

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 873 224**

51 Int. Cl.:

G01S 7/52 (2006.01)

G01N 29/34 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

G01N 29/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2014 E 14185307 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.03.2021 EP 2853914**

54 Título: **Dispositivo detector de ultrasonido con múltiples formas de pulso**

30 Prioridad:

19.09.2013 GB 201316656

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

03.11.2021

73 Titular/es:

**DOLPHITECH AS (100.0%)
Studievegen 16
2815 Gjøvik, NO**

72 Inventor/es:

**SALBERG, ARNT-BØRRE;
SKOGLUND, ESKIL y
BAARSTAD, TORE**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 873 224 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

Dispositivo detector de ultrasonido con múltiples formas de pulso

5 Esta invención se refiere a un aparato detector que emite señales de ultrasonido en una muestra, recibe reflexiones de esas señales de ultrasonido de la muestra y procesa las señales recibidas para detectar las reflexiones.

10 El ultrasonido es una onda de presión sonora oscilante que se puede utilizar para detectar objetos y medir distancias. Una onda de sonido transmitida se refleja y refracta cuando encuentra materiales con diferentes propiedades de impedancia acústica. Si estas reflexiones y refracciones se detectan y analizan, los datos resultantes se pueden utilizar para generar imágenes del entorno a través del cual viajó la onda sonora.

15 Se pueden usar ultrasonidos para identificar características estructurales particulares en un objeto. Por ejemplo, el ultrasonido puede usarse para pruebas no destructivas detectando el tamaño y la posición de los defectos en una muestra. Existe una amplia gama de aplicaciones que pueden beneficiarse de las pruebas no destructivas, que cubren diferentes materiales, profundidades de muestra y tipos de características estructurales, como diferentes capas en una estructura laminada, daños por impacto, perforaciones, etc. Por lo tanto, existe la necesidad de un aparato detector que es capaz de funcionar bien en una amplia gama de diferentes aplicaciones.

20 El documento JP 2010 060520 describe un método para modular y demodular ondas ultrasónicas que tiene como objetivo eliminar componentes de ruido.

25 Cincotti G et al, "Efficient transmit beamforming in pulse-echo ultrasonic imaging", transacciones IEEE en ultrasonidos, ferroeléctricos y control de frecuencia, 46, 6, (XP011438016) describe la apertura de ventanas en el modo de transmisión variando la longitud del pulso eléctrico de un elemento a otro.

De acuerdo con una realización, se proporciona un aparato detector según se reivindica en la reivindicación 1.

30 La plantilla de pulso (i) puede generar una señal de respuesta en la que la relación entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten de un solo pulso.

35 La plantilla de pulso (i) puede generar una señal de respuesta en la que la diferencia entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten de un solo pulso.

40 La plantilla de pulso (ii) puede generar una señal de respuesta en la que la relación entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

La plantilla de pulso (ii) puede generar una señal de respuesta en la que la diferencia entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

45 La plantilla de pulso (iii) puede generar una señal de respuesta en la que la relación entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

50 La plantilla de pulso (iv) puede generar una señal de respuesta en la que la relación entre la amplitud de su pico primario y la energía absoluta media comprendida en sus lóbulos laterales es mayor que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

55 Las plantillas de pulso predefinidas pueden incluir: (v) una plantilla de pulso que genera una señal de respuesta que tiene una FFT que tiene un intervalo de frecuencia ocupado con una amplitud que está por encima de un cierto valor pero que es menor que la amplitud de cualquier intervalo de frecuencia ocupado por encima del valor determinado en las FFT de las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

Uno o ambos pulsos (iii) y (iv) pueden consistir en un solo pulso.

60 El aparato detector puede comprender un dispositivo de entrada de usuario configurado para recibir una entrada de usuario para seleccionar una de las plantillas de pulso predefinidas que se aplicará al transceptor.

El detector puede configurarse para comparar la señal recibida con una señal de referencia que se selecciona dependiendo de la plantilla de pulso seleccionada.

65 El detector puede configurarse para comparar la señal recibida con un filtro de coincidencia.

Las plantillas de pulsos predefinidas pueden incluir una plantilla de pulsos que consiste de dos o más pulsos de la misma longitud.

- 5 Las plantillas de pulsos predefinidas pueden incluir una plantilla de pulsos que consiste de dos o más pulsos en los que la longitud de uno de esos pulsos es diferente de la longitud de al menos otro de esos pulsos.

Las plantillas de pulso predefinidas incluyen una plantilla de pulso que consiste de una sola etapa.

- 10 De acuerdo con una segunda realización, se proporciona un método de fabricación de un aparato detector según se reivindica en la reivindicación 15.

La sustancia de prueba puede ser aire. La sustancia de prueba puede ser un sólido.

- 15 El método puede comprender la selección de dos o más plantillas de pulso predefinidas para el aparato detector accionando cada una de las plantillas de pulso predefinidas en dos o más sustancias de prueba diferentes y seleccionando, para cada sustancia de prueba, una plantilla de pulso predefinida que funcionó mejor contra el criterio de selección.

- 20 El método puede comprender seleccionar dos o más plantillas de pulso predefinidas para el aparato detector comparando la señal de respuesta para cada plantilla de pulso predefinida con dos o más criterios de selección diferentes y seleccionando, para cada criterio de selección, una plantilla de pulso predefinida que funcionó mejor con ese criterio.

- 25 El método puede comprender producir materialmente el aparato almacenando la plantilla de pulso seleccionada en una memoria del aparato detector.

La presente invención se describirá ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos:

- 30 Las Figuras 1a a h muestran ejemplos de diferentes plantillas de pulsos;

La Figura 2 muestra un ejemplo de un transceptor de ultrasonidos;

La Figura 3 muestra un ejemplo de un aparato detector;

- 35 Las Figuras 4a a c muestran un ejemplo de una señal de ultrasonido, un filtro de coincidencia y una señal de respuesta;

La Figura 5 muestra un ejemplo de un proceso de diseño y fabricación;

- 40 La Figura 6 muestra un ejemplo de un aparato detector de mano; y

La Figura 7 muestra un ejemplo de cómo activar múltiples líneas de transmisión en un transductor de ultrasonido.

- 45 Un aparato detector tiene un transceptor de ultrasonidos para transmitir señales de ultrasonidos a una muestra y recibir reflexiones de esas señales de la muestra. El aparato detector también incluye un detector para detectar las reflexiones. El proceso de detección se hace más sencillo si las señales de ultrasonido tienen alguna forma predefinida para que el detector sepa aproximadamente cómo deberían verse las reflexiones. El aparato detector tiene un controlador, que es capaz de generar una plantilla de pulso predefinida para ser utilizada por el transceptor en la generación de la señal de ultrasonido, de modo que la señal de ultrasonido resultante consiste en pulsos cuya forma es al menos aproximadamente conocida por el aparato detector.

- 50 El detector detecta reflexiones comparando la señal recibida con una señal de referencia. Este proceso genera una señal de respuesta, que comprende valores en función del tiempo que representan el grado de la coincidencia entre la señal recibida y la señal de referencia en el tiempo respectivo. El detector puede usar la señal de respuesta para determinar cuándo se recibió una reflexión en el transceptor y también alguna medida de la energía de la señal comprendida en esa reflexión. Ambas medidas son útiles para el aparato, ya que indican el tiempo de vuelo de la reflexión (por lo tanto, ¿a qué profundidad de la muestra se encuentra localizada la característica estructural que desencadenó la reflexión?) y también puede dar una indicación del tipo de material a través del cual ha viajado la reflexión.

- 60 Es probable que la información recopilada por el aparato detector sea más precisa cuanto más exactamente el detector detecte las reflexiones. La forma exacta de las señales de ultrasonido transmitidas es, en la práctica, conocida sólo aproximadamente por el detector porque las plantillas de pulso inevitablemente sufren algunos cambios no cuantificables al ser convertidas en una señal analógica y luego emitidas como una señal de ultrasonido. Los inventores han encontrado a través de la experimentación práctica que algunas formas de pulso se detectan con mayor precisión que otras, y también que el rendimiento de una forma de pulso particular puede variar dependiendo

del tipo de material en la muestra y la característica estructural que se está escaneando. Los experimentos también han indicado que, aunque algunas formas de pulso producen diferentes salidas en el aparato de escaneo, otras formas de pulso producen salidas que son virtualmente indistinguibles entre sí. En las Figuras 1 (a) a (h) se muestran ejemplos de diferentes plantillas de pulsos e incluyen plantillas que consisten de un solo pulso, o más de un pulso, de varias duraciones. También es posible que una plantilla de pulsos consista en una única "etapa" de bajo a alto o de alto a bajo. Un pulso puede incluir tanto una etapa creciente como una decreciente.

Preferiblemente, un aparato detector está provisto de dos o más plantillas de pulsos diferentes de modo que pueda seleccionarse una plantilla de pulsos adecuada para la muestra particular. Las plantillas de pulsos se comportan preferiblemente: (a) de manera diferente entre sí; y (b) óptimamente para una aplicación prevista del aparato de escaneo, lo que implica que se necesitan criterios de selección específicos. Los inventores han encontrado que el rendimiento de una plantilla de pulso particular se puede predecir calculando una serie de métricas diferentes basadas en una señal de respuesta que genera la plantilla de pulso cuando se acciona al aire o una muestra de prueba. Por lo tanto, el controlador del aparato detector se configura preferiblemente para generar una pluralidad de plantillas de pulso predefinidas que incluyen al menos dos de los siguientes:

i) una plantilla de pulso que consiste de un solo pulso y que, cuando el transceptor está siendo accionado al aire, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulsos predefinidas que consisten de un solo pulso;

ii) una plantilla de pulso que consiste de dos o más pulsos y que, cuando el transceptor está siendo accionado al aire, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas;

iii) una plantilla de pulso que, cuando el transceptor se acciona en un sólido, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas; y

iv) una plantilla de pulso que genera una señal de respuesta que tiene una mayor proporción de su energía en un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

Para ilustrar las diferencias entre las diferentes plantillas de pulsos: la plantilla de pulsos (i) funciona particularmente bien para placas de carbón delgadas; la plantilla de pulso (ii) funciona particularmente bien para obtener imágenes de pozos (pero también funciona bien en daños por impacto y otras aplicaciones); la plantilla de pulso (iii) funciona particularmente bien para obtener imágenes de daños por impacto (pero también funciona bien en pozos y otras aplicaciones); y la plantilla de pulsos (iv) funciona particularmente bien para muestras metálicas o similares al metal.

El aparato se describirá ahora con más detalle con referencia a un ejemplo particular. Esto es solo con fines ilustrativos, y debe entenderse que el aparato no se limita a ninguna característica específica de este ejemplo.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de un transceptor de ultrasonidos. El acoplamiento 201 seco puede estar formado por un elastómero o cualquier otro material adecuado. La superficie exterior del acoplamiento seco se aplica a una muestra cuando se van a realizar las pruebas. Detrás del acoplamiento seco hay un transductor laminado 202. Éste está comprendido de los circuitos del transmisor 203 y del receptor 204 que están formados respectivamente de cobre depositado sobre una película de poliimida. Cada capa de cobre puede formar una serie de electrodos. Los electrodos podrían también estar formados por otros materiales, como el oro, por ejemplo. Una capa de material 205 piezoeléctrico (PVDF en este ejemplo) se intercala entre las capas de cobre. Esta capa genera señales de ultrasonido cuando se envía un tren de pulsos de alto voltaje en el electrodo transmisor, lo que hace que la capa piezoeléctrica comience a vibrar y emita una onda ultrasónica. En otros ejemplos, el transductor podría no comprender las capas de película adhesiva o base. Los electrodos pueden depositarse directamente sobre la capa piezoeléctrica.

El tren de pulsos de alto voltaje se genera usando una plantilla de pulsos. Normalmente, la plantilla de pulsos es una señal digital que luego el conductor convierte en un tren de pulsos analógico de alto voltaje. Esta conversión puede introducir pequeños cambios en las formas de los pulsos. Además, los tiempos de subida y bajada y el retardo de transmisión del transmisor suelen ser específicos del transceptor y se desconocen en gran medida debido a la capacidad de respuesta desconocida de la capa piezoeléctrica al tren de pulsos de alto voltaje. Éstas son dos de las razones por las que es difícil optimizar el rendimiento del aparato utilizando solo la forma de la plantilla de pulso, porque esa plantilla de pulso inevitablemente no será exactamente lo que se transmite como un pulso de ultrasonido. Por lo tanto, es preferible seleccionar plantillas de pulso particulares basadas en su desempeño real de acuerdo con métricas cuantificables.

En un ejemplo, los circuitos transmisor y receptor comprenden una pluralidad de electrodos alargados depositados en líneas paralelas sobre una capa base flexible. Los circuitos del transmisor y del receptor se pueden laminar juntos. Ellos pueden disponerse de modo que sus respectivos electrodos se superpongan en ángulos rectos para formar un patrón de intersección. Las intersecciones forman una variedad de elementos transductores.

El número de electrodos transmisores y receptores es escalable. Por tanto, los transductores pueden diseñarse de cualquier tamaño y forma deseados. El ancho del electrodo también es escalable para ajustar la cantidad de salida de energía por electrodo. El ancho del electrodo también se puede ajustar dependiendo del enfoque deseado. También se podría variar la distancia entre los electrodos. Generalmente, se prefiere tener pequeños espacios entre los electrodos vecinos para maximizar la energía de los ultrasonidos estimulando un área lo más grande posible de la capa piezoeléctrica. El grosor de los electrodos se puede elegir para controlar factores como la frecuencia, la energía y el foco del haz. El grosor de la película base se puede elegir para controlar factores como la forma, la frecuencia y la energía de la señal. El espesor de PVDF también se puede adaptar para cambiar la forma, la frecuencia y la energía de la señal (que también dependen de la forma del pulso de transmisión). El espesor del acoplamiento seco se puede adaptar para crear un desfase de tiempo particular entre la transmisión de los pulsos de ultrasonido y la recepción de las reflexiones de la muestra.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de un aparato detector. En este ejemplo, el transmisor y el receptor se implementan mediante un transductor 301 de ultrasonidos, que comprende una serie de matrices de elementos 312 transductores. Estos elementos transductores forman la superficie del receptor. Los electrodos transmisores están conectados al controlador 302, que suministra una plantilla de pulso a un electrodo particular. El control 304 del transmisor selecciona los electrodos transmisores que se activarán. Los electrodos receptores detectan las ondas sonoras que emite el objeto. El módulo receptor 306 recibe y amplifica estas señales.

El transmisor puede transmitir los pulsos de sonido usando señales que tienen frecuencias entre 100 kHz y 30 MHz, preferiblemente entre 1 y 15 MHz y lo más preferiblemente entre 2 y 10 MHz.

El módulo 303 de selección de pulsos y el generador 313 de pulsos operan bajo el control del controlador. El módulo de selección de pulsos selecciona la forma de pulso particular que se va a transmitir. Por lo general, esta selección se basará en la entrada del usuario, pero ésta podría ser hecha automáticamente por el aparato dependiendo de una aplicación particular (por ejemplo, una característica estructural particular a escanear) o un material de la muestra. El generador de pulsos suministra al módulo transmisor un patrón de pulsos analógicos que el transductor convertirá en pulsos ultrasónicos. El módulo de selección de pulsos puede tener acceso a una pluralidad de plantillas de pulsos predefinidas almacenadas en la memoria 314.

El aparato transmite y recibe alternativamente. Al configurar una línea de recepción y transmitir un pulso en una línea de transmisión, se genera una onda acústica en el área de superposición (el elemento transductor). Esta onda de sonido viaja a través de una almohadilla de acoplamiento y entra en el material para su inspección. La reflexión de la onda de sonido es captada por la misma línea de recepción que se configuró durante la transmisión. Las líneas de transmisión pueden activarse individualmente por turno. Otra opción es que las líneas de transmisión se activen en grupos, lo que proporciona más energía de ultrasonido y puede proporcionar un mejor enfoque a ciertas profundidades. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 7: cada operación de transmisión activa una pluralidad de líneas de transmisión y cada operación de transmisión en la secuencia se superpone a la secuencia anterior por al menos una línea de transmisión. Las operaciones de transmisión progresan línea por línea de modo que cada operación de transmisión es una operación de transmisión más a través de la matriz que la operación anterior. Cada elemento del transductor de ultrasonido puede obtener de 2 a 4 series de tiempo mediante mediciones repetidas. Cada una de estas series de tiempo puede procesarse de acuerdo con los métodos de procesamiento de señales que se describen a continuación.

El detector 305 procesa las señales de ultrasonido recibidas, detecta pulsos de sonido reflejados y extrae información relevante de las reflexiones. El detector puede implementarse mediante un procesador de señales. La señal está adecuadamente seleccionada en el tiempo para que el procesador de señales solo detecte y procese reflexiones desde las profundidades de interés. La selección en el tiempo puede ser ajustable, preferiblemente por un usuario, de modo que el operador pueda enfocarse en un rango de profundidad de interés. El intervalo de profundidad es preferiblemente de 0 a 20 mm y lo más preferiblemente de 0 a 15 mm. El procesador de señales puede recibir una señal diferente de cada ubicación en la superficie del receptor, por ejemplo, en cada elemento transductor. El procesador de señales puede analizar estas señales secuencialmente o en paralelo.

El procesador de señales detecta adecuadamente los pulsos reflejados comparando la señal recibida con una señal de referencia. La señal de referencia puede ser representativa de la plantilla de pulso seleccionada. Hay varias formas de lograr esto. Un método preferido es utilizar un filtro de coincidencia correspondiente a la plantilla de pulso seleccionada (a continuación, se proporciona más información sobre cómo se puede generar el filtro de coincidencia). El aparato puede disponerse para acumular y promediar varias muestras sucesivas en la muestra entrante para reducir el ruido antes de realizar el filtrado. La unidad de análisis utiliza el filtro de coincidencia para determinar con precisión cuándo se recibió el pulso de sonido reflejado. El procesador de señales realiza la extracción de características para capturar la amplitud máxima de la señal filtrada y el tiempo en el que ocurre esa amplitud máxima. El procesador de señales también puede extraer información de fase y energía.

El procesador de señales es preferiblemente capaz de reconocer múltiples picos en cada señal recibida. Puede determinar que se ha recibido una reflexión cada vez que la salida del filtro de coincidencia supera un umbral predeterminado. Puede identificar una amplitud máxima para cada reflexión reconocida.

Los ejemplos de una señal de ultrasonidos $s(n)$ y un filtro de coincidencia correspondiente $p(n)$ se muestran en las Figuras 4a y b respectivamente. La señal de ultrasonido $s(n)$ es una reflexión de un pulso transmitido contra el aire. Los valores absolutos de la serie de tiempo filtrada (es decir, el absoluto de la salida del filtro de coincidencia) para la señal de ultrasonido $s(n)$ y el filtro de coincidencia correspondiente $p(n)$ se muestran en la Figura 4c. Esta es la señal de respuesta. El procesador de señales estima el tiempo de vuelo como el instante de tiempo en el que la amplitud de la serie de tiempo filtrada es máxima. En este ejemplo, la estimación del tiempo de vuelo es en el instante 64 de tiempo.

En una realización, el aparato puede amplificar la señal filtrada antes de extraer los valores máximos de amplitud y tiempo de vuelo. Esta amplificación puede realizarla el procesador de señales. La amplificación también puede estar controlada por un procesador diferente o FPGA. En un ejemplo, la ganancia corregida en el tiempo es una amplificación analógica. Esto puede compensar cualquier reducción en la amplitud causada por el viaje del pulso reflejado de regreso al receptor. Una forma de hacerlo es aplicar una ganancia con corrección de tiempo a la señal filtrada. La amplitud con la que un material refleja un pulso de sonido depende de las cualidades de ese material (por ejemplo, su impedancia acústica). La ganancia corregida en el tiempo puede (al menos en parte) restaurar la señal al aspecto que tendría cuando se reflejó por primera vez. La imagen resultante debería reflejar con mayor precisión las propiedades del material de la característica estructural que reflejó el pulso. La imagen resultante también debería reflejar con mayor precisión cualquier diferencia entre las propiedades del material de las características estructurales del objeto.

El módulo de construcción de imágenes puede configurarse para recibir entrada de usuario desde el módulo 313 de entrada de usuario. Las imágenes generadas se envían a la pantalla 311, que puede estar contenida en el mismo dispositivo o carcasa que los otros componentes o en un dispositivo o carcasa independiente. La pantalla puede estar vinculada a los otros componentes a través de un enlace cableado o inalámbrico.

Una parte o la totalidad del módulo de construcción de imagen y el módulo de mejora de imagen podrían estar comprendidos dentro de un dispositivo o carcasa diferente de los componentes del transmisor y receptor, por ejemplo, en una tableta, PC, PDA u otro dispositivo informático. Sin embargo, para nosotros es preferible que el procesamiento de la imagen se realice en la carcasa del transmisor/receptor tanto como sea posible (ver, por ejemplo, el dispositivo 601 de mano en la Figura 6).

El módulo de construcción de imágenes puede generar varias imágenes diferentes utilizando la información recopilada por el procesador de señales. Se puede utilizar cualquiera de las características extraídas por el procesador de señales de la señal recibida. Normalmente, las imágenes representan tiempo de vuelo, energía, amplitud y/o fase. El módulo de construcción de imágenes puede asociar cada píxel en una imagen con una ubicación particular en la superficie del receptor de modo que cada píxel represente una reflexión que se recibió en la ubicación asociada del píxel.

El módulo de construcción de imágenes puede generar una imagen a partir de la información recopilada utilizando un solo pulso transmitido. El módulo de construcción de imágenes puede actualizar esa imagen con información recopilada de pulsos sucesivos. El módulo de construcción de imágenes puede generar una trama promediando la información para esa trama con una o más tramas previas para reducir el ruido espurio. Esto se puede hacer calculando la media de los valores relevantes que forman la imagen.

La selección de las plantillas de pulsos para el aparato detector podría ser realizada por el propio aparato. El aparato puede tener muchas plantillas de pulsos disponibles, que puede probar a su vez. Este tipo de proceso de calibración podría requerir la participación de un usuario, por ejemplo, disparando el aparato detector contra el aire y luego contra una muestra sólida de material apropiado. Sin embargo, es más conveniente que la selección de la plantilla de pulsos forme parte de un proceso de diseño y fabricación que produce un aparato detector como resultado final. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de dicho proceso.

En la etapa S501 de la Figura 5 se genera una pluralidad de plantillas de pulsos para probar. Cada plantilla de pulso puede contener uno o más pulsos individuales, que pueden tener diferentes formas, amplitudes y duraciones. En la Figura 1 se muestran varios ejemplos. Como ejemplo, la plantilla de pulsos que se muestra en la Figura 1(h) consiste de dos pulsos digitales separados. Las distancias a, b y c representan las duraciones respectivas del primer pulso, el segundo pulso y el tiempo entre los dos pulsos. Puede generarse un gran número de plantillas de pulso diferentes haciendo variar "a", "b" y "c". Por ejemplo, con un reloj de 64 MHz, "a" y "b" pueden variar entre 4 y 15 ciclos de reloj y "c" puede variar entre 6 y 15 ciclos de reloj. En la etapa S502, cada una de las plantillas de pulsos se prueba a su vez. Cada plantilla de pulso puede pasar por múltiples rondas de prueba diferentes, como se describe con más detalle a continuación. Las pruebas pueden implicar conducir las plantillas de pulso a diferentes sustancias, como aire o un sólido de un material apropiado. La señal de respuesta de cada prueba se cuantifica de acuerdo con varias métricas diferentes (etapa S503). A continuación, se analizan los resultados a través de todas las plantillas de pulso y todas las rondas de prueba (etapa S504) y se seleccionan las plantillas de pulso óptimas para el aparato detector (etapa S505). Las plantillas de pulso óptimas dependerán normalmente de las aplicaciones para las que está destinado el aparato. En la etapa S506, el aparato detector se fabrica para que tenga la capacidad de generar las plantillas de pulso seleccionadas.

El proceso de diseño puede implicar el uso de un aparato detector como el descrito anteriormente para evaluar el rendimiento relativo de las diferentes plantillas de pulsos frente a los diferentes criterios de selección. Esto ayuda a dar una impresión precisa de cómo se comportarán las plantillas de pulso en la práctica cuando las genere uno de los aparatos de detección. Sin embargo, es probable que el proceso de diseño incorpore potencia de procesamiento adicional en forma de ordenadores, etc., de modo que se pueda evaluar un gran número de plantillas de pulsos diferentes con razonable rapidez.

Una etapa adicional que puede incorporarse en el método de selección es una etapa de generar filtros de coincidencia correspondientes a las diferentes plantillas de pulso. El filtro de coincidencia idealmente debería tener una forma similar a una reflexión de la plantilla de pulso transmitido. La forma exacta de la reflexión normalmente no se conoce de antemano (por ejemplo, porque el pulso transmitido no tendrá exactamente la misma forma que la plantilla de pulso, como se explicó anteriormente). Una posibilidad es llevar a cabo simulaciones para predecir la forma de las reflexiones. Otra opción es observar la forma de las reflexiones en la práctica. Por ejemplo, la plantilla de pulsos puede accionarse en una muestra. Esa muestra tiene adecuadamente una profundidad conocida de modo que se conoce el momento en el que se puede esperar la reflexión. A continuación, puede seleccionarse una sección de la señal recibida para representar la reflexión de la plantilla de pulsos. Una sección adecuada podría tener, por ejemplo, 64 muestras de longitud. Esta sección forma la base del filtro de coincidencia para esa plantilla de pulso. En un ejemplo, los coeficientes para el filtro de coincidencia pueden cuantificarse a la potencia de dos más cercana para que las operaciones de multiplicación se puedan reducir a operaciones binarias simples de desplazamiento a la izquierda.

En un ejemplo, puede haber tres rondas de prueba. En la primera ronda, el ultrasonido generado usando plantillas de pulsos que tienen cualquier número de pulsos se dispara hacia el aire y se selecciona la "mejor" plantilla de pulsos de acuerdo con cualquier criterio deseado. En la segunda ronda, las señales de ultrasonido se disparan nuevamente hacia el aire, pero en este caso las plantillas de pulso están restringidas a aquellas que consisten en un solo pulso. En la tercera ronda, el ultrasonido generado usando plantillas de pulsos que tienen cualquier número de pulsos se dispara a una muestra. La muestra es adecuadamente del mismo material o de un material similar al que se espera utilizar en el futuro aparato. Normalmente, la reflexión que se prueba con los criterios de selección es la reflexión de la pared posterior de la muestra sólida. El momento en el que se espera esa reflexión se suele conocer de antemano ya que se conocerá el grosor de la muestra, así como la velocidad del sonido en ese material.

Los criterios contra los cuales se evalúan las plantillas de pulso pueden incluir uno o más de los siguientes, según se aplique a la reflexión recibida:

- Relación entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud absoluta máxima del lóbulo lateral.
- La diferencia entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud absoluta máxima del lóbulo lateral.
- La diferencia entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud absoluta máxima del lóbulo lateral, normalizada con la raíz cuadrada media (RMS) de los coeficientes de filtro de coincidencia.
- La amplitud del lóbulo principal dividida por la energía absoluta media de todos los lóbulos laterales.
- La amplitud del lóbulo principal dividida por la amplitud absoluta promedio de todos los lóbulos laterales.
- La amplitud del lóbulo principal menos la amplitud absoluta promedio de todos los lóbulos laterales, normalizada con el RMS de los coeficientes de filtro de coincidencia.
- La relación señal-ruido (SNR), es decir, la amplitud del lóbulo principal dividida por el RMS de los coeficientes del filtro.
- El ancho de banda de la señal. Esto se puede calcular utilizando la derivada de una aproximación de ranura suavizada de la señal de ultrasonido.
- La varianza del tiempo de vuelo estimado.
- La amplitud más baja de cualquier intervalo de frecuencia ocupado en una FFT realizada en la señal de respuesta. Este criterio puede modificarse estableciendo un umbral mínimo de modo que la plantilla de pulso seleccionada sea la que tenga un intervalo de frecuencia ocupado que tenga la amplitud más baja por encima del umbral mínimo en lugar de la amplitud más baja per se. Por lo tanto, la plantilla de pulso seleccionada es la que tiene el pico de amplitud más bajo por encima de un cierto valor, donde el cierto valor es cero o superior.

Un esquema que aplica criterios basados en imágenes, es decir, criterios relacionados con la calidad de la imagen de ultrasonido procesada, como ruido, grado de desenfoque, etc.

Las variaciones de los criterios anteriores solo pueden considerar lóbulos laterales positivos. (por ejemplo, "la relación entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud máxima del lóbulo lateral positivo") también podría usarse. Otras

opciones es combinar dos o más plantillas y filtros de pulsos. Por ejemplo, una plantilla de pulso puede transmitirse y filtrarse con un filtro correspondiente, luego puede transmitirse y filtrarse una segunda plantilla de pulso diferente con el filtro de coincidencia correspondiente. A continuación, se promedian las dos series de tiempo filtradas y los criterios se calculan sobre la serie de tiempo promediada. Este esquema busca el mejor par de pulsos para cada criterio.

5 En general, las plantillas de pulsos que funcionan bien frente a los criterios que miden la prominencia del pico primario tienden a funcionar bien en la práctica. Los primeros siete criterios enumerados anteriormente pertenecen a esta categoría. Las plantillas de pulso que muestran una alta proporción de su energía en el pico primario (un criterio que también es miembro de la categoría de “prominencia”) tienden a funcionar particularmente bien en la práctica. Fuera de la categoría “prominencia”, se han obtenido buenos resultados con plantillas de pulso que funcionan bien de acuerdo con el criterio “FFT”.

10 Un aparato detector de acuerdo con una realización de la invención es capaz de usar dos o más plantillas de pulsos diferentes. Para que el aparato detector sea adaptable a diferentes aplicaciones, esas plantillas de pulsos se seleccionan preferiblemente de acuerdo con diferentes criterios. El aparato detector descrito anteriormente es capaz de generar al menos dos plantillas de pulsos, pero también podría ser capaz de generar igualmente tres, cuatro o más plantillas de pulsos.

15 Como ejemplo, se seleccionaron las siguientes ocho plantillas de pulso durante las tres rondas de prueba descritas anteriormente:

20 - Plantilla de pulso 1: la plantilla de pulso que generó la relación más alta entre el lóbulo principal y el lóbulo lateral en la ronda 1.

25 - Plantilla de pulso 2: la plantilla de pulso que generó la mayor diferencia entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud del lóbulo lateral en la ronda 1.

- Plantilla de pulso 3: la plantilla de pulso que generó la SNR más alta en la ronda 1.

30 - Plantilla de pulso 4: la plantilla de pulso que generó la relación más alta entre la amplitud del lóbulo principal y la energía absoluta media de todos los lóbulos laterales en la ronda 1.

- Plantilla de pulso 5: la plantilla de pulso que generó la relación más alta entre el lóbulo principal y el lóbulo lateral en la ronda 2.

35 - Plantilla de pulso 6: la plantilla de pulso que generó la mayor diferencia entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud del lóbulo lateral en la ronda 2.

40 - Plantilla de pulso 7: la plantilla de pulso que generó la mayor diferencia entre la amplitud del lóbulo principal y la amplitud del lóbulo lateral en la ronda 3 (en este ejemplo, el sólido era un CFRP (polímero reforzado con fibra de carbono)).

- Plantilla de pulso 8: la plantilla de pulso que generó la FFT con el intervalo de frecuencia ocupado de menor amplitud.

45 El rendimiento de una plantilla de pulso particular puede evaluarse en la práctica en función de la calidad de las imágenes que genera. Hasta cierto punto, esto es subjetivo, pero hay varias evaluaciones cualitativas que se pueden hacer de la calidad de la imagen, como si una característica estructural que tiene dimensiones particulares o ubicada a una profundidad particular es visible en la imagen, y con qué precisión la ubicación y el tamaño de una característica estructural dentro de una muestra se puede determinar a partir de la imagen. Se ha encontrado que algunas plantillas de pulsos producen salidas que son virtualmente indistinguibles entre sí (por ejemplo, las plantillas de pulsos que funcionan “mejor” de acuerdo con diferentes criterios de “prominencia” en una ronda de prueba particular generalmente funcionan de manera similar en la práctica). Preferiblemente, un aparato detector es capaz de generar plantillas de pulsos que realmente funcionan de manera diferente en la práctica (además de haber sido seleccionadas de acuerdo con diferentes criterios).

50 Para volver al ejemplo anterior, las ocho plantillas de pulso seleccionadas tendían a agruparse en términos de su rendimiento práctico: (i) las plantillas de pulso 1 y 2 funcionan de manera similar y funcionan particularmente bien para obtener imágenes de daños por impacto, pero también para pozos y otras aplicaciones; (ii) las plantillas de pulso 3, 7 y 8 funcionan de manera similar y funcionan particularmente bien para obtener imágenes de pozos, pero también para daños por impacto y otras aplicaciones; (iii) las plantillas de pulsos 5 y 6 funcionan de manera similar y funcionan particularmente bien para placas de carbón delgadas; (iv) la plantilla de pulsos 4 es la más diferente de las otras plantillas y funciona mejor en metales o materiales similares a los metales. Un aparato capaz de generar dos o más de: (i) la plantilla de pulso 1 o 2; (ii) cualquiera de las plantillas de pulsos 3, 7 u 8; (iii) plantilla de pulso 5 o 6; y (iv) se ha encontrado que la plantilla 4 de pulsos tiene una buena variedad de plantillas de pulsos para aplicaciones automotrices/aeroespaciales. Un aparato puede producir tres o los cuatro últimos grupos (i) a (iv).

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un dispositivo de mano para obtener imágenes debajo de la superficie de un objeto. El dispositivo 601 podría tener una pantalla integrada, pero en este ejemplo emite imágenes a una tableta 602. El dispositivo también podría emitir a cualquier pantalla adecuada, incluyendo una PC, ordenador portátil, PDA, pantallas portátiles, etc. La conexión con un dispositivo independiente podría ser cableado, como se muestra, o inalámbrico. El dispositivo tiene una serie 603 de matrices para transmitir y recibir señales de ultrasonido. De manera adecuada, la serie se implementa mediante un transductor de ultrasonidos que comprende una pluralidad de electrodos dispuestos en un patrón de intersección para formar una serie de elementos transductores. Los elementos transductores pueden conmutarse entre transmisión y recepción. El aparato de mano comprende una capa 604 de acoplamiento seca para acoplar señales de ultrasonidos en el objeto. La capa de acoplamiento seco también retrasa las señales de ultrasonido para dar tiempo a que los transductores pasen de transmitir a recibir. Una capa de acoplamiento seca ofrece una serie de ventajas sobre otros sistemas de formación de imágenes, que tienden a utilizar líquidos para acoplar las señales de ultrasonido. Esto puede resultar poco práctico en un entorno industrial. Si el acoplador de líquido está contenido en una vejiga, como se usa a veces, esto dificulta la obtención de mediciones de profundidad precisas, lo que no es ideal para aplicaciones de pruebas no destructivas.

La serie 603 de matrices es bidimensional, por lo que no es necesario moverla a través del objeto para obtener una imagen. Una serie de matrices típica podría ser de 30 mm por 30 mm, pero el tamaño y la forma de la serie de matrices se pueden variar para adaptarse a la aplicación. El dispositivo puede ser sostenido directamente contra el objeto por el operador. Por lo general, el operador ya tendrá una buena idea de dónde el objeto podría tener fallas o defectos materiales debajo de la superficie; por ejemplo, un componente puede haber sufrido un impacto o puede comprender uno o más huecos de taladro o remache que podrían causar concentraciones de tensión. El dispositivo procesa adecuadamente los pulsos reflejados en tiempo real para que el operador pueda simplemente colocar el dispositivo en cualquier área de interés.

El dispositivo de mano también comprende un dial 605 que el operador puede usar para cambiar la forma del pulso y el filtro de coincidencia correspondiente. La forma de pulso más apropiada puede depender del tipo de característica estructural que se está fotografiando y de dónde se encuentra en el objeto. El operador ve el objeto a diferentes profundidades ajustando la selección en el tiempo a través de la pantalla. Tener la salida del aparato en una pantalla de mano, como una tableta 602, o en una pantalla integrada, es ventajoso porque el operador puede mover fácilmente el transductor sobre el objeto o cambiar la configuración del aparato, dependiendo de lo que esté viendo en la pantalla mostrar y obtener resultados instantáneos. En otras disposiciones, es posible que el operador tenga que caminar entre una pantalla que no sea de mano (como una PC) y el objeto para seguir escaneando cada vez que se va a probar una nueva configuración o ubicación en el objeto.

El aparato y los métodos descritos en el presente documento son particularmente adecuados para analizar la unión, para detectar la desunión y la deslaminación en materiales compuestos tales como polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP). Esto es importante para el mantenimiento de aeronaves. También se puede utilizar para detectar descamación alrededor de los orificios de los remaches, lo que puede actuar como un concentrador de tensión. El aparato es particularmente adecuado para aplicaciones en las que se desea obtener imágenes de un área pequeña de un componente mucho más grande. El aparato es liviano, portátil y fácil de usar. Un operador puede llevarlo fácilmente a mano para colocarlo donde sea necesario en el objeto.

Otra aplicación es la realización de reconocimientos médicos. Se sabe que se examinan pacientes mediante ultrasonido para obtener imágenes de las características del cuerpo del paciente. Por lo general, esto requiere un grado de especialización por parte del operador para ajustar los parámetros operativos del equipo de ultrasonido para desarrollar una imagen confiable. Por ejemplo, el operador puede necesitar ajustar el equipo para tener en cuenta las características del paciente tales como las propiedades de su piel, particularmente la profundidad de la grasa subcutánea del paciente en la región del examen. Al proporcionar un dispositivo de inspección por ultrasonidos que tiene una serie de programas de pulsos predefinidos, del tipo descrito anteriormente, puede ser posible que una persona no especializada realice una inspección por ultrasonidos más confiable. El usuario puede seleccionar de los programas predefinidos uno que produzca resultados aceptables para el paciente en cuestión. El conjunto de programas de pulso descritos en este documento puede ser particularmente útil para obtener imágenes de características asociadas con la piel del paciente, por ejemplo, cánceres de piel, lipomas y lesiones subcutáneas. Dicho sistema puede permitir que las inspecciones por ultrasonido las realice personal de enfermería o médicos generales en lugar de especialistas en imágenes médicas, lo que reduce el costo y la necesidad de biopsias.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato detector que comprende:

5 un transceptor (301) de ultrasonido unitario para transmitir señales de ultrasonido a una muestra y recibir una señal de reflexión de ultrasonido resultante de la muestra;

10 un detector (305) para procesar señales recibidas por el transceptor comparando la señal recibida con una señal de referencia para generar una señal de respuesta, comprendiendo la señal de respuesta valores en función del tiempo que representan el grado de coincidencia entre la señal recibida y la señal de referencia en el tiempo respectivo; y

15 un controlador capaz de generar una pluralidad de plantillas de pulso predefinidas, siendo el controlador operable en una fase de uso para aplicar: una de las seleccionadas de las plantillas de pulso predefinidas al transceptor para conducirlo a transmitir señales de ultrasonido, las seleccionadas de las plantillas de pulsos predefinidas incluyen al menos dos plantillas de pulsos diferentes, cada una de las cuales es diferente de las siguientes:

20 i) una plantilla de pulso que ha sido seleccionada en una fase de preuso que consiste en un solo pulso y que, cuando el transceptor es accionado al aire en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten de un solo pulso;

25 ii) se ha seleccionado una plantilla de pulso en la fase de preuso que consiste de dos o más pulsos y que, cuando el transceptor se acciona al aire en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas;

iii) una plantilla de pulso que ha sido seleccionada en la fase de preuso que, cuando el transceptor está siendo accionado en un sólido en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas; y

30 iv) una plantilla de pulso que ha sido seleccionada en la fase de preuso que, cuando el transceptor es accionado en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor proporción de su energía en un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

35 2. Un aparato detector como se reivindicó en la reivindicación 1, en el que la plantilla de pulsos (i) genera una señal de respuesta en la que:

40 (a) la relación entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten en un solo pulso, y/o

(b) la diferencia entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten en un solo pulso.

45 3. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la plantilla de pulso (ii) genera una señal de respuesta en la que la relación entre la amplitud de su pico primario a la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

50 4. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la plantilla de pulso (ii) genera una señal de respuesta en la que la diferencia entre la amplitud de su pico primario y la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

55 5. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la plantilla de pulso (iii) genera una señal de respuesta en la que la relación de la amplitud de su pico primario a la amplitud de su lóbulo lateral más grande es mayor que en las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

60 6. Aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la plantilla de pulso (iv) genera una señal de respuesta en la que la relación de la amplitud de su pico primario a la energía absoluta media comprendida en sus lóbulos laterales es mayor que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

65 7. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las plantillas de pulso predefinidas incluyen: (v) una plantilla de pulso que genera una señal de respuesta que tiene una FFT que tiene

un intervalo de frecuencia ocupado con una amplitud que está por encima de un cierto valor pero que es menor que la amplitud de cualquier intervalo de frecuencia ocupado por encima del cierto valor en las FFT de las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas.

- 5 8. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un dispositivo (605) de entrada de usuario configurado para recibir una entrada de usuario para seleccionar una de las plantillas de pulso definidas por mineral seleccionadas para aplicar al transceptor (301).
- 10 9. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el detector (305) está configurado para comparar la señal recibida con una señal de referencia que se selecciona dependiendo de la plantilla de pulso seleccionada.
- 15 10. Un aparato detector como se reivindicó en la reivindicación 9, el detector (305) está configurado para comparar la señal recibida con un filtro de coincidencia.
- 20 11. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las plantillas de pulsos predefinidas incluyen una plantilla de pulsos que consiste de dos o más pulsos de la misma longitud.
- 25 12. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las plantillas de pulso predefinidas incluyen una plantilla de pulso que consiste de dos o más pulsos en la que la longitud de uno de esos pulsos es diferente de la longitud de al menos otro de esos pulsos.
- 30 13. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las plantillas de pulsos predefinidas incluyen una plantilla de pulsos que consiste de una sola etapa.
- 35 14. Un aparato detector como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transceptor (301) comprende al menos tres líneas de transmisión y está dispuesto para que las líneas de transmisión se activen en grupos de modo que cada operación de transmisión en una secuencia se superponga a una operación de transmisión previa en la secuencia por al menos una línea de transmisión.
- 40 15. Un método de fabricación de un aparato detector que comprende:
diseñar el aparato, que incluyen:
35 probar, en una fase preuso, una pluralidad de plantillas de pulso predefinidas accionando cada plantilla de pulso predefinida en una sustancia de prueba;
recibir una señal de reflexión de ultrasonido resultante de la sustancia de prueba;
40 comparar la señal recibida con una señal de referencia para generar una señal de respuesta;
comparar la señal de respuesta con un criterio de selección; y
45 seleccionar, como plantillas de pulso predefinidas que el aparato detector será capaz de utilizar en una fase de uso, dos plantillas de pulso predefinidas, cada una de las cuales es diferente de las siguientes:
50 i) una plantilla de pulso que consiste de un solo pulso y que, cuando el transceptor se acciona al aire en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas que consisten de un solo pulso;
ii) una plantilla de pulsos que consiste de dos o más pulsos y que, cuando el transceptor es accionado al aire en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas;
55 iii) una plantilla de pulso que, cuando el transceptor está siendo accionado en un sólido en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una mayor prominencia de un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinida; y
60 iv) una plantilla de pulso que, cuando el transceptor se acciona en la fase de preuso, genera una señal de respuesta que tiene una proporción más alta de su energía en un pico primario que las señales de respuesta generadas por cualquiera de las otras plantillas de pulso predefinidas;
y producir materialmente el aparato así diseñado.
- 65 16. Un método como se reivindicó en la reivindicación 15, en el que la sustancia de prueba es aire.

17. Un método como se reivindicó en la reivindicación 15, en el que la sustancia de prueba es un sólido.

5 18. Un método como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, el método comprende seleccionar dos o más plantillas de pulso predefinidas para el aparato detector accionando cada una de las plantillas de pulso predefinidas en dos o más sustancias de prueba diferentes y seleccionando, para cada sustancia de prueba, una plantilla de pulso predefinida que funcionó mejor con respecto al criterio de selección.

10 19. Un método como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, el método comprende seleccionar dos o más plantillas de pulso predefinidas para el aparato detector comparando la señal de respuesta para cada plantilla de pulso predefinida con dos o más criterios de selección diferentes y seleccionando, para cada criterio de selección, una plantilla de pulso predefinida que funcionó mejor contra ese criterio.

15 20. Un método como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 19, el método comprende producir materialmente el aparato almacenando la plantilla de pulso seleccionada en una memoria del aparato detector.

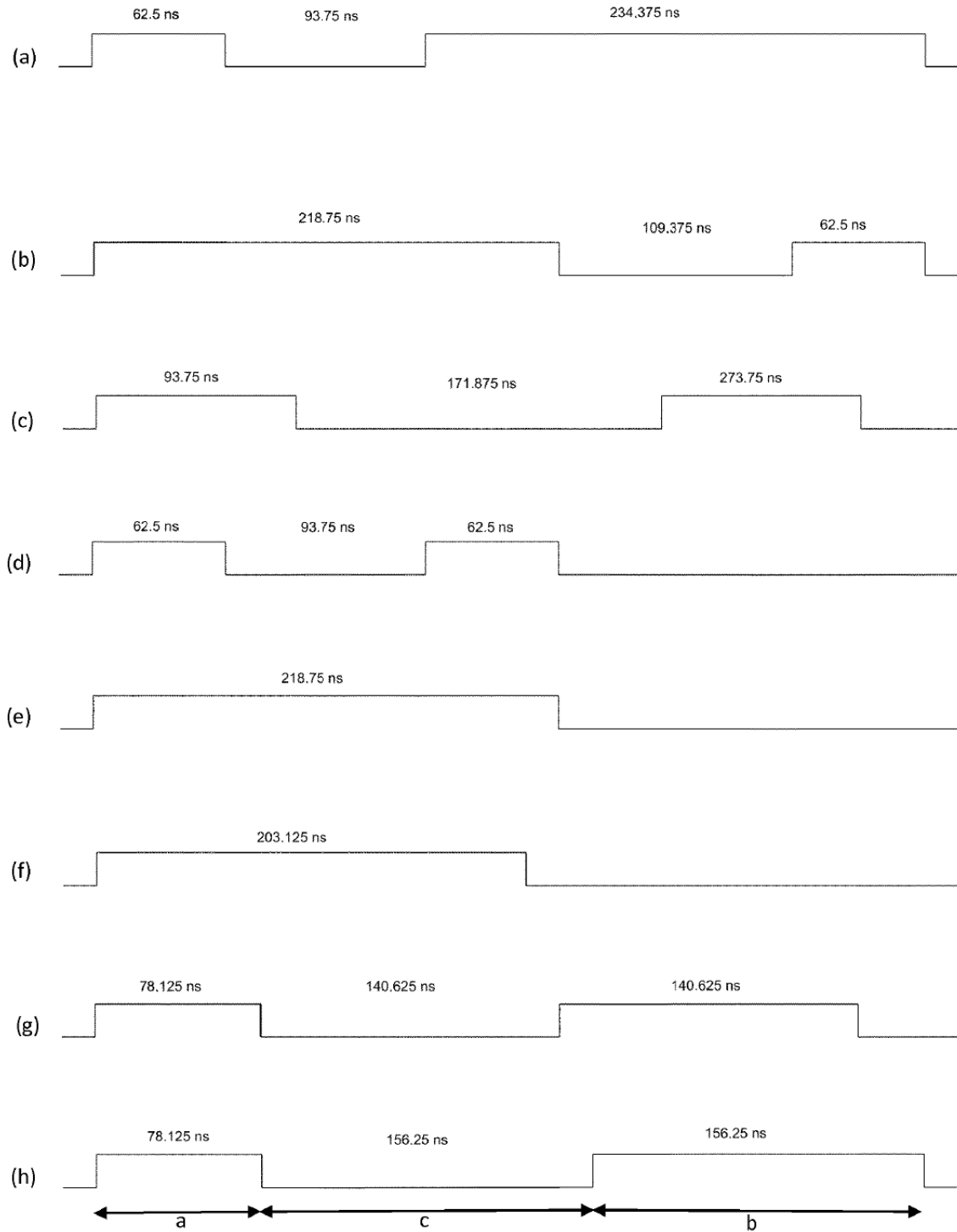


Figura 1

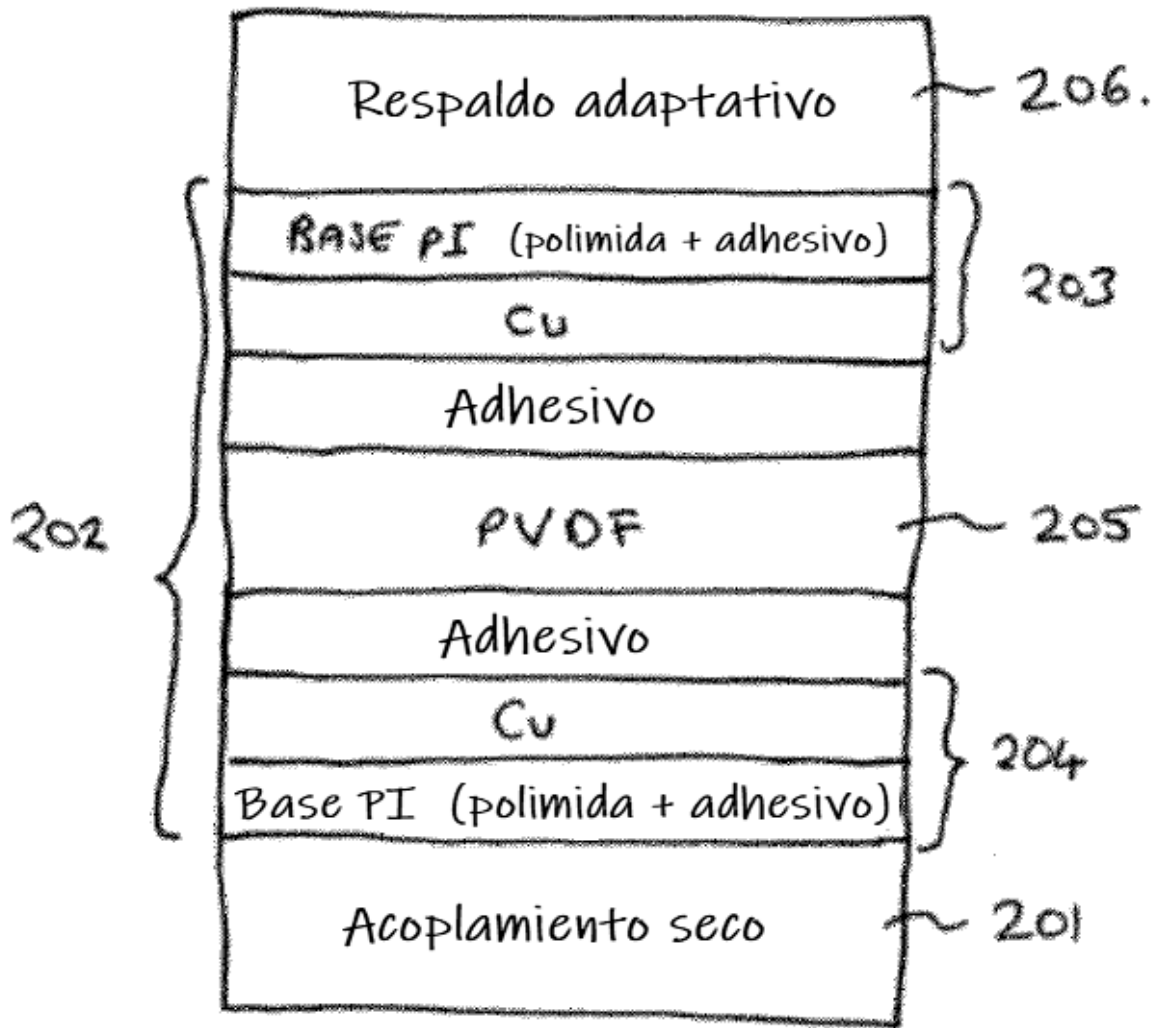


Figura 2

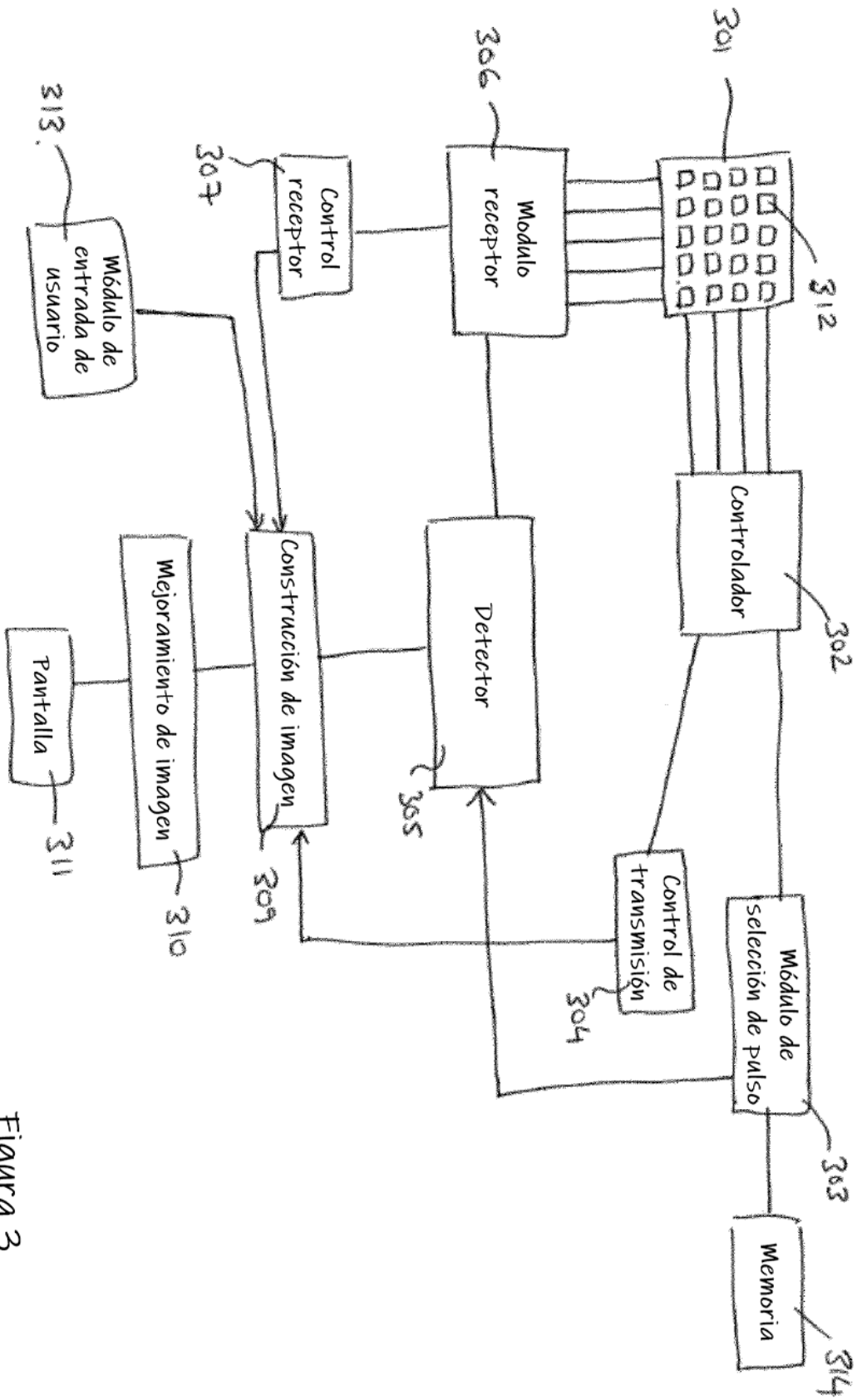


Figura 3

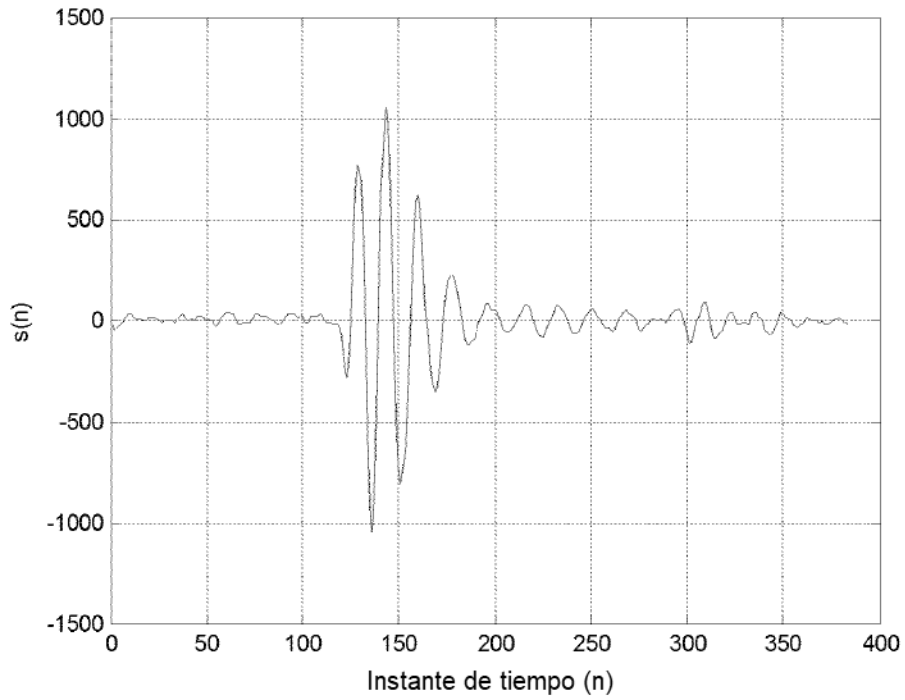


Figura 4A pulso típico de señal

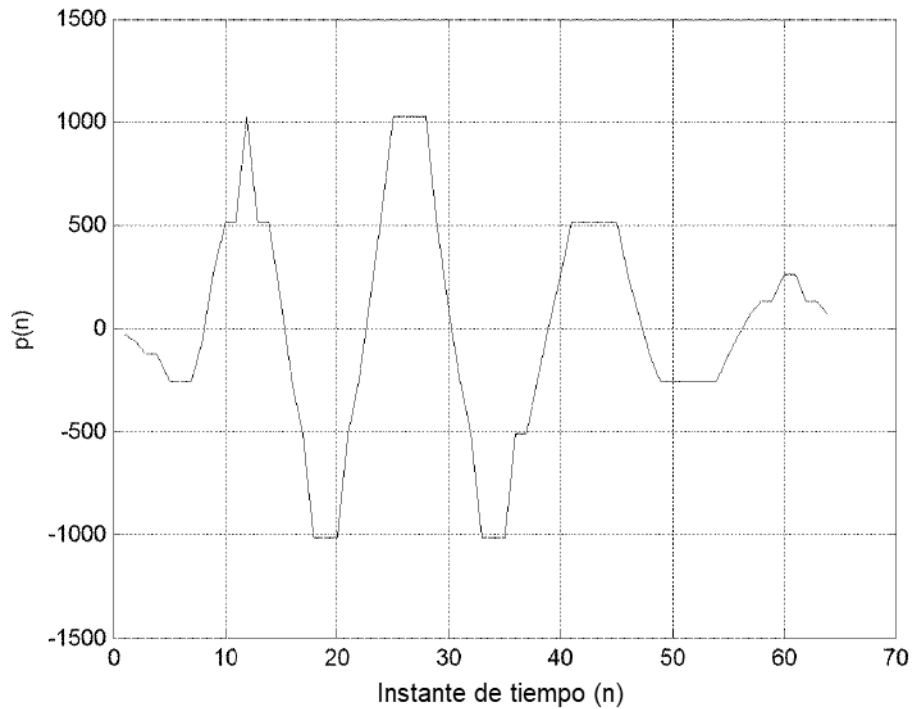


Figura 4B: filtro de coincidencia que corresponde al pulso en la figura 1

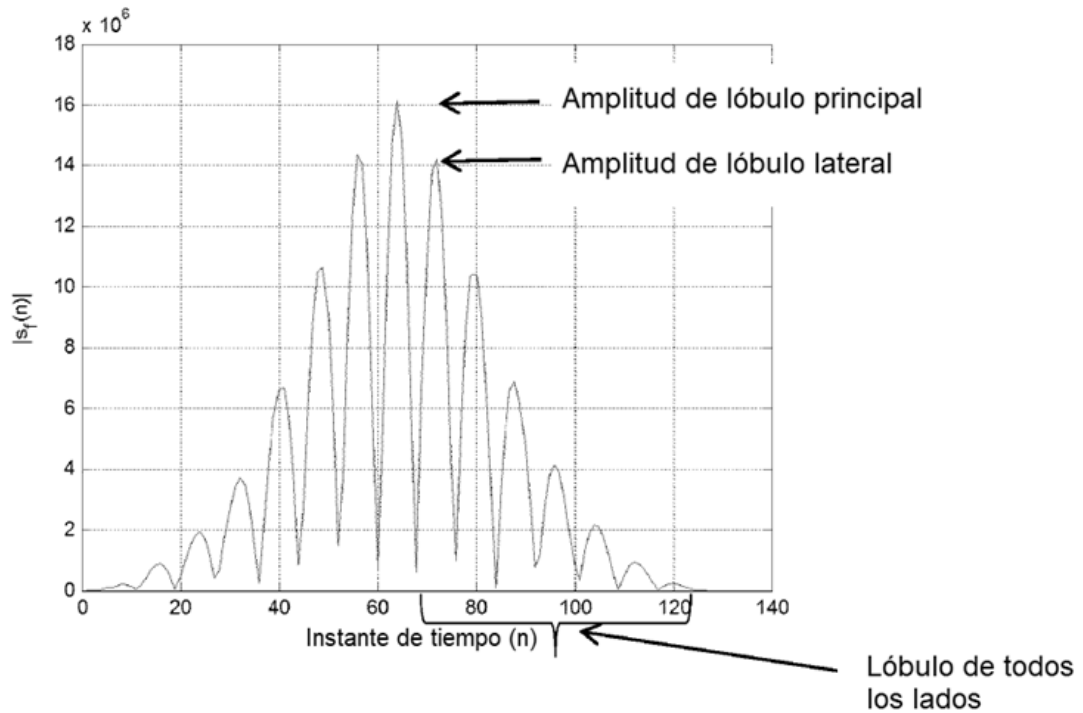


Figura 4C: valor absoluto de la señal de ultrasonido filtrada de coincidencia. La flecha superior indica la amplitud del lóbulo principal, la flecha media indica la amplitud del lóbulo lateral más grande y la flecha inferior indica "todos" los lóbulos laterales que se consideran para algunos de los criterios de selección

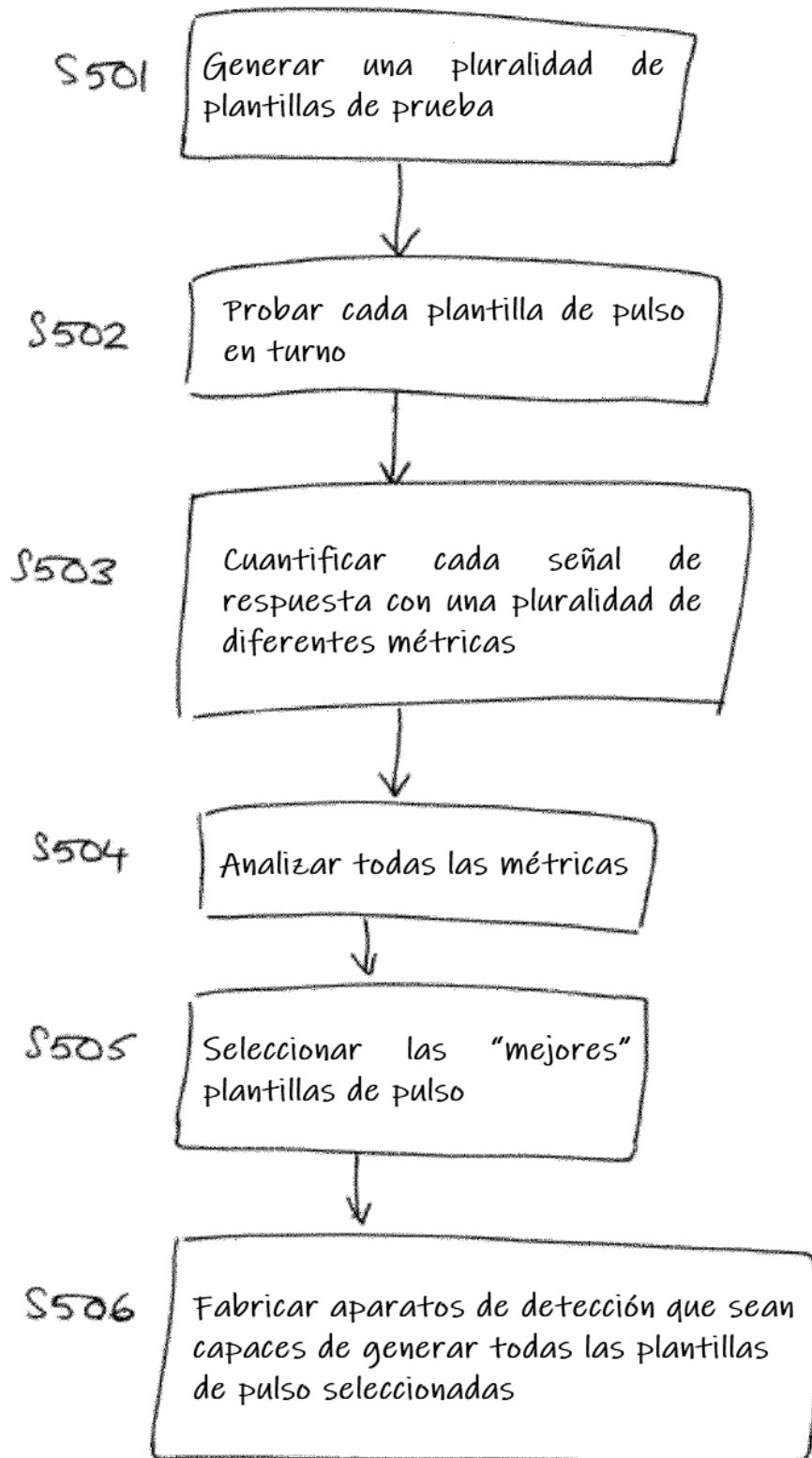


Figura 5

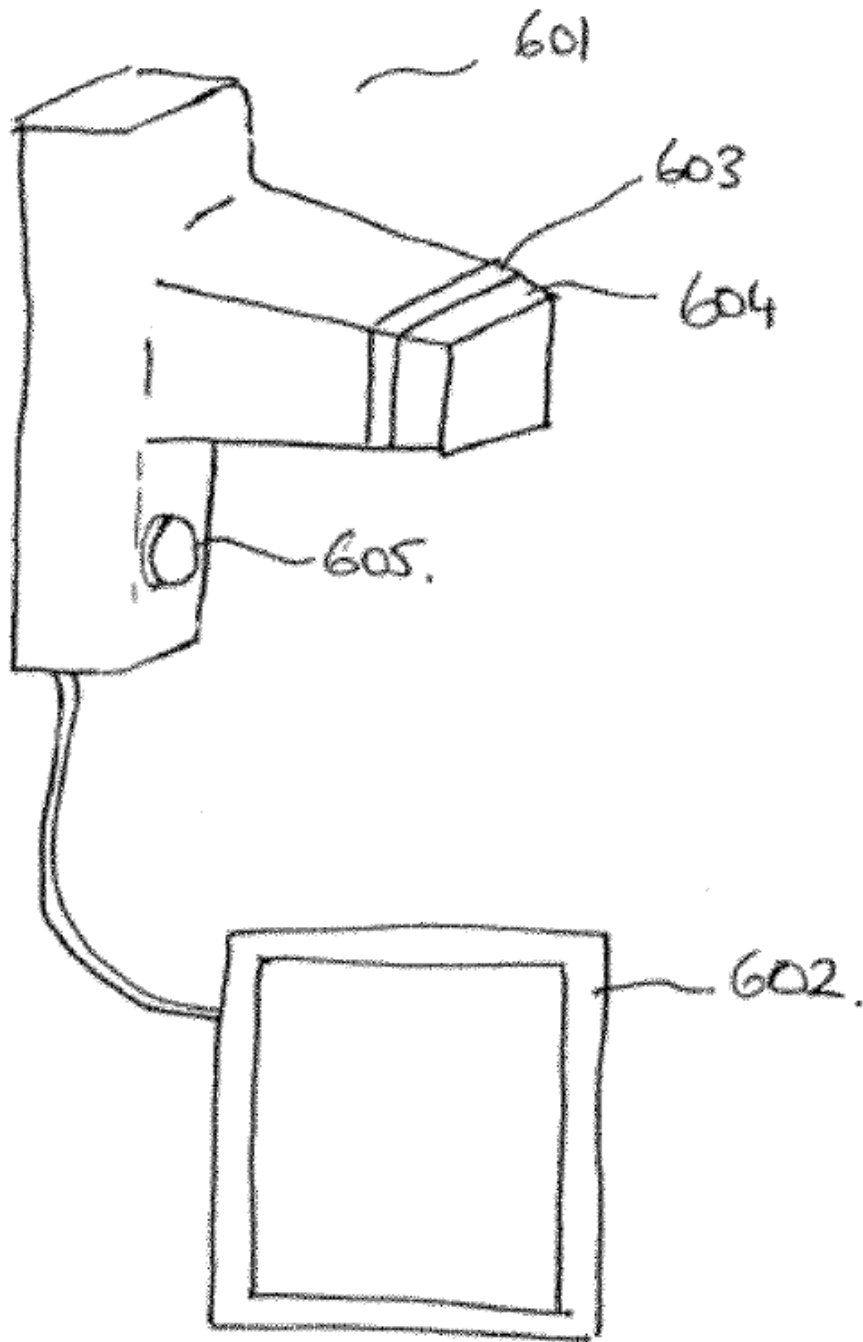
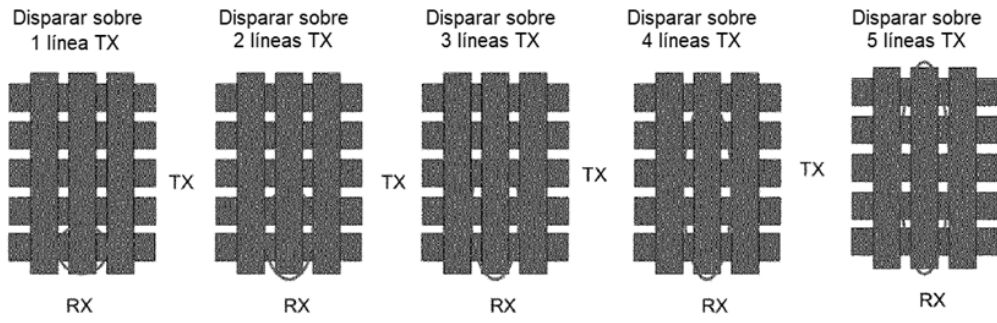
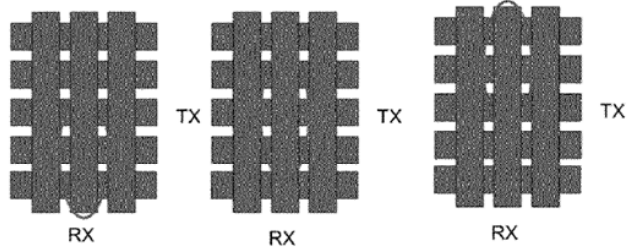


Figura 6



Ejemplos de secuencia cuando se dispara sobre 3 líneas TX (solo las etapas en la línea TX para cada etapa)



Vista lateral – disparo sobre varias líneas TX

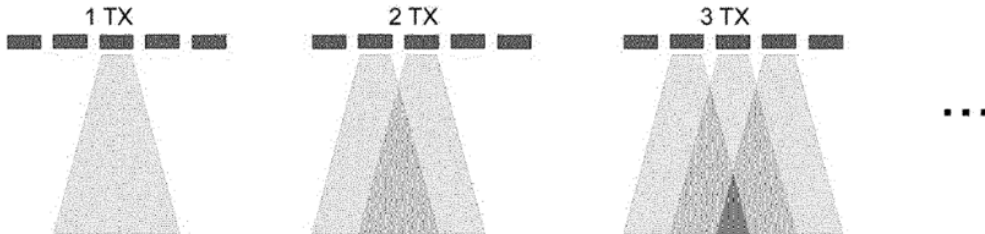


Figura 7