las instrucciones del programa informático que definen estas operaciones. Las instrucciones del programa informático pueden almacenarse en un dispositivo 915 de almacenamiento o en otro medio legible por ordenador (p. ej., disco magnético), y cargarse en la memoria 920 cuando se deseen ejecutar las instrucciones del programa informático. Así pues, las etapas del método descritas anteriormente, que incluyen una o más de las etapas del método que se ilustra en la Fig. 2, pueden definirse mediante las instrucciones del programa informático almacenadas en la memoria 920 y/o en el dispositivo 915 de almacenamiento, y controlarse mediante el procesador 910 que ejecuta las instrucciones del programa informático. Las instrucciones del programa informático pueden implementarse en software, que incluye, aunque no de forma limitativa, firmware, software residente, microcódigo, etc. Además, las instrucciones del programa informático pueden adaptar la forma de un producto de programa informático utilizable o legible por un medio informático que proporcione código de programa para que se utilice por, o en conexión con, un ordenador, o cualquier sistema de ejecución de instrucciones (p. ej., unidades de procesamiento).

La unidad informática 110 puede incluir, además, una o más interfaces 925 de red para comunicarse con otros dispositivos a través de una red. Los dispositivos 905 de entrada/salida también pueden utilizarse para permitir la interacción del usuario con la unidad informática 110 (p. ej., pantalla, teclado, ratón, altavoces, botones, etc.). Por ejemplo, podrían utilizarse dispositivos 905 de entrada/salida para proporcionar una visualización tridimensional de la muestra de datos de un A-scan adquirida mediante sonda ultrasónica 105. Un experto en la técnica reconocerá que una implementación real de una unidad informática 110 podría contener también otros componentes, y que la Fig. 9 es una representación de alto nivel de solamente algunos de los componentes de dicha unidad informática, para fines ilustrativos.

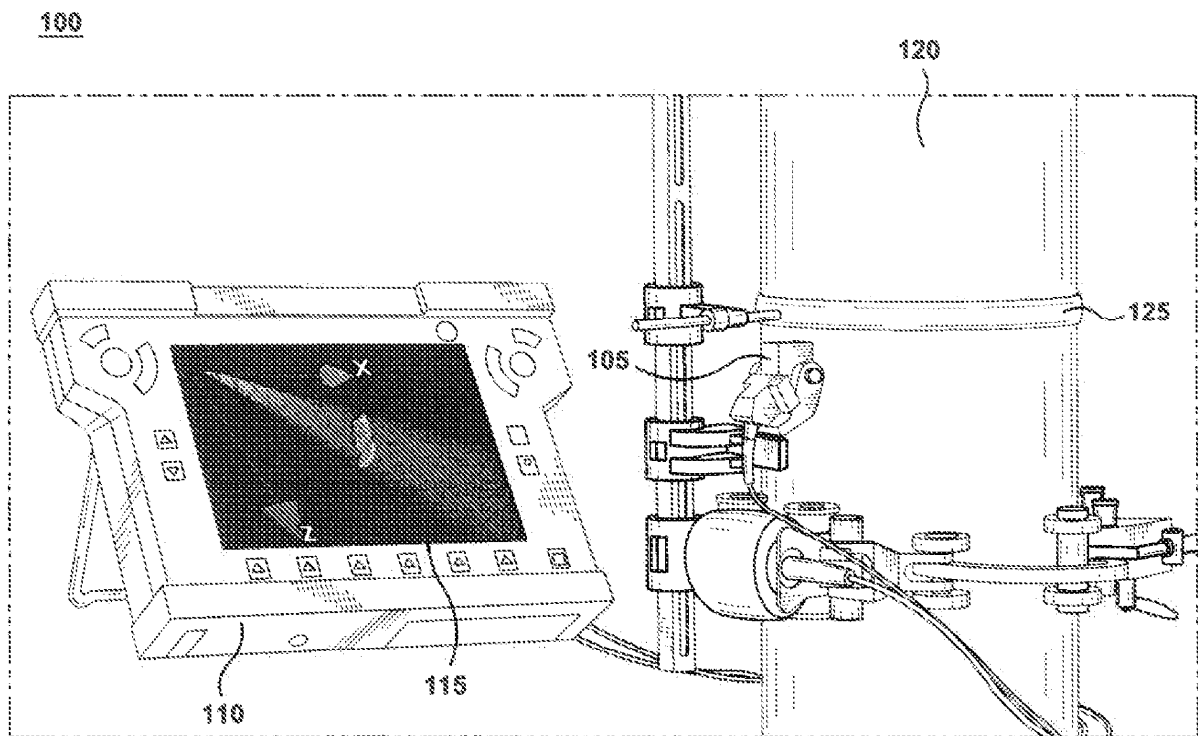
Como se describe en la presente memoria, los efectos técnicos de las diversas realizaciones de la presente invención incluyen, aunque no se limitan a, proporcionar una técnica para la visualización tridimensional en tiempo real de muestras de datos de un A-scan unidimensional generada a partir de múltiples sondas ultrasónicas, que pueden incluir arreglos de sondas bidimensionales, sondas de arreglo en fase unidimensionales y sondas de elemento único. La visualización tridimensional en tiempo real de muestras de datos de un A-scan unidimensional es

- 5 muy adecuada para utilizarse con sistemas portátiles de inspección de pruebas ultrasónicas que tengan el hardware que sea suficiente para realizar las técnicas de visualización que se describen en la presente memoria, que incluyen procesadores gráficos para visualizar las muestras de datos de un A-scan unidireccional en un espacio tridimensional. Además, las técnicas de visualización tridimensional que se describen en la presente memoria son muy adecuadas para las pruebas no destructivas de diversos materiales (p. ej., ubicación de fallas), ya que las visualizaciones pueden mostrar la posición real de las fallas en los materiales, incluyendo las amplitudes máximas de energía ultrasónica que se asocia con estas fallas, sin perder la información de profundidad.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador, que comprende:
utilizar una unidad informática (110) para realizar acciones que comprenden:
5 obtener (205) una pluralidad de muestras de datos de un A-scan unidimensional desde una sonda ultrasónica (105), representando cada muestra de datos señales ultrasónicas recibidas desde un material de prueba que se somete a pruebas no destructivas, en donde cada muestra de datos indica una cantidad de energía ultrasónica recibida desde el material (120) de prueba en el momento en que ocurra;
10 transformar (210) la pluralidad de muestras de datos en un espacio tridimensional para proporcionar una visualización tridimensional de las señales ultrasónicas sin realizar una reconstrucción de volumen, en donde cada una de la pluralidad de muestras de datos se reproduce como una forma geométrica que representa una amplitud de la señal ultrasónica en el espacio tridimensional, y visualizando (215) la pluralidad de formas geométricas.
15
2. El método según la reivindicación 1, en donde la transformación comprende:
20 determinar una posición de cada muestra de datos en el espacio tridimensional, la posición de cada muestra de datos representativa de una ubicación de un punto de reflexión dentro del material (120) de prueba; y
 generar (215) una forma geométrica para cada posición determinada, caracterizada la forma geométrica por un cierto tamaño y color (220) que corresponden a un valor de amplitud indicativo de la cantidad de energía ultrasónica recibida como se representa en la muestra de datos para la posición determinada.
25
3. El método según la reivindicación 2, en donde la determinación de una posición de cada muestra de datos se calcula como una función de un punto de entrada del haz indicando una ubicación a la que los haces de energía ultrasónica entraron al material (120) de prueba, uno o más ángulos de haz que indican la dirección de desplazamiento de los haces de la energía ultrasónica en el material (120) de prueba, y una velocidad de sonido de los haces de la energía ultrasónica en el material (120) de prueba.
30
4. El método según la reivindicación 2 o 3, en donde las formas geométricas de mayor tamaño son indicativas de mayores valores de amplitud en comparación con las formas geométricas de menor tamaño que son indicativas de menores valores de amplitud.
35
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde la generación (215) de una forma geométrica comprende la aplicación de un mapa de color que contiene una pluralidad de colores cada uno correspondiente a un intervalo de valor de amplitud particular indicativo de una cantidad de energía ultrasónica.
40
6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, que comprende, además, establecer un valor de umbral predeterminado que excluya que se representen formas geométricas en el espacio tridimensional que correspondan a un valor de amplitud que se considera que no es indicativo de una falla en el material (120) de prueba.
45
7. El método según la reivindicación 6, en donde la visualización de la pluralidad de muestras de datos como se transforma en el espacio tridimensional con las formas geométricas que se representan en este comprende aplicar (225) el valor de umbral predeterminado para distinguir cualesquiera fallas presentes en el material (120) de prueba, a partir de ecos geométricos.
50
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la visualización de la pluralidad de muestras de datos como se transforma en el espacio tridimensional con las formas geométricas que se representan en este, comprende, además, integrar (235) un modelo tridimensional en el espacio tridimensional.
- 55 9. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la transformación de cada una de la pluralidad de muestras de datos en un espacio tridimensional ocurre sin reconstruir una geometría física del haz.
10. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, cuando un procesador informático lo ejecute.
60
11. Un medio legible por ordenador que comprende el programa informático de la reivindicación 10.
12. Un sistema de inspección de pruebas ultrasónicas, que comprende:
65 un arreglo (105) de sonda ultrasónica que se configura para escanear un material (120) de prueba con un haz de energía de ultrasonido que se propaga a través de este, y recibe señales

- 5 ultrasónicas reflejadas desde el material (120) de prueba, conteniendo las señales ultrasónicas un volumen de datos representativos del material (120) de prueba;
- 5 una unidad informática (110) que se configura para recibir las señales ultrasónicas desde la sonda ultrasónica (105) en forma de una pluralidad de muestras de datos de un A-scan unidimensional, en donde cada muestra de datos indica una cantidad de energía ultrasónica que se recibe desde el material (120) de prueba en el momento en que ocurre, y la unidad informática se configura además para ejecutar el programa informático de la reivindicación 10, para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
- 10 y un visualizador que se configura para generar una visualización en tiempo real de la pluralidad de formas geométricas.



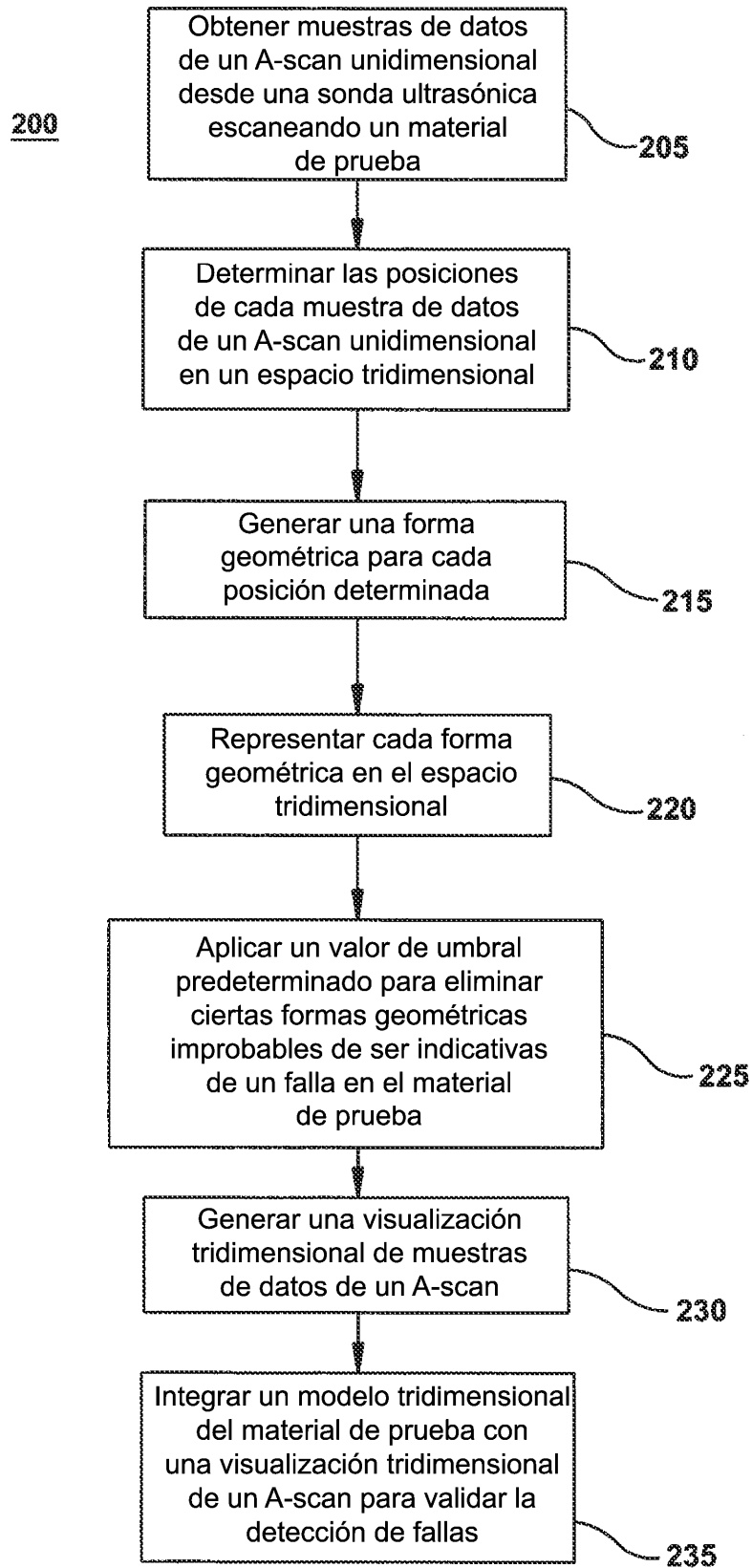
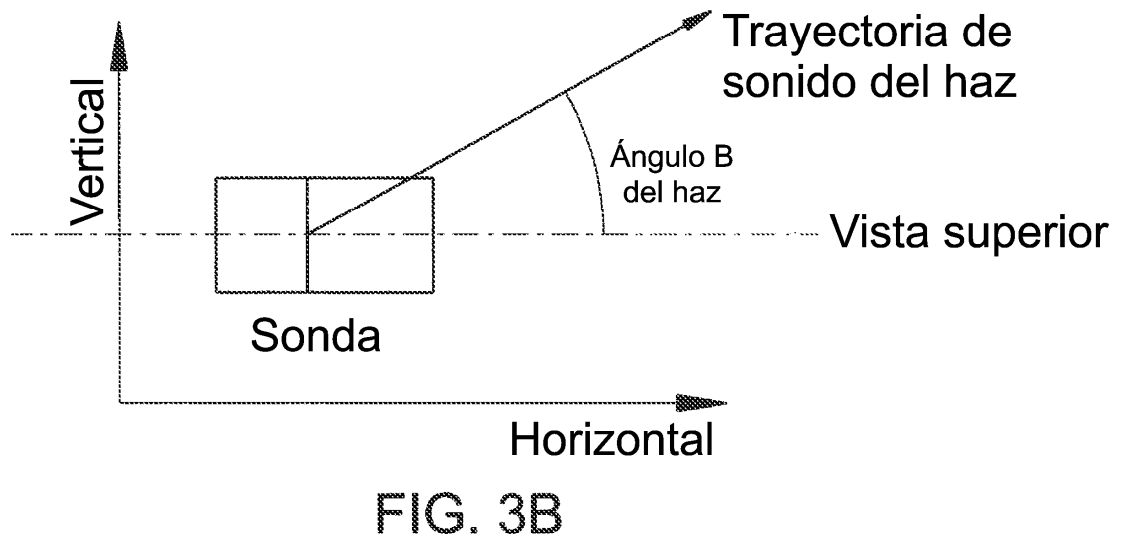
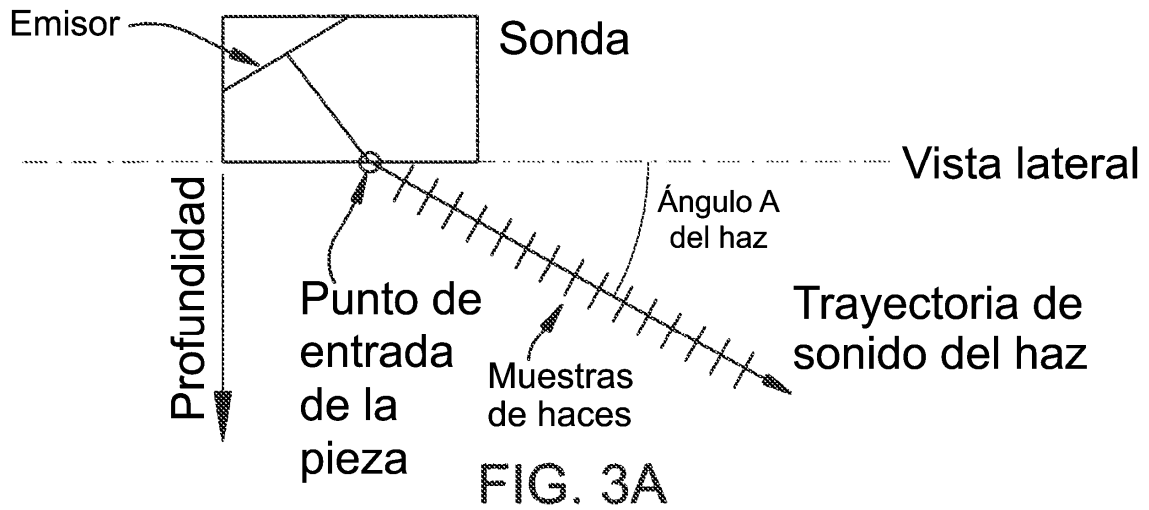


FIG. 2



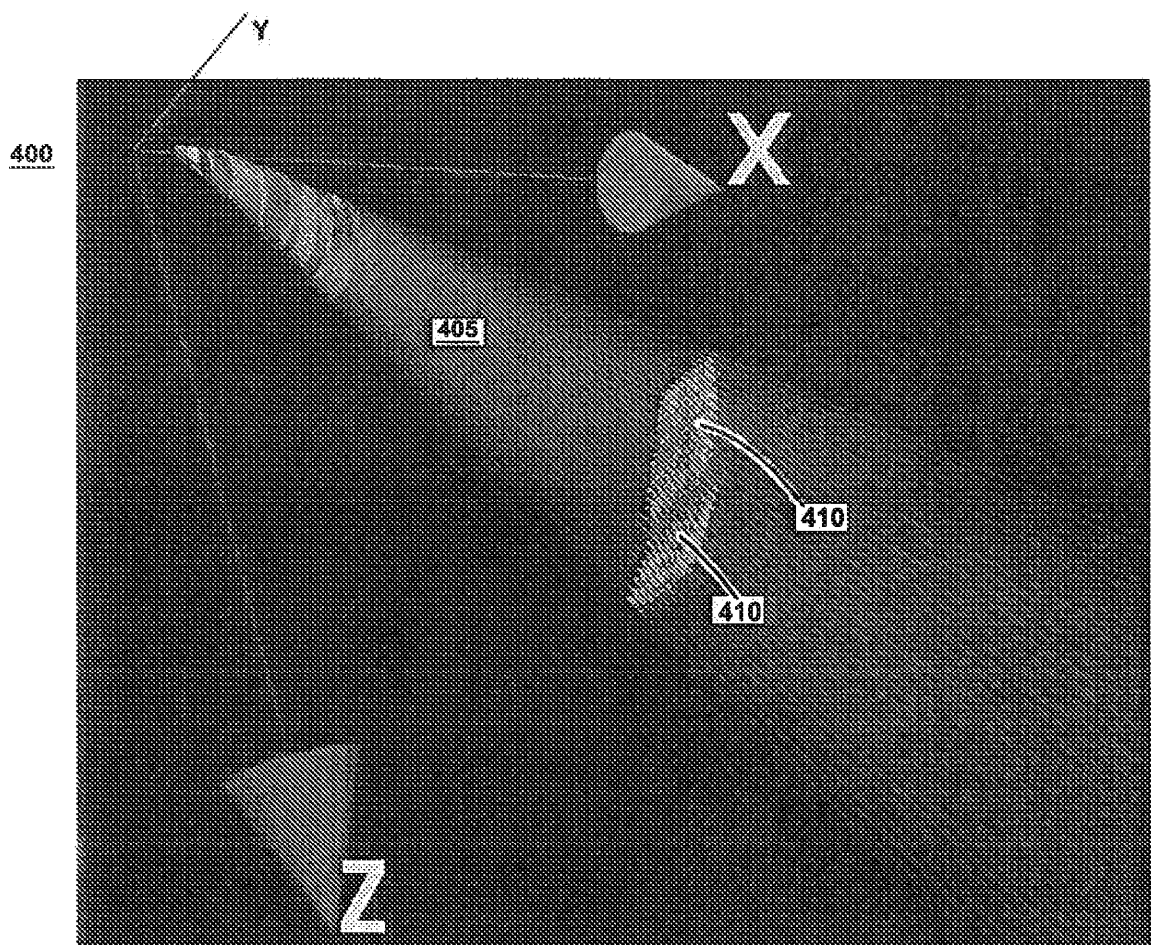


FIG. 4

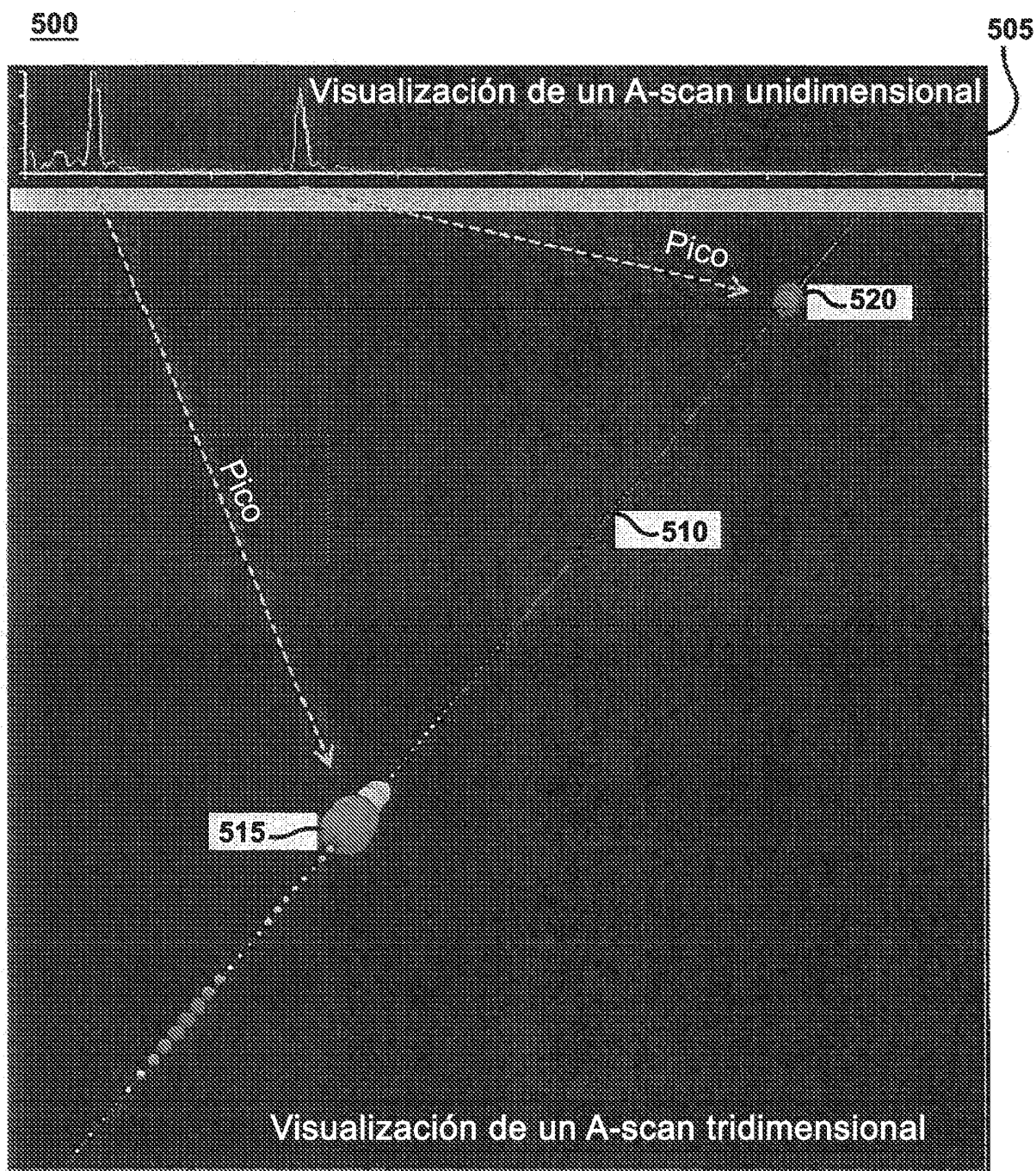


FIG. 5

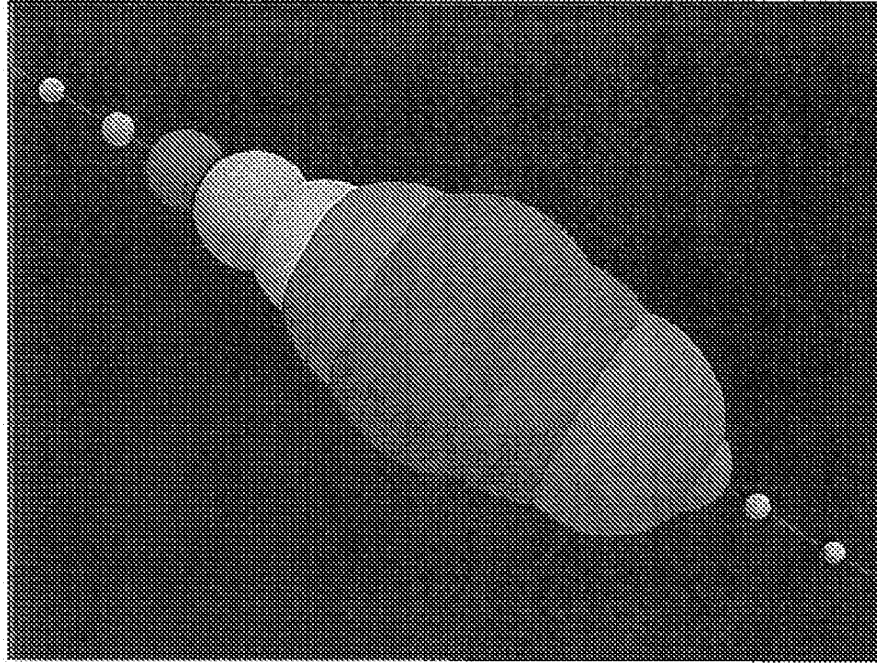


FIG. 6A

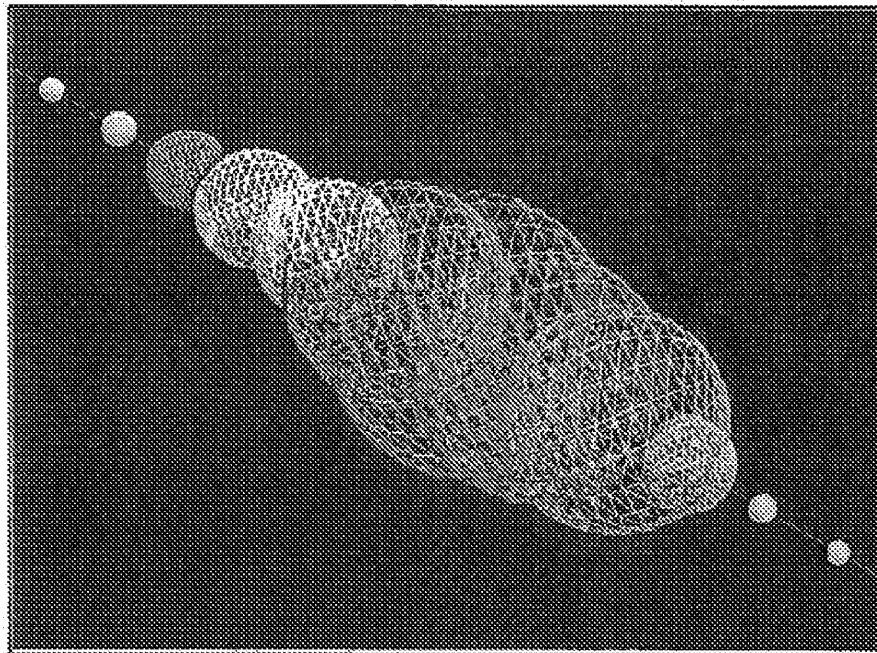


FIG. 6B

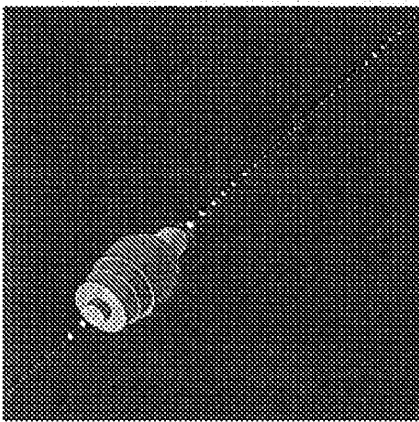


FIG. 7A

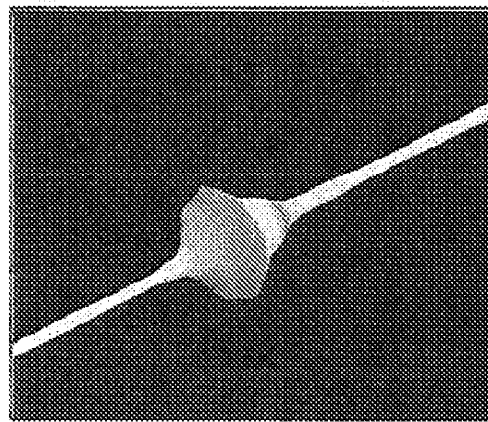


FIG. 7B

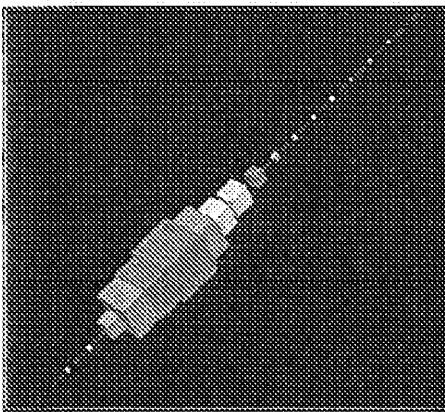


FIG. 7C

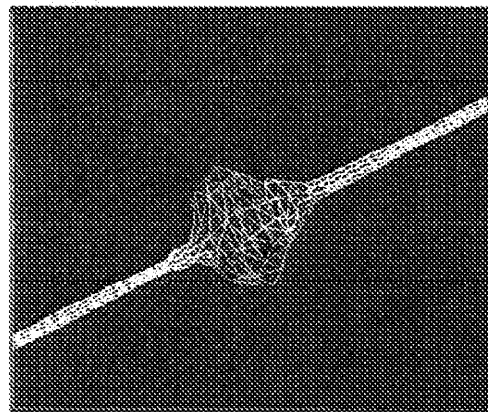


FIG. 7D

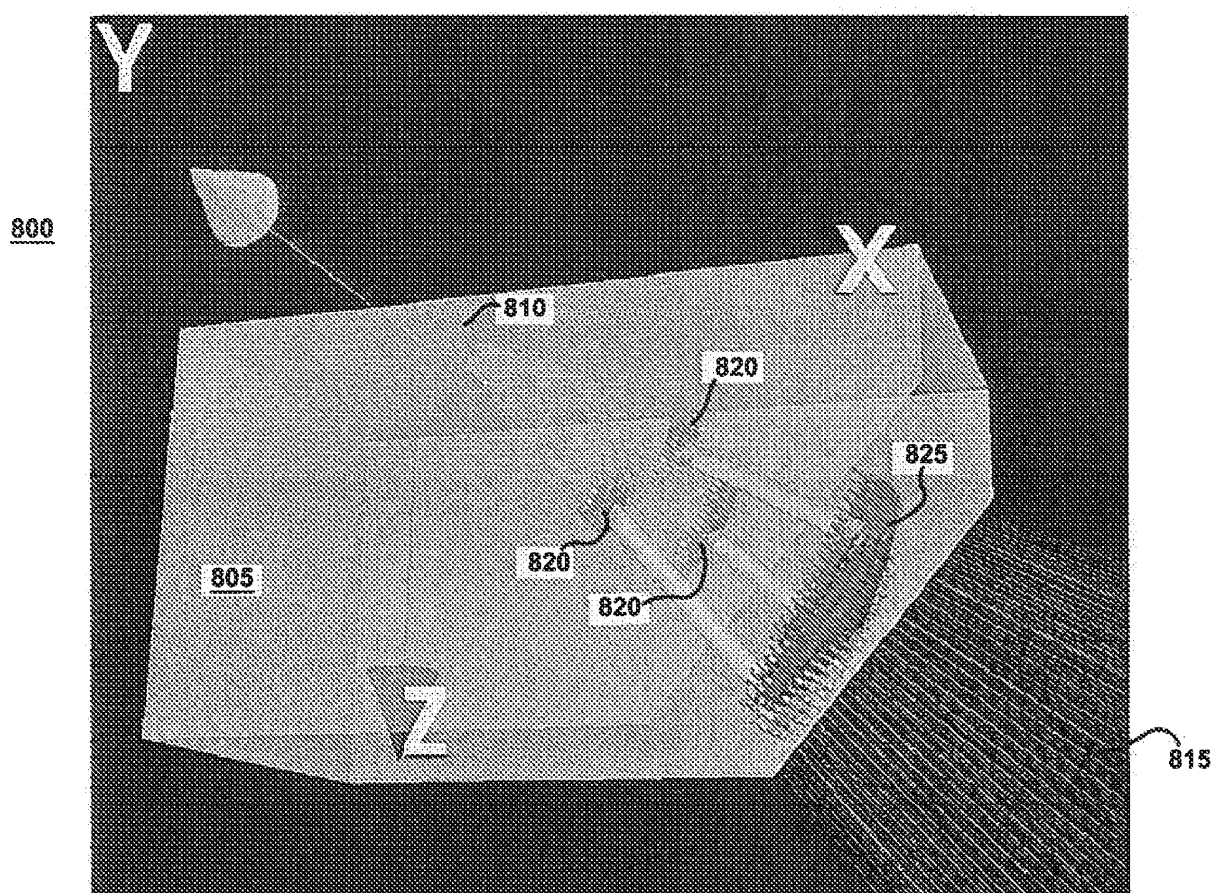


FIG. 8

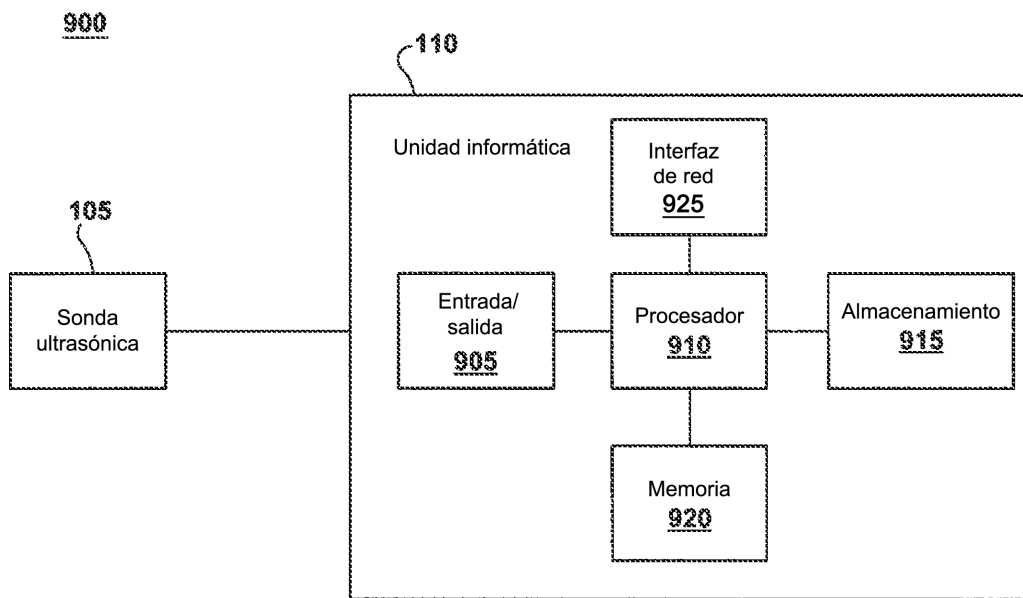


FIG. 9