

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 331**

51 Int. Cl.:

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

G01N 29/265 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.03.2009 PCT/JP2009/055743**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2009 WO09119539**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.03.2009 E 09724540 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2017 EP 2259055**

54 Título: **Método ultrasónico de detección de fisuras y dispositivo que usa imágenes de abertura-síntesis**

30 Prioridad:

27.03.2008 JP 2008082782

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

28.03.2018

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**UEDA, YOSHIO;
YAMANO, MASAKI y
IKEDA, MASAMI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 661 331 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

Método ultrasónico de detección de fisuras y dispositivo que usa imágenes de abertura-síntesis

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la Invención

10 La presente invención se refiere a un método ultrasónico de ensayo y al equipo para ello capaz de medir un área de un defecto que se extiende en la dirección de rodadura de un objeto de ensayo con una alta precisión y de una forma simple.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 Para garantizar la calidad de un producto de metal laminado (incluyendo productos medio terminados) tales como productos de hierro y acero, se realiza la detección de un defecto existente en un producto de acuerdo con un ensayo ultrasónico y la determinación de si es o no aceptable. La norma para determinar si cualquier producto es o no aceptable está especificada por ejemplo, por las dimensiones de un defecto que debería ser detectado. Por ejemplo, de acuerdo con la norma API 5CT, que es una de las normas relacionadas de Oil Country Tubular Goods (OCGT) está estipulado que si cualquier defecto cuya superficie no está abierta dentro de la tubería o tubo (que no está expuesto en las superficies interior y exterior de la tubería o tubo de acero) es detectado, el área de ese defecto no debe ser 260 mm² o más (Especificación API 5CT/ISO 11960). El área del defecto es un factor importante para garantizar la calidad de un producto.

20 Como un método convencional para calcular el área de cualquier defecto cuantitativamente por ensayo ultrasónico se ha conocido (A) un método para calcular el área del defecto usando la altura del eco, y (B) un método para calcular el área del defecto de acuerdo con una distancia móvil en la que el eco del defecto aparece cuando una sonda ultrasónica es desplazada, como se describe en la Literatura No de Patente 1 ("Prueba III de Detección Ultrasónica de Fallos" 2001, compilada por la Sociedad Japonesa de Inspección no Destructiva, 11 de Junio de 2001, pp 57-58 y pp 117-118).

25 Además, (C) un método para calcular el área del defecto que usa el procesamiento ha sido propuesto en la Literatura de Patente 1 (Publicación de Patente Japonesa abierta a la inspección pública N° 2005-31061). La Solicitud de Patente Japonesa N° 2005-156305 (A) está dirigida a un método de evaluación de defectos internos capaz de obtener una correlación entre una distribución de fallos adquirida por un método de inspección ultrasónico y el adquirido por un método de ensayo radiográfico. En adelante estos métodos se describirán con detalle.

30 (A) Método para calcular el área de un defecto usando la altura del eco.

35 Cuando el tamaño de un defecto es menor que la anchura efectiva del haz ultrasónico el área del defecto puede ser calculada usando una relación de que el área del defecto y la altura del eco son proporcionales entre sí.

40 Una altura de eco P_R de un defecto plano circular existente en un punto por una distancia (distancia en el eje central de un transductor circular) x₁ desde el transductor circular que constituye la sonda ultrasónica es expresada en la siguiente ecuación (1)

45 [Ecuación 1]

$$P_R = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{4 \lambda x_1} \cdot \frac{\pi D^2}{4 \lambda x_1} \dots (1)$$

50 en donde, en la anterior ecuación (1) P₀ la presión del sonido incidente de la onda ultrasónica, λ significa la longitud de onda de la onda ultrasónica, D significa el diámetro de un transductor y d significa el diámetro de un defecto.

Es evidente a partir de la anterior ecuación (1) que la altura del eco P_R es proporcional a πd²/4 que es el área del defecto.

55 Por otra parte, si un objeto de ensayo tiene un plano suficientemente ancho como su superficie inferior, la altura del eco P_∞ de la superficie del fondo se expresa en la siguiente ecuación (2) cuando una distancia desde el transductor a la superficie del fondo es x₂.

[Ecuación 2]

60

$$P_\infty = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{8 \lambda x_2} \dots (2)$$

El área del defecto puede ser estimada obteniendo la relación de la altura del eco P_{∞} de la superficie del fondo y la altura P_R del defecto de acuerdo con las anteriores ecuaciones (1) y (2) y midiendo las distancias x_1 , x_2 .

5 No obstante, la anterior ecuación (1) está establecida cuando la superficie de un defecto es paralela a la superficie del transductor de la sonda ultrasónica. En otras palabras, el método de cálculo se basa en una asunción de que la superficie del defecto es paralela a la superficie del transductor de la sonda ultrasónica y que un eco máximo del defecto es recibido por la sonda ultrasónica. Por lo tanto, si la superficie del defecto está inclinada con respecto a la superficie del transductor, el eco reflejado por el defecto es difícil de recibir por la sonda ultrasónica, que de este modo reduce su precisión de cálculo, lo que es un problema. Además, el método de cálculo no puede ser empleado si el tamaño del defecto es mayor que la anchura efectiva del haz ultrasónico. Así, si el objeto del ensayo es un material laminado tal como una tubería o un tubo de acero y una lámina de acero es necesario usar una sonda ultrasónica que tenga un transductor grande para un defecto plano que se extiende en la dirección de laminación, lo cual no es realista.

10 (B) Método para calcular el área de un defecto de acuerdo con una distancia móvil en la que el eco del defecto aparece desplazando la sonda ultrasónica.

20 En caso en el que el tamaño de un defecto sea mayor que la anchura efectiva del haz ultrasónico se conoce un método para medir una distancia en la que el eco del defecto desciende desde una altura de eco máxima hasta un nivel predeterminado desplazando la sonda ultrasónica o midiendo una distancia en la que la altura del eco aparece sobre una altura predeterminada independiente de la altura de eco máxima, como una longitud indicativa del defecto. De acuerdo con este método, la longitud del defecto puede ser medida con una relativamente alta precisión seleccionando una sonda ultrasónica que tenga unos transductores menores que la longitud del defecto que es un objeto de medida. En cuanto al defecto plano que se extiende en la dirección de laminado de un material laminado tal como una tubería o un tubo de acero y una lámina de acero y similar, las dimensiones del defecto (longitud del defecto) en la dirección de laminado pueden ser medidas con una relativamente alta precisión de acuerdo con el método.

25 No obstante, es difícil satisfacer el prerrequisito del método de que el tamaño del defecto sea mayor que la anchura efectiva del haz ultrasónico ya que la dimensión del defecto (anchura del defecto) en una dirección perpendicular a la dirección de laminado es menor que en la dirección de laminado. La razón es que si la dimensión del transductor se reduce, el haz ultrasónico se expande, y si la dimensión del transductor aumenta, el mismo haz ultrasónico oscilado se expande.

30 La Figura 1 muestra un ejemplo de un resultado de la medición de la altura del eco moviendo unas sondas ultrasónicas en las que la altura de los transductores son 3,5 mm y 0,7 mm, respectivamente, con respecto a un defecto de anchura de 1 mm en su dirección de anchura por defecto en una posición a una distancia de 10 mm desde el defecto (con la sonda ultrasónica instalada sobre la superficie de un objeto de ensayo en el que el defecto existe en una posición de 10 mm en profundidad, desplazándose en la dirección de la anchura del defecto). Como se muestra en la Figura 1 en un caso en el que se usa cualquier sonda ultrasónica, la distribución de la altura del eco en la dirección de la anchura muestra una forma lisa que se origina a partir del hecho de que la anchura efectiva del haz ultrasónico es grande. Si la distancia en la que la altura del eco cae 6 dB desde la altura máxima del eco es supuesta como una anchura del defecto, la anchura por defecto para ser medida por cada sonda ultrasónica es 6,3 mm y 2,8 mm, que son mayores que una anchura real por defecto (1 mm).

35 Por lo tanto, en el anterior método, incluso si la longitud de cualquier defecto plano que se extiende en la dirección de laminado, que tiene una pequeña anchura en una dirección perpendicular a la dirección de laminado de un material laminado tal como una tubería o tubo y una lámina de acero puede ser medida con una relativamente alta precisión, la anchura del defecto se mide para ser más grande que su anchura real. Esto es, el anterior método calcula que el área del defecto es excesiva. Como resultado, cualquier producto que no sea en efecto defectuoso se determina que es defectuoso reduciendo de este modo posiblemente el rendimiento.

40 (C) Método para calcular el área de un defecto por el procedimiento sintético de abertura.

55 Por otra parte, La Literatura 1 de la Patente ha revelado un método en el que datos de imágenes en tres dimensiones del interior de un objeto de ensayo son generados basados en los datos recogidos ejecutando la detección ultrasónica de fisuras usando un grupo de transductores dispuestos en un estado de matriz y a continuación estos datos de imágenes tridimensionales son procesados para automáticamente calcular el área del defecto. Más específicamente, cuando el área del defecto es calculada automáticamente a partir de los datos de imágenes tridimensionales, los datos de imágenes tridimensionales son vistos a través en cada dirección axial de las coordenadas ortogonales para producir unos datos que tienen un valor máximo para un plano. A continuación, contando el número de mallas que tienen un valor mayor que un umbral predeterminado en el plano de proyección, se calcula el área del defecto. Este método permite que el defecto sea desplegado a una alta resolución empleando la técnica sintética de abertura cuando cualesquiera datos de imágenes dimensionales son generados. No obstante,

existe un problema en la eficiencia del cálculo y en la precisión del cálculo cuando este método se aplica al defecto plano o similar del material laminado. Más adelante este método se describirá con detalle.

Se ha sabido que la resolución del proceso sintético de abertura de imagen obtenida por el proceso sintético de abertura depende de un paso de disposición del transductor y del tamaño de la abertura. El tamaño de la abertura es similar a toda la dimensión del grupo de los transductores que reciben un eco a la vez que el proceso sintético de abertura (dimensión total del grupo de los transductores dispuestos en una dirección en la que se realiza el proceso sintético de abertura). Después se ha sabido que cuanto menor sea el paso de disposición de los transductores y mayor sea el tamaño de la abertura (entre la dimensión del grupo de los transductores) mayor será la resolución).

Por lo tanto, se puede esperar que la dimensión del defecto se mide en la anterior dirección mencionada con una alta precisión usando el grupo de los transductores, el grupo estando configurado disponiendo un número de los transductores teniendo cada uno una dimensión de un minuto en una dirección en la que la dimensión del defecto se requiere que sea medida con una alta precisión. No obstante, el número de transductores que pueden ser dispuestos es limitado desde la perspectiva del coste del equipo, debido a que un circuito electrónico relativo al intercambio y procesamiento de señales está conectado a cada uno de estos transductores y tal equipo prevalente actualmente contiene aproximadamente 256 transductores.

Como se ha descrito antes, para calcular el área de un defecto en un material laminado es necesario medir las dimensiones del defecto en una dirección ortogonal a la dirección de laminado con una alta precisión debido a que el defecto es largo en la dirección de laminado mientras que es corto en la dirección ortogonal a la dirección de laminado, con el fin de mejorar la precisión de cálculo en el área del defecto. Cuando se usa un grupo de transductores en el que los transductores tienen una dimensión de un minuto están dispuestos densamente en un estado de matriz, la resolución en la dirección de laminado se intensifica más de lo requerido, mientras que la resolución en la dirección ortogonal a la dirección de laminado desciende debido a que el tamaño de la abertura disminuye y además una distancia que puede ser medida toda a la vez se hace estrecha. Por ejemplo, para obtener una resolución de aproximadamente 0,3 mm, al menos el paso de disposición de los transductores necesita ser aproximadamente 0,6 mm, debido a que el paso de disposición de los transductores necesita ser dos veces o más la resolución en el proceso sintético de abertura. Cuando el paso de disposición de los transductores es 0,6 mm, el tamaño de la abertura es aproximadamente $0,6 \times 16 = 9,6$ mm en el caso del grupo de transductores en el que $16 \times 16 (= 256)$ transductores están dispuestos en un estado de matriz. Además, la resolución en un punto de una profundidad predeterminada de un objeto de ensayo justo debajo del centro del grupo de los transductores se supone que es $\lambda / (2 \sin \theta)$ cuando el ángulo de abertura es 2θ y la longitud de onda de la onda ultrasónica es λ . Por ejemplo, un material de acero que tiene una velocidad del sonido de 5.960 m/s se emplea como un objeto de ensayo, y un grupo de los transductores se coloca sobre la superficie del objeto de ensayo. La frecuencia del ensayo ultrasónico se fija en 5 MHz, la resolución a una profundidad de 10 mm de la superficie del material de acero es aproximadamente 1,4 mm, indicando que la resolución ha descendido. Adicionalmente, una distancia en la que las medidas en la dirección ortogonal a la dirección de laminado pueden ser hechas a la vez se reduce en aproximadamente 9,6 mm, que es similar al tamaño de una abertura. Por lo tanto, es difícil decir que la eficiencia del cálculo y la exactitud del cálculo están equilibradas una con otra.

COMPENDIO DE LA INVENCION

La presente invención ha sido ideada para resolver los anteriores problemas de la técnica relacionada, y un objeto de la presente invención es proporcionar un método ultrasónico de ensayo y el equipo para el mismo capaz de medir el área de un defecto que se extiende en la dirección de laminado de un objeto de ensayo con una alta precisión y simplicidad.

Como un resultado de estudios intensivos para resolver los anteriores problemas, los inventores de la presente invención han considerado que la dimensión de un defecto (longitud del defecto) en la dirección de laminado puede ser calculada suficientemente de acuerdo con (B) el método para calcular el área del defecto con la distancia de movimiento en la que el eco del defecto aparece moviendo la sonda ultrasónica al igual que con la técnica relacionada antes descrita. A continuación, han considerado que el área del defecto puede ser medida con una alta precisión y simplemente combinando este método con un método capaz de medir la dimensión del defecto (anchura del defecto) en una dirección ortogonal a la dirección de laminado con una alta precisión. Los inventores han tenido una idea de que la anchura del defecto en una cierta sección puede ser medida con una alta precisión disponiendo una sonda ultrasónica de matriz lineal en la que una pluralidad de transductores están dispuestos en línea de modo que la dirección de la disposición de los transductores está de acuerdo con la dirección ortogonal a la dirección de laminado de un objeto de ensayo y que realiza el proceso sintético de abertura según las señales de ensayo en la sección del objeto de ensayo (sección en una dirección opuesta a la sonda ultrasónica) producidas por la sonda ultrasónica. Si el paso de disposición de los transductores de la sonda ultrasónica de matriz lineal es aproximadamente 0,6 mm, el tamaño de la abertura es aproximadamente 153 mm en la sonda ultrasónica de matriz lineal que tiene 256 transductores, que es un tamaño suficiente para la dimensión del defecto. Además, han alcanzado la idea de que la longitud del defecto puede ser medida simplemente basándose en una distribución en la dirección de laminado de las señales de ensayo cuando la sonda ultrasónica es desplazada en la dirección de laminado.

La presente invención ha sido realizada basada en el conocimiento de los inventores. Esto es, el método de ensayo ultrasónico de acuerdo con la reivindicación 1 de la presente invención incluye los pasos de: disponer una sonda ultrasónica de matriz lineal en la que una pluralidad de transductores están dispuestos en una dirección ortogonal a la dirección de laminado del objeto de ensayo de modo que estén opuestos a un objeto de ensayo; desplazar al menos una de la sonda ultrasónica y del objeto de ensayo en la dirección de laminado del objeto de ensayo con relación a la otra de la sonda ultrasónica y al objeto de ensayo, y calculando el área de un defecto existente en el objeto de ensayo y que se extiende en la dirección de laminado del objeto de ensayo basándose en las señales de ensayo generadas por la sonda ultrasónica.

El paso de calcular el área del defecto tiene una característica que incluye los pasos primero a sexto.

(1) Primer paso: realizar el proceso sintético de abertura según las señales de ensayo producidas por la sonda ultrasónica para generar una imagen sintética de abertura de las señales de ensayo para cada sección del objeto de ensayo en la dirección opuesta a la sonda ultrasónica.

(2) Segundo paso: extraer un valor máximo de las señales de ensayo en la dirección opuesta desde la imagen sintética de abertura para generar una distribución de valores máximos de las señales del ensayo en la dirección de disposición de los transductores.

(3) Tercer caso: calcular ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto en cada sección del objeto de ensayo, basado en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores para calcular la anchura del defecto en cada sección del objeto de ensayo basado en la distancia calculada entre ambos extremos.

(4) Cuarto paso: generar una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado, basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores en una pluralidad de secciones del objeto de ensayo.

(5) Quinto paso: calcular la longitud del defecto basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado generadas en el cuarto paso.

(6) Sexto paso: calcular el área del defecto basándose en la longitud del defecto calculada en el quinto paso y la anchura del defecto en cada sección calculada en el tercer paso.

De acuerdo con la presente invención la anchura del defecto en cada sección del objeto de ensayo en la dirección opuesta a la sonda ultrasónica (dimensión en la dirección ortogonal a la dirección de laminado) puede ser medida con una alta precisión del primer paso al tercer paso. A continuación, la longitud del defecto (dimensión en la dirección de laminado) puede ser medida simplemente por el cuarto paso y el quinto paso. Consecuentemente, el área del defecto puede ser medida con una alta precisión y simplemente en el sexto paso.

Mientras tanto, el "valor máximo de las señales de ensayo" en la presente invención significa cualquiera de un valor máximo de la señal de ensayo que tiene una polaridad positiva y un valor mínimo de las señales de ensayo que tienen una polaridad negativa (es decir, el valor máximo de un valor absoluto de las señales ultrasónicas que tienen una polaridad negativa).

Además, para resolver los anteriores problemas la presente invención proporciona un equipo ultrasónico de ensayo, de acuerdo con la reivindicación 2, que incluye una sonda ultrasónica de matriz lineal dispuesta para ser opuesta a un objeto de ensayo y móvil en la dirección de laminado del objeto de ensayo con respecto al objeto de ensayo, en el que una pluralidad de transductores están dispuestos en una dirección ortogonal a la dirección de laminado, y una unidad de procesamiento de señales para calcular el área de un defecto existente en el objeto de ensayo basada en las señales de ensayo producidas desde la sonda ultrasónica, ejecutando la unidad de procesamiento de señales del primer paso al sexto paso.

De acuerdo con el método y equipo ultrasónico de ensayo de la presente invención, el área del defecto que se extiende en la dirección de laminado del objeto de ensayo puede ser medida con una alta precisión y simplemente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama explicativo para explicar un método convencional de cálculo del área del defecto.

Las Figuras 2A y 2B son unos diagramas esquemáticos ilustrando cada uno la configuración esquemática de un equipo ultrasónico de ensayo de acuerdo con una realización de la presente invención, en donde la Figura 2A muestra un diagrama de bloques de toda la configuración, y la Figura 2B muestra una vista en perspectiva para explicar la disposición de las sondas ultrasónicas de matriz lineal.

La Figura 3 es un diagrama explicativo para explicar el proceso sintético de abertura para ser realizado por una porción de procesamiento sintético de abertura mostrado en las Figuras 2A y 2B.

Las Figuras 4A y 4B son unos diagramas explicativos para explicar un patrón de transmisión/recepción de la sonda ultrasónica mostrada en las Figuras 2A y 2B.

Las Figuras 5A a 5D son unos diagramas explicativos para explicar un proceso que realizan la porción de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura, y la porción de operación aritmética de defecto en ambos extremos ilustradas en las Figuras 2A y 2B. La Figura 5A muestra un ejemplo de una imagen sintética de abertura generada por la porción de procesamiento sintético de abertura. La Figura 5B muestra una distribución de intensidades de señales de ensayo a lo largo de la línea A-A en la Figura 5A. La Figura 5C

muestra un perfil en la dirección de la anchura generado por la porción operativa aritmética del perfil de la dirección de la anchura de la imagen sintética de abertura mostrada en la Figura 5A. La Figura 5D es un diagrama para explicar un método para la porción de operación aritmética de ambos extremos del defecto para calcular ambos extremos de un defecto en la dirección de la anchura basándose en el perfil de la dirección de la anchura mostrado en la Figura 5C.

La Figura 6 muestra un ejemplo de un perfil de la dirección de la longitud generado por una porción operativa aritmética del perfil de la dirección de la longitud mostrada en las Figuras 2A y 2B.

La Figura 7 es un diagrama explicativo para explicar un proceso que realiza la porción operativa aritmética del área del defecto mostrada en las Figuras 2A y 2B.

La Figura 8 muestra un ejemplo de un resultado del cálculo de las anchuras del defecto de acuerdo con la realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

En adelante, se describe una realización de un método ultrasónico de ensayo y el equipo para él de acuerdo con la presente invención con referencia a los dibujos anejos.

Las Figuras 2A y 2B son unos diagramas esquemáticos cada uno mostrando la configuración esquemática del equipo ultrasónico de ensayo de acuerdo con la presente realización. La Figura 2A muestra un diagrama de bloques que muestra la configuración completa, y la Figura 2B muestra una vista en perspectiva para explicar la disposición de una sonda ultrasónica de matriz lineal.

Como se muestra en las Figuras 2A y 2B, un equipo ultrasónico 1 de ensayo de la presente realización incluye una sonda ultrasónica 1 de matriz lineal y una unidad 2 de procesamiento de señales para calcular el área de un defecto F existente en un objeto M de ensayo basándose en las señales de ensayo generadas por la sonda ultrasónica 1.

La sonda ultrasónica 1 está dispuesta para ser opuesta al objeto de ensayo M y movida en la dirección de laminado con respecto al objeto de ensayo M, mientras una pluralidad de transductores 11 están dispuestos en una dirección ortogonal a la dirección de laminado.

La unidad de procesamiento 2 incluye un circuito de conmutación 2A, un generador de impulsos 2B, un receptor 2C, un amplificador 2D, un convertidor A/D 2E, una memoria de forma de onda 2F, una porción 2G de procesamiento sintético de la abertura, una porción de control 2H del patrón de transmisión/recepción, una porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura, una porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto, una porción 2K de operación aritmética del perfil en la dirección de la longitud, un detector 2L de posición y una porción 2M de operación aritmética del área del defecto.

El circuito conmutador 2A está conectado a cada transductor 11 de la sonda ultrasónica 1. El circuito conmutador 2A selecciona un transductor de transmisión 11 y un transductor de recepción 11 que corresponde a un patrón de transmisión/ recepción transmitido desde la porción 2H de control del patrón para conectar éstos con los generadores de impulsos 2B y los receptores 2C.

El generador de impulsos 2B aplica una señal de transmisión al transductor 11 de transmisión seleccionado. Como resultado, la onda ultrasónica oscilada desde el transductor 11 de transmisión es propagada en el objeto de ensayo M reflejada por la superficie del objeto de ensayo M y un defecto F y recibida por el transductor de recepción seleccionado 11. La señal de ensayo recibida es convertida en datos digitales mediante el receptor 2C, el amplificador 2D y el convertidor A/D 2E y registrada en la memoria 2F de la forma de onda.

La porción 2G de procesamiento sintético de abertura realiza el procesamiento sintético de abertura para ensayar las señales registradas en la memoria 2F de la forma de onda. En este momento la información de la sonda ultrasónica 1 y del objeto de ensayo M (por ejemplo, una relación posicional entre la sonda ultrasónica 1 y el objeto de ensayo M, una frecuencia de ensayo ultrasónica de la sonda ultrasónica 1, la velocidad del sonido en el objeto de ensayo M y un medio de acoplamiento, el diámetro exterior del objeto de ensayo M si es una tubería o tubo, y similar) y el patrón de transmisión/recepción almacenado en la porción de control 2H del patrón de transmisión/recepción son usados.

La Figura 3 es un diagrama explicativo para explicar el procesamiento sintético de abertura realizado por la porción 2G de procesamiento sintético de abertura. Después del procesamiento sintético de abertura el espacio de coordenadas de una sección M1 (véase la Figura 2B) del objeto de ensayo M en la dirección opuesta a la sonda ultrasónica 1 es dividido en mallas. A continuación, el valor de una señal de ensayo registrada en la memoria 2F de la forma de onda es obtenida e introducida en cada malla. Cuando se determina un valor para ser obtenido, primeramente, el transductor de transmisión 11 (transductor P en la Figura 3) y el transductor de recepción 11 (transductores Ra y Rb en la Figura 3) que atrae la atención son determinados a partir de los transductores de transmisión 11 y los transductores de recepción 11 seleccionados dependiendo del patrón de transmisión/recepción. A continuación se determinan un camino de propagación WI de ondas ultrasónicas desde el transductor de transmisión P a la malla que atrae los caminos de atención y los caminos de propagación WRa y WRb de la onda ultrasónica desde la malla que atrae la atención a los transductores de recepción Ra y Rb. La determinación de

5 estos caminos de propagación WI, WRa, y WRb se realiza seleccionando un punto de incidencia y un punto de salida de la onda ultrasónica de modo que los caminos de propagación que conectan los transductores P, Ra, y Rb con los puntos de incidencia o puntos de salida de la onda ultrasónica del objeto de ensayo M y el camino de propagación que conecta el punto de incidencia o el punto de salida de la onda ultrasónica sobre el objeto de ensayo M con la malla que atrae la atención satisfacen la ley de Snell o el teorema de Fermat, basados en la relación posicional entre los transductores P, Ra, y Rb y el objeto de ensayo M, la velocidad del sonido en el medio de acoplamiento y el objeto de ensayo M y similar. Los valores de las señales correspondientes a un tiempo de propagación (Ta) de los caminos de propagación WI y WRa se obtienen a partir de las señales de ensayo en el transductor de recepción Ra registrado en la memoria 2F de la forma de onda y se introducen en la malla que atrae la atención. A continuación, los valores de las señales que corresponden a un tiempo de propagación (Tb) de los caminos de propagación Wi y WRb se obtienen a partir de las señales de ensayo en el transductor de recepción Rb registrado en la memoria 2F de la forma de onda y se introducen en la misma malla que atrae la atención (añadida). El procesamiento antes descrito se realiza basado en las combinaciones de todos los transductores de transmisión 11, y los transductores de recepción 11 seleccionados dependiendo del patrón de transmisión/recepción para determinar el valor de una señal de ensayo para ser introducida en la malla que atrae la atención. A continuación, este procesamiento es realizado en todas las mallas para generar la imagen sintética de la abertura de una sección M1. Debido a que la sonda ultrasónica 1 es desplazada en la dirección de laminado con respecto al objeto de ensayo M, se genera una pluralidad de imágenes sintéticas de abertura para una pluralidad de secciones del objeto de ensayo M. Más específicamente, las imágenes sintéticas de abertura son generadas para la pluralidad de secciones (por ejemplo, las secciones obtenidas por un desplazamiento relativo predeterminado) que corresponden a posiciones relativas entre la sonda ultrasónica 1 y el objeto de ensayo M, detectado por el detector de posición 2L.

25 Como se muestra en la Figura 4A, un grupo de transductores (parte de o todos los transductores 11 que constituyen la sonda ultrasónica 1) impulsados como el transductor de transmisión 11 y el transductor de recepción 11 es seleccionado, y el transductor de transmisión 11 y el transductor de recepción 11 son seleccionados, y el transductor de transmisión 11 y el transductor de recepción 11 son cambiados sucesivamente en el grupo de transductores seleccionado para obtener una imagen sintética de abertura para la sección de un objeto de ensayo M. Como se muestra en la Figura 4B, el mismo procesamiento es realizado cambiando el grupo de transductores para ser seleccionados dentro de la misma sección para obtener una pluralidad de imágenes sintéticas de abertura en la misma sección (finalmente, los valores de las respectivas mallas de esta pluralidad de imágenes sintéticas de abertura son sumados para obtener una imagen sintética de abertura).

35 La porción 2I de operación aritmética del perfil de la dirección de la anchura extrae un valor máximo de las señales de ensayo en una dirección opuesta entre la sonda ultrasónica 1 y el objeto de ensayo M (dirección de la profundidad del objeto de ensayo M) sobre la imagen sintética de la abertura de cada sección del objeto de ensayo M generada por la porción 2G de procesamiento sintético de la abertura, como está descrito anteriormente, para generar una distribución de valores máximos (en adelante referida como "perfil de la dirección de la anchura" según sea necesario) de las señales de ensayo en la dirección de la disposición del transductor 11 (dirección de la anchura del defecto F).

40 La porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto calcula ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto F en cada sección del objeto de ensayo M basándose en un perfil de la dirección de la anchura por la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura para calcular la anchura del defecto F en cada sección del objeto de ensayo M basado en la distancia entre los ambos extremos calculados.

45 Un procesamiento ejecutado por la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura y la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto se describirá con más detalle con referencia a las Figuras 5A a 5D.

50 Las Figuras 5A a 5D son diagramas explicativos para explicar el procesamiento realizado por la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura y la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto. La Figura 5A muestra un ejemplo de la imagen sintética de abertura generada por la porción 2G de procesamiento sintético de la abertura. La Figura 5B muestra una distribución de intensidades de las señales de ensayo a lo largo de la línea A-A en la Figura 5A. La Figura 5C muestra un perfil en la dirección de la anchura generado por la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura de la imagen sintética de la abertura mostrada en la Figura 5A. La Figura 5D es un diagrama para explicar un método para calcular ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto F por medio de la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto basado en el perfil de la dirección de la anchura mostrado en la Figura 5C.

60 La porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura lee un valor de una entrada de señal de ensayo en una cierta malla situada en cada posición de la dirección de la anchura (dirección de la disposición de los transductores 11) sucesivamente alrededor de la imagen sintética de la abertura mostrada en la Figura 5A a lo largo de la dirección de la profundidad (en una dirección opuesta entre la sonda ultrasónica 1 y el objeto de ensayo M) y extrae su valor máximo para trazarlo en cada posición en la dirección de la anchura. Por ejemplo, en cuanto a la posición de la dirección de la anchura a lo largo de la línea A-A en la Figura 5A, los valores de las señales de ensayo introducidas en cada malla son leídas sucesivamente a lo largo de la línea A-A y su valor máximo A' es extraído y

trazado en una correspondiente posición en la dirección de la anchura. En este momento, la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura almacena las coordenadas (posición en la dirección de la anchura, posición en la dirección de la profundidad) de la malla en la que el valor máximo extraído es introducido.

5 Repitiendo el procesamiento antes descrito para todas las posiciones en la dirección de la anchura, se genera como se muestra en la Figura 5C un perfil de la dirección de la anchura que tiene una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la anchura (dirección de disposición de los transductores 11) del defecto F. El perfil generado en la dirección de la anchura generado y las coordenadas de la malla en la que el valor máximo extraído es introducido son introducidos en la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto.

10 La porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto calcula una distancia en la que el valor máximo desciende un dB predeterminado desde un valor máximo Mn del perfil de la dirección de la anchura en la que el valor máximo de las señales de ensayo superan un umbral predeterminado sobre el perfil de la dirección de la anchura (Figura 5C) generado por la porción 2I de operación aritmética del perfil en la dirección de la anchura. En el ejemplo mostrado en la Figura 5C se calcula una distancia W en la que el valor máximo desciende 6 dB desde el valor máximo Mn. A continuación, como se muestra en la Figura 5D, la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto lee las coordenadas de la malla en la que el valor máximo que corresponde a ambos extremos de la distancia calculada W es introducido para adoptarlos como las coordenadas de ambos extremos ELn, ERn del defecto F. A continuación se calcula la distancia entre ambos extremos ELn, ERn del defecto para adoptarla como la anchura del defecto F.

La anchura del defecto F en cada sección del objeto de ensayo M es calculada por el procesamiento antes descrito.

25 La porción 2K de operación aritmética del perfil en la dirección de la longitud genera una distribución de valores máximos (en adelante referida como un "perfil en la dirección de la longitud" según sea necesario) de las señales de ensayo en la dirección de laminado (dirección de la longitud del defecto F) desde el perfil en la dirección de la anchura de la pluralidad de secciones del objeto de ensayo M relacionado con una posición relativa entre la sonda ultrasónica 1 detectada por el detector de posición 2L y el material objeto M. Más específicamente, los valores máximos Mn (véase la Figura 5C) del perfil en la dirección de la anchura en cada sección son trazados en posiciones en la dirección de la longitud (dirección de laminado) de un material M objeto de laminado correlacionadas con cada sección para generar el perfil en la dirección de la longitud (dirección de laminado) de un material M objeto de laminado correlacionado con cada sección para generar el perfil de la dirección de la longitud como se muestra en la Figura 6.

35 A continuación, la porción 2K de operación aritmética del perfil en la dirección de la longitud calcula una longitud del defecto F basado en el perfil en la dirección de la longitud. Más específicamente, una distancia en la que el valor máximo desciende solamente el dB predeterminado desde el valor máximo del perfil en la dirección de la longitud o una distancia en la que el valor máximo Mn de la señal de ensayo supera el umbral predeterminado se calcula como la longitud del defecto F.

40 La porción 2M de operación aritmética del área del defecto calcula el área del defecto F basado en la longitud del defecto F calculado por la porción 2K de operación aritmética del perfil en la dirección de la longitud y la anchura del defecto F en cada sección calculada por la porción 2J de operación aritmética de ambos extremos del defecto. Más específicamente, como se muestra en la Figura 7, una suma de productos de la anchura Wn del defecto F calculada sobre una sección dentro de una distancia que corresponde a la longitud del defecto F y a una distancia ΔL en la dirección de laminado (dirección de la longitud del defecto F) entre las secciones se calcula dentro de una distancia que corresponde a la longitud del defecto F para calcular el área del defecto F.

50 De acuerdo con el método ultrasónico de ensayo que usa el equipo ultrasónico 100 de ensayo de esta realización, el área del defecto F se extiende en la dirección de laminado del objeto de ensayo puede ser medida con una alta precisión y simplemente.

Ejemplos

55 En adelante, la presente invención se describe con más detalle indicando unos ejemplos.

60 El ensayo ultrasónico fue realizado por un equipo ultrasónico de ensayo de la presente invención cuya configuración esquemática fue mostrada en las Figuras 2A y 2B con el fin de encontrar un defecto en una ranura de fondo plano (inclinada 10° con respecto a la dirección horizontal del panel plano, 3,6 mm en anchura y 20 mm en longitud) en el panel plano. Se usó una sonda ultrasónica de matriz lineal que tiene una frecuencia ultrasónica de ensayo de 5 MHz, un paso de disposición del transductor de 0,5 mm, y 64 transductores, y en donde la longitud del transductor en una dirección ortogonal a la dirección de la disposición era 6 mm. La imagen sintética de la abertura fue generada cada vez cuando la sonda ultrasónica y un objeto de ensayo fueron desplazados 1 mm uno con relación a otro.

65 La Figura 5A muestra un ejemplo de la imagen sintética de la abertura obtenida por esta realización. Para obtener la imagen la onda ultrasónica fue enviada por cualquiera de los transductores y recibida por los 64 transductores, y a continuación el transductor de transmisión fue cambiado sucesivamente desde un primer transductor hasta el 64-

ésimo transductor. Un perfil en la dirección de la anchura mostrado en la Figura 5C fue generado para esta imagen sintética de la abertura, ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto fueron calculados como se muestra en la Figura 5D y a continuación la anchura del defecto en cada sección del panel plano fue calculada de acuerdo con la distancia calculada entre ambos extremos. La anchura del defecto calculada sobre la imagen sintética de la abertura en la Figura 5A fue 3,2 mm. Este valor fue calculado con una alta precisión aunque fue calculado para ser ligeramente menor que una anchura real del defecto de 3,6 mm.

La Figura 6 muestra un perfil en la dirección de la longitud obtenido por esta realización. Una distancia en la que la anchura del defecto desciende 6 dB desde el valor máximo del perfil en la dirección de la longitud fue calculada como la longitud del defecto. La longitud calculada del defecto fue 23 mm y aunque era ligeramente más grande que la longitud real del defecto de 20 mm, se puede decir que la longitud del defecto podría ser calculada con una alta precisión.

La suma de productos de la anchura del defecto calculada sobre una sección dentro de una distancia correspondiente a la longitud del defecto y una distancia (1 mm) en la dirección de laminado (dirección de la longitud del defecto) entre las respectivas secciones es calculada dentro de la distancia que corresponde a la longitud del defecto para calcular el área del defecto. El área calculada del defecto era de 81 mm² y es evidente que el defecto puede ser medido con un error de aproximadamente +13% el área real del defecto de 72 mm².

La Figura 8 muestra un resultado del cálculo de las anchuras de los agujeros del fondo plano de 2,0 mm y 1,0 mm en anchura, teniendo cada uno una profundidad diferente en el panel plano, usando el equipo ultrasónico de ensayo de esta realización. Como se muestra en la Figura 8 es evidente que la anchura del defecto puede ser calculada con una alta precisión independientemente de una posición de la profundidad del defecto (agujero del fondo plano).

El área de la ranura del fondo plano (inclinada 10° con respecto a la dirección horizontal del panel plano, 3,6 mm de anchura y 20 mm de longitud) en el panel plano fue calculada como un defecto usando el equipo ultrasónico de ensayo de esta realización. Además, el área del mismo defecto fue calculada como un ejemplo comparativo usando una sonda ultrasónica ordinaria. Más específicamente, la sonda ultrasónica fue desplazada en la dirección de la longitud y en la dirección de la anchura del defecto, y la longitud y la anchura del defecto fueron calculadas de acuerdo con una distancia móvil en la que aparece el eco del defecto. Por lo tanto, el área del defecto fue calculada (lo que es similar a la técnica (B) relacionada antes descrita. La Tabla 1 muestra el resultado.

[Tabla 1]

Método de medición del área del defecto	Especificación de la sonda ultrasónica	Área real del defecto	Resultado de la medición del área	Error
Presente invención (abertura sintética en dirección de anchura + escaneo en dirección longitudinal)	Frecuencia de ensayo ultrasónica: 5 MHz Paso de disposición: 0,5 mm Número de transductores 64 ch Longitud: 6 mm	36 mm ² Anchura: 1,8 mm	41 mm ²	+13,9%
Ejemplo comparativo (escaneo en dirección de anchura + escaneo en dirección longitudinal)	Frecuencia de ensayo ultrasónica: 5 MHz Diámetro del transductor: 6,35 mm	Longitud: 20 mm	62 mm ²	+72,2%

Como se ha indicado en la Tabla 1, de acuerdo con la presente invención, es evidente que el área del defecto puede ser calculada con una mayor precisión que la técnica relacionada.

REIVINDICACIONES

1. Un método ultrasónico de ensayo que comprende los pasos de:

5 disponer una sonda ultrasónica (1) de matriz lineal en la que una pluralidad de transductores (11) están dispuestos en una dirección ortogonal a una dirección de laminado de un objeto de ensayo (M) de modo que estén opuestos a un objeto de ensayo (M);
 10 desplazar al menos uno de la sonda ultrasónica (1) y el objeto de ensayo (M) en la dirección de laminado del objeto de ensayo (M) con relación al otro de la sonda ultrasónica (1) y el objeto de ensayo (M); y
 15 calcular el área de un defecto (F) existente en el objeto de ensayo (M) y que se extiende en la dirección de laminado del objeto de ensayo (M) basándose en las señales del ensayo obtenidas de la sonda ultrasónica, en donde el paso de calcular el área del defecto F incluye:
 20 un primer paso de realización del proceso sintético de abertura en las señales de ensayo producidas por la sonda ultrasónica (1) para generar una imagen sintética de la abertura de las señales de ensayo sobre cada sección del objeto de ensayo (M) en la dirección opuesta a la sonda ultrasónica;
 25 un segundo paso de extracción de un valor máximo de las señales de ensayo en la dirección opuesta de la imagen sintética de la abertura para generar una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11);
 30 un tercer paso de cálculo de ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto (F) en cada sección del objeto de ensayo (M), basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11) para calcular la anchura del defecto (F) en cada sección del objeto de ensayo (M) basándose en la distancia calculada entre ambos extremos;
 35 un cuarto paso de generación de una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado, basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11) en una pluralidad de secciones del objeto de ensayo (M);
 40 un quinto paso de cálculo de la longitud del defecto (F) basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado generados en el cuarto paso; y
 45 un sexto paso de cálculo del área del defecto (F) basándose en la longitud del defecto (F) calculada en el quinto paso y en la anchura del defecto (F) en cada sección calculada en el tercer paso.

2. Un equipo ultrasónico (100) de ensayo que comprende:

35 una sonda ultrasónica (1) de matriz lineal dispuesta para ser opuesta a un objeto de ensayo (M) y desplazable en una dirección de laminado del objeto de ensayo (M) con relación al objeto de ensayo (M), en la que una pluralidad de transductores (11) están dispuestos en una dirección ortogonal a la dirección de laminado; y
 40 una unidad (2) de procesamiento de señales para calcular el área de un defecto (F) existente en el objeto de ensayo (M) y que se extiende en la dirección de laminado del objeto de ensayo (M) basándose en las señales de ensayo salidas de la sonda ultrasónica, en donde la unidad (2) de procesamiento de la señal está configurada para ejecutar:
 45 un primer paso de realización del proceso sintético de abertura en las señales de ensayo salidas de la sonda ultrasónica (1) para generar una imagen sintética de la abertura de las señales de ensayo sobre cada sección del objeto de ensayo (M) en la dirección opuesta a la sonda ultrasónica;
 50 un segundo paso de extracción de un valor máximo de las señales de ensayo en la dirección opuesta de la imagen sintética de la abertura para generar una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11);
 55 un tercer paso de cálculo de ambos extremos en la dirección de la anchura del defecto (F) en cada sección del objeto de ensayo (M), basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11) para calcular la anchura del defecto (F) en cada sección del objeto de ensayo (M) basándose en la distancia calculada entre ambos extremos;
 60 un cuarto paso de generación de una distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado, basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de la disposición de los transductores (11) en una pluralidad de secciones del objeto de ensayo (M);
 un quinto paso de cálculo de la longitud del defecto (F) basándose en la distribución de valores máximos de las señales de ensayo en la dirección de laminado generadas en el cuarto paso; y
 un sexto paso de cálculo del área del defecto (F) basándose en la longitud del defecto (F) calculada en el quinto paso y en la anchura del defecto (F) en cada sección calculada en el tercer paso.

Fig. 1

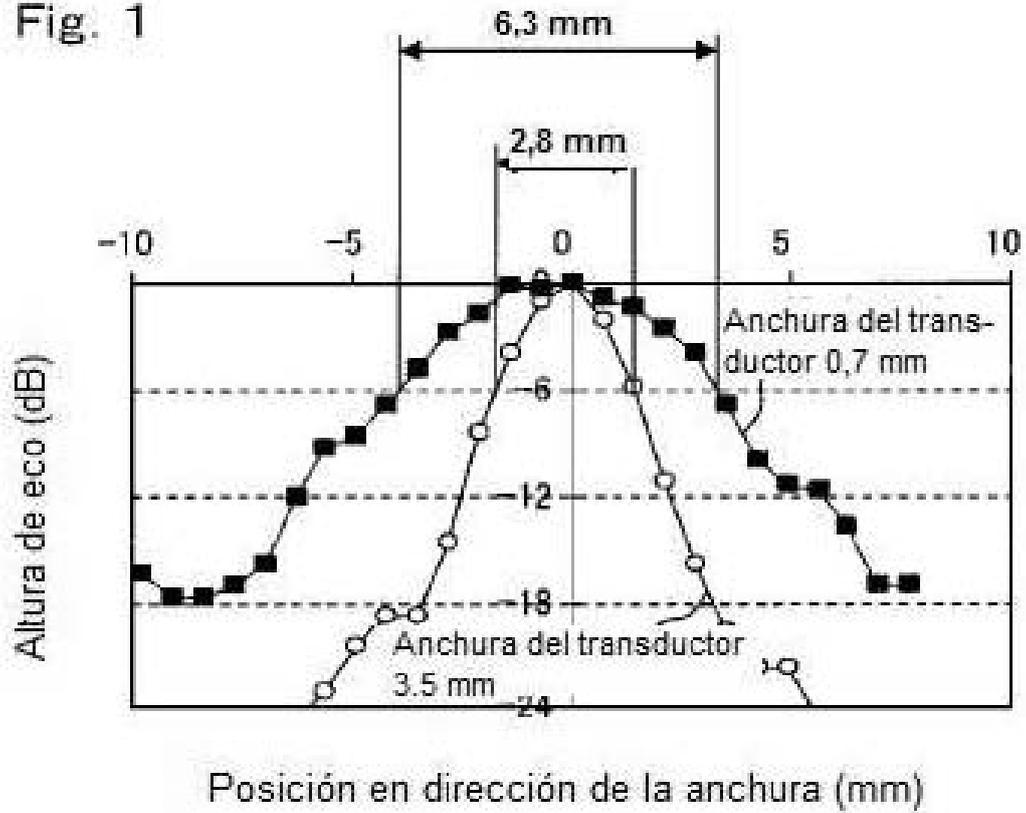


Fig. 2A

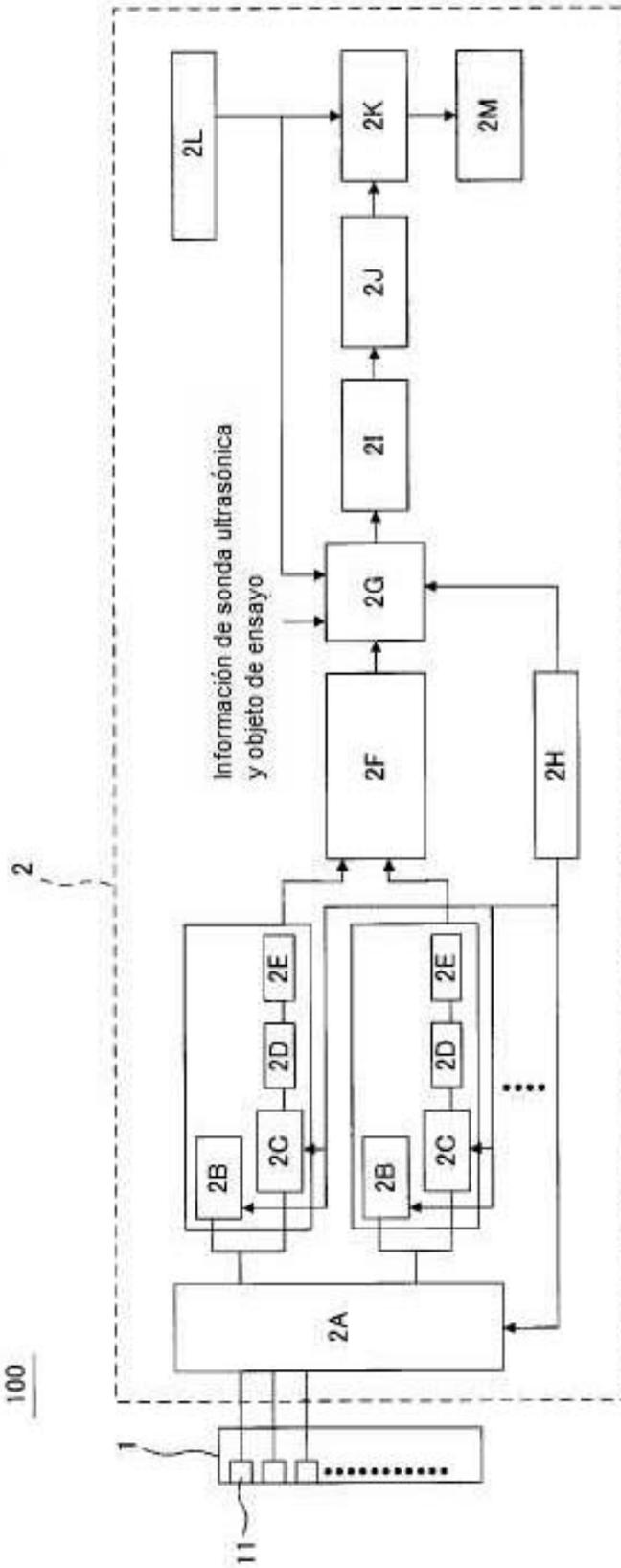


Fig. 2B

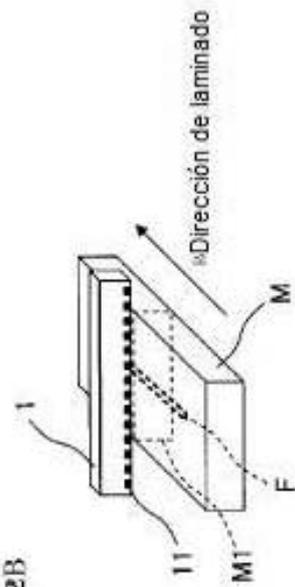


Fig. 3 En caso de transmisión desde P y recepción con Ra y Rb

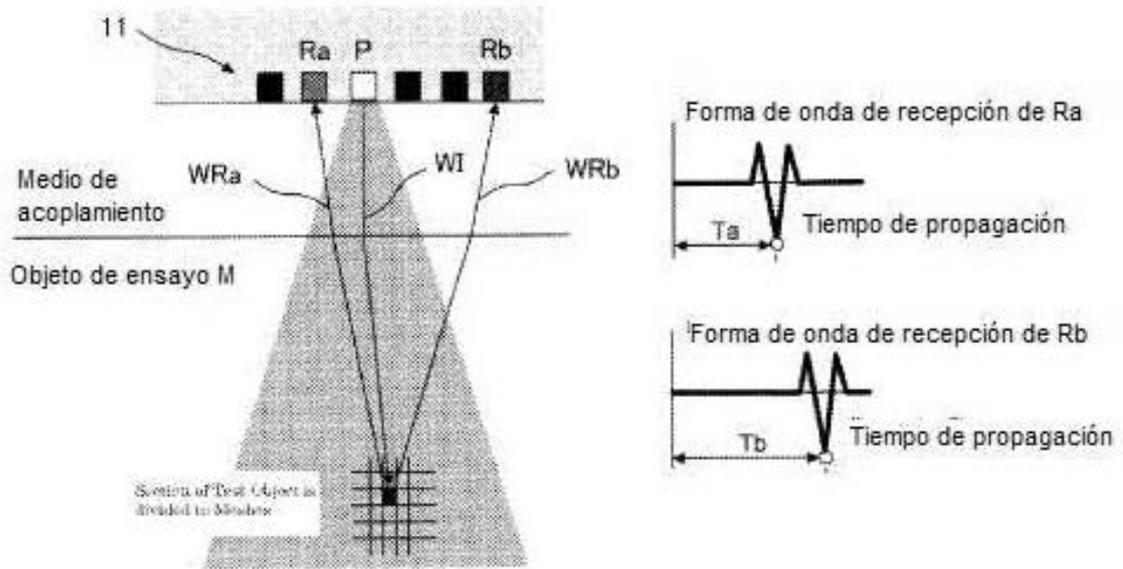


Fig. 4A

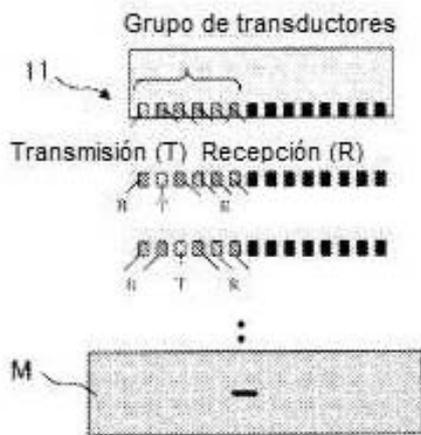


Fig. 4B

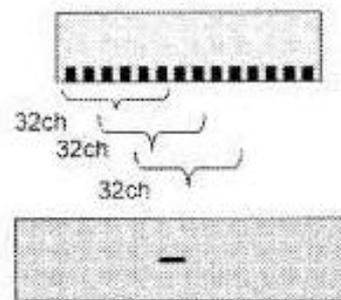


Fig. 5A

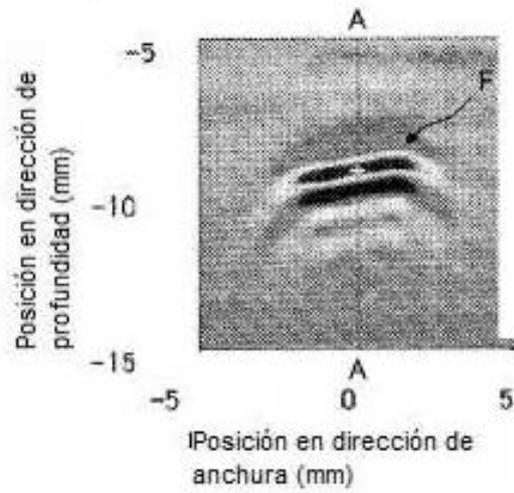


Fig. 5B

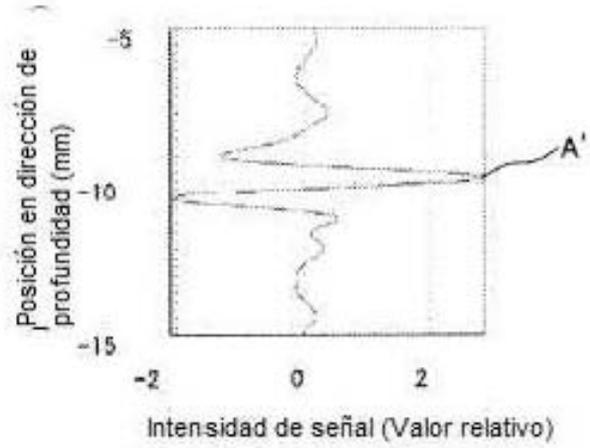


Fig. 5C

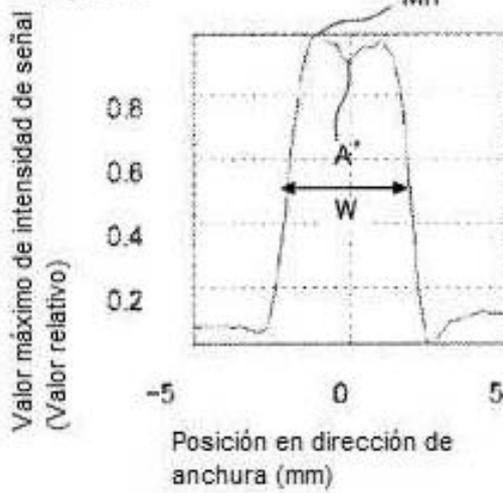


Fig. 5D

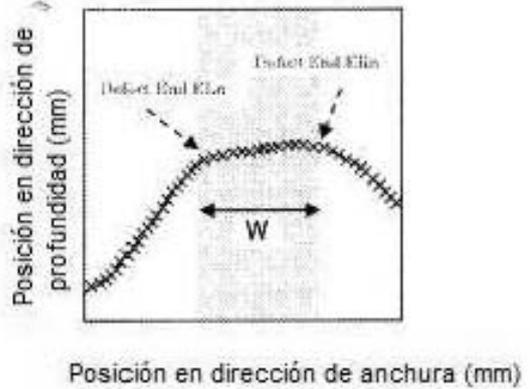


Fig. 6

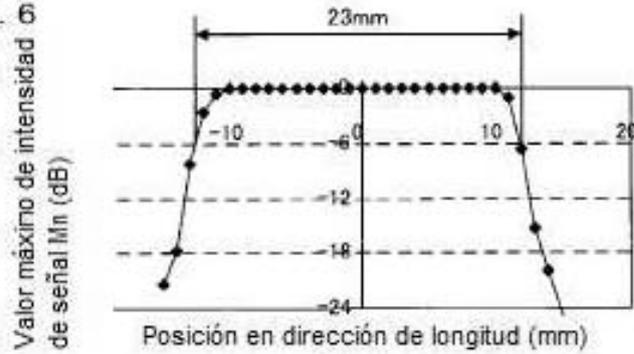


Fig. 7

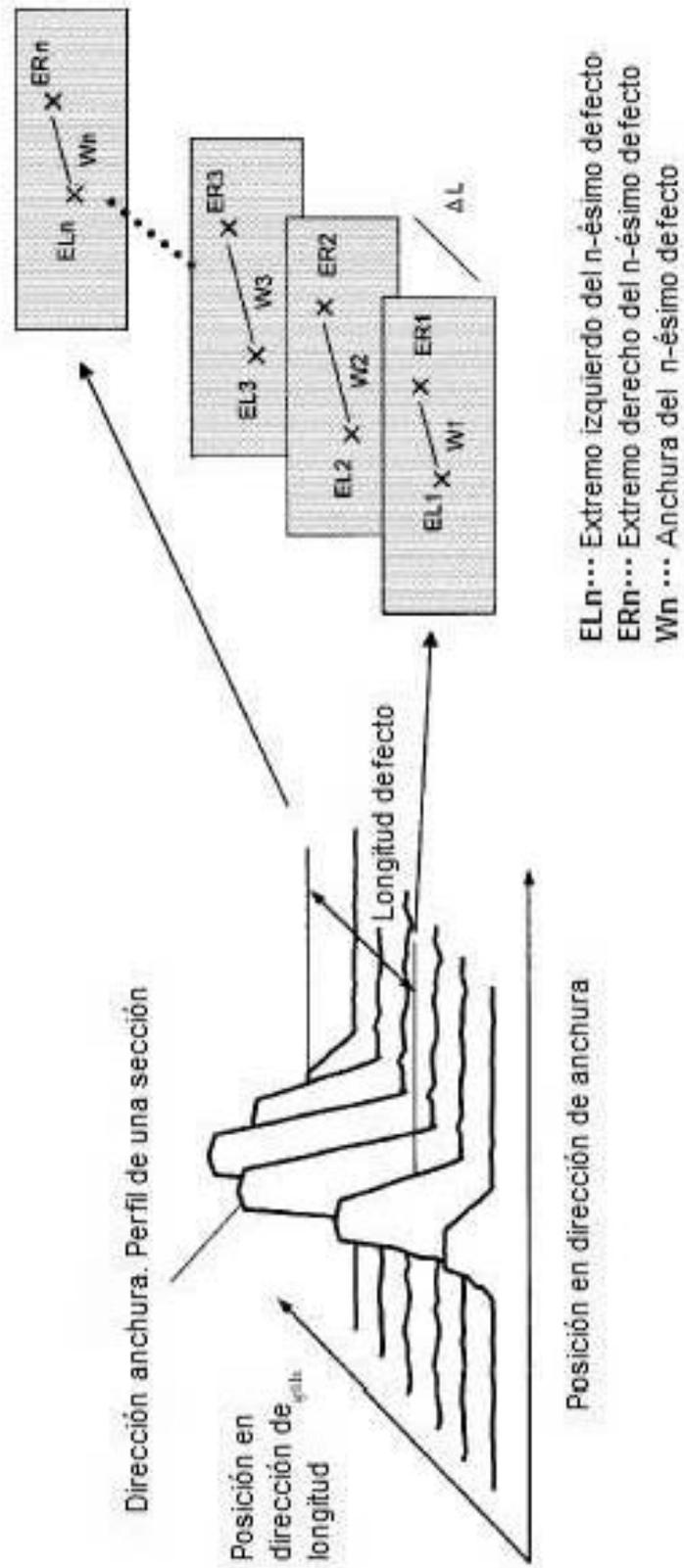


Fig. 8

