

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 815 198**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/04** (2006.01)

**G01N 29/12** (2006.01)

**G01N 29/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2008 E 15165230 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020 EP 2924427**

54 Título: **Método y aparato para cuantificar la porosidad en un componente**

30 Prioridad:

**23.07.2007 US 781614**

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

**29.03.2021**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**KOLLGAARD, JEFFREY R.;  
DECKER, CARRIE ANN;  
FETZER, BARRY A. y  
UHL, KEVIN M.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 815 198 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 y aparato para cuantificar la porosidad en un componente

**Información previa**

**1. Campo:**

5 La presente divulgación se refiere, en general, a la producción de componentes y, en particular, a la cuantificación de la porosidad en los componentes. Todavía más particularmente, la presente divulgación se refiere a un método y a un aparato para medir la porosidad de materiales usando métodos de medición ultrasónica.

**2. Antecedentes:**

10 Las aeronaves se diseñan y se fabrican con mayores porcentajes de materiales compuestos. Algunas aeronaves pueden tener más del cincuenta por ciento de su estructura principal hecha de materiales compuestos. Se usan materiales compuestos en aeronaves para disminuir el peso de la aeronave. Esta reducción de peso mejora la capacidad de carga útil y la eficiencia del combustible. Además, los materiales compuestos también pueden proporcionar una mejora en la resistencia a la fatiga y la corrosión para diversos componentes en una aeronave.

15 Los materiales compuestos son materiales resistentes y ligeros, creados combinando dos o más componentes distintos para crear un componente con propiedades más fuertes que los materiales originales. Los materiales compuestos normalmente no son materiales metálicos. Por ejemplo, un material compuesto puede incluir fibras y resinas. Las fibras y resinas pueden combinarse curando o calentando estos componentes para formar un producto curado para el material compuesto.

20 En particular, los componentes clave, tales como revestimientos de fuselaje y alas, se construyen ahora exclusivamente con materiales compuestos, tales como una estructura laminada compuesta. Con más y más estructuras críticas haciéndose de estructuras laminadas compuestas, se necesitan métodos y técnicas para garantizar que estos componentes cumplen normas de calidad más que nunca.

25 La porosidad es una condición indeseable conocida que puede producirse durante el procesamiento para crear componentes compuestos. La porosidad se produce cuando están presentes huecos en un material provocados por gases evolucionados. Actualmente, se dedica mucho tiempo, esfuerzo y dinero a sistemas de medición ultrasónica que se diseñan para detectar y cuantificar la porosidad en componentes compuestos, tales como aquellos hechos usando estructuras laminadas de carbono: estas técnicas usadas actualmente se benefician del hecho de que la porosidad no bloquea señales ultrasónicas, sino que atenúa estas señales. Midiendo la cantidad de atenuación que se produce cuando se transmite una señal ultrasónica en un componente compuesto, puede obtenerse una estimación del grado de porosidad para correlacionarla con las especificaciones de fabricación.

30 La estimación del grado o nivel de porosidad para un material particular puede determinarse con una curva de atenuación. Una curva de atenuación de porosidad se genera usando muestras con cantidades conocidas de porosidad. Con un aumento en la cantidad de porosidad, la señal ultrasónica aumenta el nivel de atenuación. Esta curva puede tener un nivel de tolerancia o variación aceptable para indicar mediciones aceptables que indican un determinado nivel de porosidad.

35 En la práctica, sin embargo, existen algunas dificultades con este enfoque. Las curvas de atenuación se producen para representar la atenuación de porosidad para un tipo específico de material que va a someterse a prueba. Los niveles de porosidad actuales medidos, sin embargo, también son específicos de un sistema de medición ultrasónica particular y no solo del material. Como resultado, diferentes sistemas ultrasónicos o configuraciones de instrumento en diferentes localizaciones de producción de componentes pueden producir resultados ampliamente diferentes. Esta variación de resultados puede producirse debido a las diferencias entre los diferentes sistemas de medición ultrasónica. Un factor principal que puede provocar diferentes resultados son los espectros de frecuencia variados de los transductores o la electrónica de receptor de sistema ultrasónico.

45 Como resultado, no es posible tener una curva de atenuación que puede aplicarse de manera universal, puesto que las características del equipo en diferentes sitios pueden ser diferentes. Esto daría como resultado una parte que cumple la tolerancia de especificación en un sitio, pero que no cumple la tolerancia de especificación en otro sitio. Para mitigar o reducir el problema de resultados variables, se usa un enfoque en el que se fabrican conjuntos de normas de calibración de referencia de porosidad para cada sitio en el que se producen las pruebas. Estas normas de calibración se usan en lugar de curvas de atenuación. Estos conjuntos de normas de calibración de referencia de porosidad son muestras de materiales con porosidades conocidas.

50 Actualmente, estas normas se hacen de epoxi de grafito con parámetros de curado alterados para producir grados variables de porosidad. La porosidad de estas muestras se determina por un análisis de contenido de porosidad de zona en sección transversal y puede correlacionarse con el valor de atenuación. Este enfoque de creación de múltiples normas de calibración es un procedimiento caro y que requiere mucho tiempo. Se fabrican y se proporcionan conjuntos completos de estas calibraciones de componente a cada sitio o proveedor que produce partes que requieren una valoración de niveles de porosidad. Entonces, el conjunto de normas de calibración se usa con un sistema de medición ultrasónica en

un sitio particular. Debe tenerse cuidado para garantizar que todos de los conjuntos repetidos usados en diferentes localizaciones son iguales en términos de respuesta ultrasónica.

5 Cuando se somete a prueba una parte compuesta, el sistema de medición ultrasónica se calibra primero usando las normas de calibración. Estas normas se someten a prueba y se interrogan para identificar un resultado que se genera para cada nivel conocido de porosidad. Entonces, la parte particular puede someterse a prueba y los resultados de esa prueba se comparan con los resultados generados a partir de la interrogación o prueba de las normas de calibración.

10 Con el uso creciente de materiales compuestos en las aeronaves, aumenta el número de sitios o proveedores que realizan evaluaciones de porosidad. Este aumento provoca una necesidad de más normas de calibración, lo que requiere un aumento de tiempo y esfuerzo necesarios para generar estas normas de calibración para cada sitio o proveedor. Además, el uso creciente de materiales compuestos en una aeronave ha creado una necesidad de cuantificar la porosidad en operaciones de mantenimiento de aeronave, tal como en el caso de la inspección después de la reparación de reparaciones con adhesivos. Como resultado, el gasto y el esfuerzo necesarios para producir y mantener las aeronaves aumenta con los sistemas de pruebas actuales usados para la porosidad.

15 D.E.W. STONE ET AL: "Ultrasonic attenuation as a measure of void content in carbon-fibre reinforced plastics", NON-DESTRUCTIVE TESTING, vol. 8, n.º 3, 1 de junio de 1975, páginas 137-145, XP055208420 da a conocer una técnica para la determinación del contenido de huecos de plásticos reforzados con fibra de carbono a partir de su efecto en la atenuación de ultrasonidos.

20 B T SMITH: "ULTRASONIC CHARACTERIZATION OF POROSITY IN COMPOSITES", REVIEW OF PROGRESS IN QUANTITATIVE NONDESTRUCTIVE EVALUATION, vol. 9, 31 de diciembre de 1990, páginas 1535-1540, XP055208422 da a conocer una técnica de procesamiento de señales que puede reflejar porosidad en materiales compuestos de matriz de polímero/fibra de grafito en localizaciones entre láminas.

### Sumario

25 En un primer aspecto de la invención se proporciona un método para medir la porosidad en un material compuesto tal como se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. En un segundo aspecto de la invención se proporciona un sistema de medición ultrasónica tal como se define en la reivindicación 6.

30 Las realizaciones ventajosas proporcionan un método y un aparato implementados en ordenador para medir la porosidad en materiales. Una señal ultrasónica se emite desde un transductor de transmisión en un sistema de pruebas de ultrasonido a un material. Una señal de respuesta se recibe en un transductor de recepción en el sistema de medición ultrasónica desde el material. La señal de respuesta se filtra para pasar solo frecuencias en la señal de respuesta dentro de un intervalo de frecuencia seleccionado para formar una señal de respuesta filtrada. Se identifica un nivel de porosidad del material usando la señal de respuesta filtrada.

Las características, funciones y ventajas pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en aún otras realizaciones en las que pueden observarse detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

### 35 Breve descripción de los dibujos

Los rasgos novedosos considerados característicos de las invención se exponen en las reivindicaciones adjuntas. La propia invención, sin embargo, así como un modo de uso preferido, objetivos y ventajas adicionales de la misma, se entenderán mejor por referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ventajosa de la presente divulgación cuando se lea en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

40 la figura 1 es un diagrama de flujo de un método de fabricación y servicio de aeronave en el que puede implementarse una realización ventajosa;

la figura 2 es un diagrama de una aeronave que contiene componentes que pueden someterse a prueba usando una realización ventajosa;

la figura 3 es un diagrama de un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa;

45 la figura 4 es un diagrama de otra configuración para un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa;

la figura 5 es un diagrama de aún otra configuración para un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa;

la figura 6 es un diagrama de un sistema de procesamiento de datos según una realización ventajosa;

la figura 7 es un diagrama de una respuesta proporcionada por un filtro de paso de banda según la presente invención;

50 la figura 8 es un diagrama que ilustra efectos de interacción de una longitud de onda y energía de transmisión según una realización ventajosa;

la figura 9 es una ilustración de cómo los espectros de transmisión y recepción se refieren a mediciones de decibelios de atenuación según una realización ilustrativa;

la figura 10 es una gráfica de una respuesta proporcionada por un transductor de espectro de ancho de banda estrecho según la presente invención;

5 la figura 11 es una gráfica de una respuesta proporcionada por un transductor de espectro de banda ancha según la presente invención;

la figura 12 es una gráfica que ilustra una coincidencia subóptima de un espectro de frecuencia de transductor y un filtro de paso de banda según la presente invención;

10 la figura 13 es un diagrama de otro ejemplo de una coincidencia subóptima entre espectros de frecuencia de transductor y filtros de paso de banda según la presente invención;

la figura 14 es un diagrama de flujo de un procedimiento para medir niveles de porosidad en una parte según una realización ventajosa;

la figura 15 es un diagrama de flujo de un procedimiento para crear una curva de atenuación según una realización ventajosa;

15 la figura 16 es un diagrama de mediciones de atenuación hechas sin usar un filtro según una realización ventajosa;

la figura 17 es un diagrama que ilustra mediciones de porosidad hechas con un filtro según una realización ventajosa; y

la figura 18 es una gráfica que ilustra datos de atenuación obtenidos usando filtros en un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa.

### Descripción detallada

20 Haciendo referencia más particularmente a los dibujos, pueden describirse realizaciones de la divulgación en el contexto de un método de fabricación y servicio de aeronave 100 tal como se muestra en la figura 1 y una aeronave 200 tal como se muestra en la figura 2. Durante la preproducción, el método de fabricación y servicio de aeronave 100 en la figura 1 puede incluir especificación y diseño 102 de aeronave 200 en la figura 2 y abastecimiento de material 104. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos 106 y la integración de sistemas 108 de aeronave  
25 200 en la figura 2. Después de eso, la aeronave 200 en la figura 2 puede someterse a certificación y envío 110 con el fin de ponerse en servicio 112. Mientras está en servicio por un cliente, la aeronave 200 en la figura 2 se programa para mantenimiento y servicio 114 rutinarios, lo cual puede incluir modificación, reconfiguración, reacondicionamiento y otro mantenimiento o servicio.

30 Cada uno de los procedimientos del método de fabricación y servicio de aeronave 100 puede realizarse o llevarse a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operario tal como se indica por la "X" en la tabla a la derecha del diagrama de flujo de la figura 1. En estos ejemplos, el operario puede ser un cliente. Con los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronave y subcontratistas de sistema principal; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de comerciantes, subcontratistas y proveedores; y un operario puede ser una aerolínea, empresa de alquiler, entidad militar, organización de servicios y así sucesivamente.

35 Tal como se muestra en la figura 2, la aeronave 200, producida por un método de fabricación y servicio de aeronave 100 en la figura 1, puede incluir el fuselaje 202 con sistemas 204 e interior 206. Ejemplos de sistemas 204 incluyen uno o más de un sistema de propulsión 208, un sistema eléctrico 210, un sistema hidráulico 212 y un sistema ambiental 214.

40 Pueden emplearse el aparato y los métodos incluidos en el presente documento durante una cualquiera o más de las fases de la producción y el método de fabricación y servicio de aeronave 100 en la figura 1. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos proporcionados en la fabricación de componentes y subconjuntos 106 pueden realizarse o fabricarse de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos o reparados mientras la aeronave 200 está en servicio.

45 Asimismo, pueden utilizarse una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método o una combinación de las mismas durante las etapas de producción para la fabricación de componentes y subconjuntos 106 y la integración de sistemas 108 en la figura 1, por ejemplo, reduciendo el peso de la aeronave 200. Por ejemplo, el sistema de sujeción compuesto en las realizaciones ventajosas puede usarse para ensamblar componentes estructurales y otros componentes compuestos en la aeronave 200. El uso de estos sistemas de sujeción compuestos reduce el peso de la aeronave 200. Estos ahorros de peso adicionales pueden ayudar a aumentar los ahorros de combustible y aumentar la capacidad de carga útil para la aeronave 200.

50 Las diferentes realizaciones ventajosas proporcionan un método para medir la porosidad en materiales. Se transmite una señal a un material y se recibe una respuesta a la señal. La respuesta se filtra para pasar solo un intervalo seleccionado de frecuencias. Entonces, se usa la respuesta filtrada para identificar el nivel de porosidad del material.

Las diferentes realizaciones ilustrativas permiten el uso de una curva de atenuación universal. Una curva de atenuación es una curva con un conjunto de puntos de datos que identifican niveles de porosidad para respuestas particulares que regresan de la transmisión de una señal a un material. En estos ejemplos, la señal es una señal ultrasónica. Una señal ultrasónica es una presión de sonido cíclica con una frecuencia mayor a un límite superior del oído humano, tal como 20 MHz.

Las diferentes realizaciones ventajosas proporcionan una identificación de un filtro para su uso en el procesamiento de señales de respuesta. El filtro proporciona una capacidad para usar la misma curva de atenuación universal en sistemas de medición ultrasónica diferentes que pueden tener variaciones entre sí. Esas variantes incluyen, por ejemplo, diferencias en los espectros de sensibilidad de frecuencia en los transductores, el contenido de frecuencia de los impulsos y el ancho de banda de frecuencia del receptor. Las diferentes realizaciones ventajosas eliminan la necesidad de proporcionar normas de calibración de porosidad en forma de paneles o materiales de muestra a diferentes proveedores, localizaciones o grupos que pueden realizar pruebas de porosidad.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se representa un diagrama de un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa. El sistema de medición ultrasónica 300 se usa para medir cambios en señales ultrasónicas transmitidas a un material. En particular, el sistema de medición ultrasónica 300 puede usarse para determinar niveles de porosidad en un material midiendo la atenuación de señales transmitidas a través del material. En este ejemplo, el sistema de medición ultrasónica 300 es un sistema mediante transmisiones.

El sistema de medición ultrasónica 300 incluye la unidad de control 302, el receptor/generador de impulsos ultrasónico 304, el transductor de transmisión 306, el transductor de recepción 308 y el filtro 310. El receptor/generador de impulsos ultrasónico 304 genera señales de frecuencias variables que se transmiten por el transductor de transmisión 306 como la señal 312. Estas señales pasan a través de la parte de prueba 314 para formar la señal de respuesta 316, que se recibe por el transductor de recepción 308. La señal 312 puede atenuarse mientras pasa a través de la parte de prueba 314 para formar la señal de respuesta 316. La atenuación se provoca por huecos presentes en la parte de prueba 314. La señal de respuesta 316 se filtra por el filtro 310 con la señal filtrada enviándose entonces al receptor/generador de impulsos ultrasónico 304. Esta señal filtrada puede enviarse entonces a la unidad de control 302 para su procesamiento.

La unidad de control 302 puede presentar la señal como recibida o puede proporcionar una indicación del nivel de porosidad de la sección de la parte de prueba 314 que se somete a prueba. Además, la unidad de control 302 puede comparar los niveles de porosidad con requisitos para diferentes partes para determinar si la parte de prueba 314 pasa la inspección.

En estos ejemplos, el resultado filtrado se compara con la curva de atenuación 318 para identificar el nivel de porosidad. La curva de atenuación 318 proporciona una norma por la que los datos filtrados pueden compararse identificando niveles de porosidad de la parte de prueba 314. Una curva de atenuación diferente puede proporcionarse para cada tipo de material que se somete a prueba. Diferentes tipos de componentes compuestos pueden tener diferentes curvas de atenuación para el nivel de porosidad deseado.

En estos ejemplos, el filtro 310 filtra la señal de respuesta 316 para pasar solo frecuencias dentro de un intervalo seleccionado de frecuencias dentro de la señal de respuesta 316. En particular, en estos ejemplos, el filtro 310 adopta la forma de un filtro de paso de banda. Por supuesto, puede usarse cualquier otro tipo de filtro, dependiendo de la implementación particular y las frecuencias deseadas. El filtro 310 se ilustra como que está conectado "aguas arriba" del transductor de recepción 308, en estos ejemplos. Dependiendo de la implementación particular, el filtro 310 también podría conectarse a la salida del transductor de transmisión 306 para emitir en el intervalo deseado. Además, el filtro 310 puede implementarse como un filtro de software dentro de la unidad de control 302, dependiendo de la implementación particular.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa un diagrama de otra configuración para un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa. En este ejemplo, el sistema de medición ultrasónica 400 es un sistema de eco por impulsos de "emisión y recepción" (dos transductores). El sistema de medición ultrasónica 400, en este ejemplo, incluye la unidad de control 402, el receptor/generador de impulsos ultrasónico 404, el transductor de transmisión 406, el transductor de recepción 408 y el filtro 410. En este ejemplo particular, el transductor de transmisión 406 transmite la señal 412 en la parte de prueba 414. Una parte de la señal 412 se refleja y se recibe por el transductor de recepción 408 como la señal de respuesta 416. De manera similar, como con el sistema de medición ultrasónica 300 en la figura 3, la señal de respuesta 416 se filtra usando el filtro 410 para proporcionar una señal filtrada para el análisis por la unidad de control 402 usando la curva de atenuación 418.

A continuación, con referencia a la figura 5, se representa un diagrama de aún otra configuración para un sistema de mediciones ultrasónicas según una realización ventajosa. En este ejemplo, el sistema de medición ultrasónica 500 representa un sistema de medición de eco por impulsos de transductor único. El sistema de medición ultrasónica 500, en este ejemplo, incluye la unidad de control 502, el receptor/generador de impulsos ultrasónico 504, la caja de diodo 506, el transductor 508 y el filtro 510.

En este ejemplo ilustrativo, el transductor 508 funciona tanto como un transductor de transmisión como un transductor de recepción. En un modo de transmisión, el transductor 508 transmite la señal 512 en la parte de prueba 514. El transductor 508 también funciona para detectar o recibir la señal de respuesta 516.

La caja de diodo 506 dirige la señal de respuesta 516 a través del filtro 510 y recibe una señal filtrada que se envía entonces al receptor/generador de impulsos ultrasónico 504. Pueden usarse diversos tipos adicionales de componentes en lugar de la caja de diodo 506, dependiendo de la implementación particular. Pueden seleccionarse otros tipos de componentes que pueden cambiar la trayectoria de la señal de respuesta 516 a través del filtro 510. Esta señal filtrada puede analizarse entonces por la unidad de control 502 a través de la comparación con la curva de atenuación 518.

La ilustración del sistema de medición ultrasónica 300 en la figura 3, el sistema de medición ultrasónica 400 en la figura 4 y el sistema de medición ultrasónica 500 en la figura 5 se presenta con fines de ilustración y no pretende proporcionar implementaciones arquitectónicas de la manera en que las diferentes realizaciones ventajosas pueden implementarse en un sistema de medición ultrasónica.

Haciendo referencia ahora a la figura 6, se representa un diagrama de un sistema de procesamiento de datos según una realización ventajosa. El sistema de procesamiento de datos 600 es un ejemplo de un dispositivo que puede usarse para implementar un sistema de pruebas de ultrasonido. En este ejemplo ilustrativo, el sistema de procesamiento de datos 600 incluye la estructura de comunicaciones 602, que proporciona comunicaciones entre la unidad de procesador 604, la memoria 606, la memoria persistente 608, la unidad de comunicaciones 610, la unidad de entrada/salida (E/S) 612 y el panel de visualización 614.

La unidad de procesador 604 sirve para ejecutar instrucciones para software que pueden cargarse en la memoria 606. La unidad de procesador 604 puede ser un conjunto de uno o más procesadores o puede ser un núcleo de multiprocesador, dependiendo de la implementación particular. Además, la unidad de procesador 604 puede implementarse usando uno o más sistemas de procesador heterogéneos en los que está presente un procesador principal con procesadores secundarios en un único chip. Como otro ejemplo ilustrativo, la unidad de procesador 604 puede ser un sistema de multiprocesador simétrico que contiene múltiples procesadores del mismo tipo.

La memoria 606, en estos ejemplos, puede ser, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio. La memoria persistente 608 puede tomar diversas formas dependiendo de la implementación particular. Por ejemplo, la memoria persistente 608 puede contener uno o más componentes o dispositivos. Por ejemplo, la memoria persistente 608 puede ser un disco duro, una memoria flash, un disco óptico regrabable, una cinta magnética regrabable o alguna combinación de los anteriores. Los medios usados por la memoria persistente 608 también pueden ser extraíbles. Por ejemplo, puede usarse un disco duro extraíble para la memoria persistente 608.

La unidad de comunicaciones 610, en estos ejemplos, proporciona comunicaciones con otros dispositivos o sistemas de procesamiento de datos. En estos ejemplos, la unidad de comunicaciones 610 es una tarjeta de interfaz de red. La unidad de comunicaciones 610 puede proporcionar comunicaciones a través del uso de cualquiera o ambos enlaces de comunicaciones inalámbricas o físicas. Los resultados de las pruebas de materiales compuestos pueden transmitirse a una base de datos remota a través de la unidad de comunicaciones 610. Asimismo, pueden recibirse curvas de atenuación e identificaciones de filtros para su uso en las pruebas de componentes a través de la unidad de comunicaciones 610.

La unidad de entrada/salida 612 permite entrada y salida de datos con otros dispositivos que pueden conectarse al sistema de procesamiento de datos 600. En estos ejemplos, la unidad de entrada/salida 612 proporciona una conexión a una unidad de receptor/generador de impulsos ultrasónico. La conexión proporciona un enlace de comunicaciones usado para enviar órdenes a la unidad de receptor/generador de impulsos ultrasónico y para recibir señales de respuesta para su análisis. Como otro ejemplo, la unidad de entrada/salida 612 puede proporcionar una conexión para entrada de usuario a través de un teclado y un ratón. Además, la unidad de entrada/salida 612 puede enviar salida a una impresora. El panel de visualización 614 proporciona un mecanismo para presentar información a un usuario.

Las instrucciones para el sistema operativo y aplicaciones o programas se sitúan en la memoria persistente 608. Estas instrucciones pueden cargarse en la memoria 606 para su ejecución por la unidad de procesador 604. Los procedimientos de las diferentes realizaciones pueden realizarse por la unidad de procesador 604 usando instrucciones implementadas en ordenador, que pueden situarse en una memoria, tal como la memoria 606. Estas instrucciones se denominan código de programa utilizable por ordenador o código de programa legible por ordenador que puede leerse y ejecutarse por un procesador en la unidad de procesador 604. El código de programa legible por ordenador puede incluirse en diferentes medios legibles por ordenador tangibles o físicos, tales como la memoria 606 o la memoria persistente 608.

Los diferentes componentes ilustrados para el sistema de procesamiento de datos 600 no pretenden proporcionar limitaciones arquitectónicas en la manera en que pueden implementarse diferentes realizaciones. Las diferentes realizaciones ilustrativas pueden implementarse en un sistema de procesamiento de datos que incluye componentes además de o en lugar de los ilustrados para el sistema de procesamiento de datos 600. Otros componentes mostrados en la figura 6 pueden variarse de los ejemplos ilustrativos mostrados.

Por ejemplo, puede usarse un sistema de bus para implementar la estructura de comunicaciones 602 y puede estar compuesto de uno o más buses, tales como un bus de sistema o un bus de entrada/salida. Por supuesto, el sistema de bus puede implementarse usando cualquier tipo adecuado de arquitectura que proporciona una transferencia de datos entre diferentes componentes o dispositivos unidos al sistema de bus. Adicionalmente, una unidad de comunicaciones puede incluir uno o más dispositivos usados para transmitir y recibir datos, tales como un módem o un adaptador de red.

Además, una memoria puede ser, por ejemplo, la memoria 606 o una memoria caché tal como la encontrada en un concentrador controlador de memoria e interfaz que puede estar presente en la estructura de comunicaciones 602.

5 Haciendo referencia ahora a la figura 7, se representa un diagrama de una respuesta proporcionada por un filtro de paso de banda según la presente invención. La gráfica 700 ilustra una respuesta de un filtro que puede implementarse como el filtro 310 en la figura 3 o el filtro 410 en la figura 4. En la gráfica 700, el eje X representa la frecuencia y el eje Y representa la amplitud. El filtro de paso de banda, según la presente invención, tiene una frecuencia central,  $F_0$ , de 5,0 MHz. La curva 702 representa la respuesta recibida por un transductor de recepción, tal como el transductor de recepción 308 en la figura 3 o el transductor de recepción 408 en la figura 4.

10 Las frecuencias en la sección 704 representan la frecuencia central de 5,0 MHz con un intervalo de más o menos diez por ciento. Así, el intervalo de la sección 704, según la presente invención, proporciona un paso de banda de 500 kHz. Por supuesto, el intervalo del paso de banda puede variarse usando otros porcentajes, dependiendo de la implementación particular.

15 La sección 706 representa la parte de la curva 702 que se pasa cuando se aplica un filtro a la señal de respuesta. En estos ejemplos, cuando el filtro se coloca aguas arriba en un transductor recibido, el filtro permite que se pase el espectro de frecuencia de un carácter consistente y conocido. Esta consistencia permite que los sistemas de medición ultrasónica tengan diferentes características para recibir un resultado consistente que puede compararse con una curva de atenuación normalizada.

20 Haciendo referencia ahora a la figura 8, se representa un diagrama que ilustra efectos de interacción de longitudes de onda y energía de transmisión según una realización ventajosa. En este ejemplo, la gráfica 800 representa una frecuencia en el eje X y la energía sonora en el eje Y. La curva 802 representa la energía recibida por un transductor de recepción en frecuencias diferentes en respuesta a una señal que se transmite a un material. La frecuencia 804 es la frecuencia central de la frecuencia de transmisión, en estos ejemplos.

25 Las frecuencias bajas penetran estructuras con porosidad mejor que las frecuencias altas. Un contenido de frecuencia ultrasónica es típico en la mayoría de sistemas de medición ultrasónica. Esta señal se modifica a medida que la señal pasa a través de un material poroso. La frecuencia central de la señal de salida o la señal de respuesta detectada por el transductor de recepción y es normalmente más baja que la frecuencia central 804 de la señal de entrada.

30 Como resultado de este efecto de filtrado de frecuencia, la energía recibida por el transductor de recepción es una función de tanto el contenido de frecuencia del transductor de transmisión como la energía de excitación transmitida por el transductor de transmisión. La energía de excitación más alta se concentra alrededor de la frecuencia de transmisión central de  $f_0$ . La energía más alta en la señal recibida, sin embargo, depende de la longitud de onda del sonido que interactúa con el material. Como resultado, la capacidad de transmisión aumenta con frecuencias más bajas, pero la energía de la señal depende de la frecuencia central del transductor de transmisión.

35 En estos ejemplos, las flechas 806 representan la longitud de onda creciente de la señal transmitida, en la que la capacidad de penetración relativa aumenta a medida que aumenta la longitud de onda. Las flechas en la sección 808 tienen la energía más alta porque son las flechas que representan el impulso más cercano a la frecuencia central del transductor de transmisión. Las flechas más alejadas de la sección 808 tienen menos energía. Son ejemplos la flecha 810 y la flecha 812, que tienen la capacidad de penetración más alta, en estos ejemplos.

40 Las diferentes realizaciones ventajosas eliminan la variación provocada por el ancho de banda del sistema de medición ultrasónica en el que los transductores de transmisión y los transductores de recepción pueden tener variaciones. Estas variaciones proporcionan una capacidad de utilizar una curva de atenuación universal entre diferentes dispositivos de medición ultrasónica. En estos ejemplos ilustrativos, puede usarse una curva de atenuación universal por sistemas de medición ultrasónica diferentes con resultados consistentes a través de la identificación de un filtro para su uso en los diferentes sistemas de medición ultrasónica.

45 A través del uso de un filtro, tal como un filtro de paso de banda, se mide o se detecta solo una parte seleccionada del espectro de frecuencia por el sistema de medición ultrasónica. Con las diferentes realizaciones ventajosas, puede usarse cualquier configuración para una combinación de transductor o sistema de medición ultrasónica. Los resultados, en términos de atenuación, son los mismos siempre y cuando está presente suficiente energía para penetrar la parte que se somete a prueba.

50 En estos ejemplos, la ganancia absoluta se mide en decibelios y la atenuación,  $\Delta dB$ , también se mide en decibelios. En estas realizaciones ventajosas, el filtro usado no normaliza el nivel de ganancia absoluta necesario para penetrar el material. La normalización proporcionada en las diferentes realizaciones se usa solo para medir la pérdida de atenuación en una señal transmitida provocada por huecos en el material. La unidad de medida de decibelios se deriva a partir de la siguiente relación:

$$\text{decibelios} = 20 \times \log \left[ A_1/A_2 \right]$$

55 en la que:

dB = decibelios

$A_1$  = primera amplitud de señal

$A_2$  = segunda amplitud de señal

5 En el caso del nivel de ganancia absoluta necesario para penetrar el material, el nivel de decibelios que se establece en el instrumento se refiere a un aumento en la ganancia de recepción en algún nivel de referencia interno. En el caso de la medición de la pérdida de atenuación, el valor de decibelios registrado por el inspector se refiere al cambio en la amplitud entre una señal de referencia recibida y una nueva señal recibida.

10 Haciendo referencia ahora a la figura 9, se representa una ilustración de cómo los espectros de recepción y transmisión se refieren a las mediciones de decibelios de atenuación según una realización ilustrativa. La zona 900 bajo la curva de espectro transmitida 902 en la gráfica 904 representa la energía entera de un impulso ultrasónico que entra en una parte compuesta. La zona 906 bajo la curva de espectro recibida 908 en la gráfica 910 representa la energía entera recibida después de que el impulso haya pasado a través de y se haya atenuado por la misma parte compuesta 912. Estas envolventes de energía en el dominio de frecuencia se manifiestan en instrumentación ultrasónica como una señal de tensión en el dominio de tiempo, con una amplitud que se corresponde con el nivel de energía del espectro de frecuencia, tal como se muestra en las gráficas 914 y 916. Una diferencia en la amplitud está presente entre las gráficas 914 y 916. La sección 918 muestra la diferencia o reducción de amplitud entre estas gráficas. La sección 918 representa la atenuación que se produce a partir de la transmisión de un impulso ultrasónico a través del material compuesto 912. La señal de tensión se monitoriza para cambios en la amplitud con la salida registrada en decibelios.

20 Haciendo referencia ahora a la figura 10, se representa una gráfica de una respuesta proporcionada por un transductor de espectro de ancho de banda estrecho según una realización ventajosa. En este ejemplo, en la gráfica 1000, el eje Y representa la amplitud y el eje X representa la frecuencia. En este ejemplo particular, la curva 1002 representa la señal de respuesta detectada por un transductor de recepción, tal como el transductor de recepción 308 en la figura 3 o el transductor de recepción 408 en la figura 4. El transductor de recepción tiene una frecuencia central en la frecuencia 1004, que es de alrededor de 2,25 MHz, en este ejemplo. La sección 1006 representa un filtro de paso de banda de 200 MHz con un intervalo de más o menos diez por ciento aplicado. La sección 1008 en la curva 1002 representa la señal filtrada que se pasa por el filtro de paso de banda.

30 Haciendo referencia ahora a la figura 11, se representa una gráfica de una respuesta proporcionada por un transductor de espectro de banda ancha según una realización ventajosa. En este ejemplo, en la gráfica 1100, el eje Y representa la amplitud y el eje X representa la frecuencia. La curva 1102 representa una señal de respuesta que se detecta por un transductor de recepción, tal como el transductor de recepción 308 en la figura 3 o el transductor de recepción 408 en la figura 4. La señal de respuesta ilustrada por la curva 1102 es para un transductor de espectro de "banda ancha".

35 En este ejemplo, la curva 1102 tiene una forma diferente de la curva 1002 en la figura 10. Esta diferencia da como resultado las diferentes características entre los dos transductores de recepción. En este ejemplo, la frecuencia 1104 representa la frecuencia central para este transductor y es de alrededor de 2,25 MHz. De manera similar, la sección 1106 ilustra el intervalo de frecuencias que se pasan por un filtro de paso de banda de 200 MHz. La sección 1108 representa la parte de la curva 1102 que está presente en la señal modificada después de que se produzca el filtrado.

40 Habitualmente, la curva 1102 para el transductor de espectro de banda ancha ilustrado en la figura 11 indicaría un nivel de atenuación más bajo provocado por la porosidad. Esta diferencia se debe al creciente contenido de baja frecuencia del espectro en relación con el transductor de recepción mostrado en la figura 10. El filtro compensa la diferencia de contenido espectral descartando el contenido de frecuencia extraño y la medición de atenuación se basa solo en las frecuencias de paso de banda en vez de las frecuencias en la curva entera.

45 Haciendo referencia ahora a la figura 12, se representa una gráfica que ilustra una coincidencia subóptima de un espectro de frecuencia de transductor y un filtro de paso de banda según una realización ventajosa. En este ejemplo, la gráfica 1200 contiene la curva 1202, que representa la señal de respuesta detectada por un transductor. En este ejemplo, el transductor de recepción tiene una frecuencia central en la frecuencia 1204 de alrededor de 1,0 MHz. El filtro de paso de banda es un filtro de 200 MHz que pasa frecuencias en un intervalo mostrado en la sección 1206. La parte de la señal en la curva 1202 pasada por el filtro de paso de banda se muestra en la sección 1208. A pesar de que se produce una coincidencia subóptima, el filtro descarta las frecuencias extrañas que no interesan para las mediciones de atenuación.

50 Haciendo referencia ahora a la figura 13, se representa un diagrama de otro ejemplo de una coincidencia subóptima entre espectros de frecuencia de transductor y filtros de paso de banda según una realización ventajosa. En este ejemplo, la gráfica 1300 muestra una respuesta de una señal detectada por un transductor de recepción en la curva 1302. Tal como se representa, la frecuencia 1304 representa la frecuencia central y es de alrededor de 3,5 MHz. Según la presente invención, la sección 1306 representa las frecuencias pasadas por un filtro de 2,00 MHz más o menos diez por ciento. La parte de la curva 1302 pasada para el análisis de atenuación se muestra en la sección 1308. De nuevo, la sección 1208 en la figura 12 y la sección 1308 en la figura 13 son partes relativamente pequeñas de la energía de interrogación que pasa a través del filtro. Esta parte es la zona bajo la curva 1302 en la sección 1308. A pesar de que las frecuencias de los transductores y el paso de banda se desacoplan, las diferentes realizaciones ventajosas permiten una medición de atenuación consistente en los diferentes ejemplos representados. Dicho de otro modo, el cambio de atenuación

representado por la zona bajo la curva 1302 en la sección 1308 (en relación con mediciones en una muestra de no atenuación) será consistente con el cambio de atenuación representado por la zona bajo la curva 1202 en la sección 1208 en la figura 12 (en relación con mediciones en una muestra de no atenuación).

5 Haciendo referencia ahora a la figura 14, se representa un diagrama de flujo de un procedimiento para medir niveles de porosidad en una parte según una realización ventajosa. El procedimiento ilustrado en la figura 14 puede implementarse usando un sistema de medición ultrasónica, tal como el sistema de medición ultrasónica 300 en la figura 3 o el sistema de medición ultrasónica 400 en la figura 4. En particular, algunas de las etapas ilustradas en la figura 14 pueden implementarse a través de una unidad de control implementada dentro del sistema de procesamiento de datos, tal como el sistema de procesamiento de datos 600 en la figura 6. Dependiendo de la implementación particular, algunas o todas de las operaciones ilustradas en esta figura pueden implementarse por un usuario.

El procedimiento comienza recibiendo un requisito de porosidad para una parte (operación 1400). La operación 1400 implica recibir un nivel de porosidad que se considera satisfactorio o que puede permitirse para la parte particular. Este requisito se usa para determinar si el nivel de porosidad medido para el material dará como resultado la parte que cumple o no cumple el requisito.

15 Después de eso, se reciben una curva de atenuación y una identificación de filtro (operación 1402). La sección no probada de la parte se selecciona para pruebas (operación 1404). La operación 1404 selecciona una parte de la parte para pruebas. Pueden seleccionarse múltiples secciones o pueden seleccionarse todas de las secciones en la parte para pruebas, dependiendo de la implementación particular. Después de eso, se transmite una señal en el material para la parte (operación 1406). La operación 1406 se produce con un transductor de transmisión, tal como el transductor de transmisión 306 en la figura 3, que emite una señal generada por un receptor/generador de impulsos ultrasónico, tal como el receptor/generador de impulsos ultrasónico 304 en la figura 3.

20 Se recibe una señal de respuesta que tiene un intervalo de frecuencias (operación 1408). La operación 1408 implica recibir la señal de respuesta a través de un transductor de recepción, tal como el transductor de recepción 308 en la figura 3. La señal de respuesta se filtra para formar una señal de respuesta filtrada (operación 1410). Un filtro, tal como el filtro 310 en la figura 3, se usa para filtrar la respuesta en la operación 1410, en estos ejemplos. La operación 1410 se realiza usando un filtro de paso de banda en estos ejemplos. Este filtro puede ser un filtro de hardware o un filtro de software, dependiendo de la implementación particular.

25 Después de eso, se identifica un nivel de porosidad basándose en el nivel de atenuación (operación 1412). Puede identificarse el nivel de porosidad de la sección de la parte probada usando una unidad de control, tal como la unidad de control 302 en la figura 3. La unidad de control puede calcular el nivel de porosidad. Este cálculo puede presentarse en un número de diferentes formas. Por ejemplo, el nivel de porosidad puede ilustrarse como un valor o como una señal en una gráfica. Como alternativa, la señal de atenuación puede presentarse a un usuario y el usuario puede identificar el nivel de porosidad de manera manual.

30 A continuación, se hace una determinación sobre si el nivel de porosidad identificado para la sección cumple el requisito para la parte (operación 1414). Como alternativa, un usuario puede comparar los resultados identificados en la operación 1414 con una gráfica, tal como la curva de atenuación en la operación 1402, para determinar si la sección seleccionada cumple los requisitos para la parte. Si la sección cumple los requisitos de porosidad, se hace una determinación sobre si están presentes secciones no probadas adicionales (operación 1416). La unidad de control puede realizar la operación 1416, en estos ejemplos. Si están presentes secciones no probadas adicionales en la parte, el procedimiento vuelve a la operación 1404 para seleccionar otra sección de la parte para pruebas. De lo contrario, se presenta el resultado de las pruebas (operación 1418) con el procedimiento que termina después de eso.

Con referencia de nuevo a la operación 1414, si la sección no cumple el requisito de porosidad, se hace una indicación de que está presente un defecto en la sección (operación 1420). Después de eso, el procedimiento vuelve a la operación 1416 para determinar si están presentes secciones adicionales para pruebas.

45 El resultado presentado en la operación 1418 puede indicar las diferentes secciones que pasan la prueba de porosidad y las secciones que no la pasan. Como alternativa, si una de las secciones no la pasa, el procedimiento puede terminar en estos ejemplos. Puede realizarse automáticamente un número de las diferentes operaciones si el sistema de medición ultrasónica es uno automático que permite que los transductores se muevan automáticamente de sección en sección por las diferentes secciones de la parte que se somete a prueba. Como alternativa, las diferentes operaciones pueden realizarse de manera manual, con el usuario identificando las diferentes secciones moviendo el transductor por las diferentes secciones que se someten a prueba.

Además, el procedimiento puede ser tan simple como proporcionar una identificación del nivel de atenuación o presentar la señal que identifica la atenuación a medida que los transductores se mueven por las diferentes secciones de la parte que se somete a prueba.

55 Haciendo referencia ahora a la figura 15, se representa un diagrama de flujo de un procedimiento para crear una curva de atenuación según una realización ventajosa. El procedimiento en la figura 15 puede implementarse para proporcionar una curva de atenuación para su uso con sistemas de medición ultrasónica. Las operaciones ilustradas en la figura 15 pueden aplicarse a cada norma que va a usarse en las pruebas de niveles de porosidad. Un conjunto principal de paneles

para un material compuesto puede someterse a prueba para producir una curva de atenuación universal. En estos ejemplos, un conjunto principal de paneles puede estar presente para cada tipo de material compuesto. Los materiales compuestos pueden oscilar entre, por ejemplo, cinco capas y ciento sesenta y cuatro capas. Puede estar presente un panel para diferentes niveles de porosidad.

5 Por ejemplo, un panel puede estar presente para un nivel de porosidad de cero por ciento, un segundo panel puede estar presente para un nivel de porosidad de alrededor de uno por ciento a alrededor de tres por ciento, otro panel puede estar presente para un nivel de porosidad de alrededor de tres por ciento a alrededor de cinco por ciento y otro panel puede estar presente para un nivel de porosidad mayor de cinco por ciento. Con este tipo de norma, los datos se reúnen para que cada uno de estos paneles genere una curva de atenuación para la distribución a diferentes sitios, subcontratistas u otros grupos que pueden tener sistemas de medición ultrasónica usados para someter a prueba niveles de porosidad en componentes o partes.

10 Todavía, con referencia a la figura 15, el procedimiento comienza seleccionando un filtro (operación 1500). La selección del filtro varía dependiendo de la implementación particular. Por ejemplo, si el material para el que se está generando la curva de atenuación es más fino que algún grosor seleccionado, puede seleccionarse un filtro de frecuencia más alta, en comparación con otro material que tiene un grosor mayor que un cierto nivel de umbral. Con un material más grueso, puede seleccionarse un filtro de frecuencia más baja, en comparación con el filtro para un material más fino. A continuación, se selecciona un panel con una porosidad conocida (operación 1502).

15 Después de eso, se transmite una señal en el panel seleccionado (operación 1504). Se recibe una respuesta desde la señal (operación 1506). Entonces, se filtra la respuesta (operación 1508). Entonces, se registra el resultado (operación 1510). Entonces, se hace una determinación sobre si están presentes paneles no procesados adicionales que van a procesarse (operación 1512). Si están presentes paneles no procesados adicionales, el procedimiento vuelve a la operación 1502 para seleccionar otro panel con un nivel de porosidad conocido. De lo contrario, el procedimiento termina.

20 Haciendo referencia ahora a la figura 16, se representa un diagrama de mediciones de atenuación hecho sin usar un filtro según una realización ventajosa. La gráfica 1600 ilustra mediciones de porosidad hechas por cuatro sistemas diferentes en los que no se usan filtros.

25 Haciendo referencia ahora a la figura 17, se representa un diagrama que ilustra mediciones de porosidad hechas con un filtro según una realización ventajosa. En este ejemplo, la gráfica 1700 muestra mediciones de la misma parte con los mismos cuatro sistemas de medición ultrasónica diferentes tal como en la figura 16 usando un filtro de paso de banda. Tal como se observa, las mediciones son mucho más consistentes proporcionando la capacidad de usar una curva de atenuación para identificar niveles de porosidad en comparación con los resultados ilustrados en la figura 16.

30 Haciendo referencia ahora a la figura 18, se representa una gráfica que ilustra datos de atenuación obtenidos usando filtros en un sistema de medición ultrasónica según una realización ventajosa. En este ejemplo, la gráfica 1800 representa atenuación con porosidad en muestras de 64 capas. Estas muestras se filtraron usando un filtro en línea ancha de 1,0 MHz. Tal como se observa en la gráfica 1800, la variación entre los diferentes tipos de transductores en los diferentes sistemas no produjo ninguna desviación significativa en los resultados. En este ejemplo, las series de puntos de datos representan mediciones tomadas con el instrumento y los transductores en diversas frecuencias. Los parámetros se eligieron deliberadamente para representar una coincidencia subóptima de frecuencia de sistema con la frecuencia de filtrado. O es el parámetro de frecuencia de recepción de instrumento, P es la frecuencia nominal de transductor de impulsos y R es la frecuencia nominal de transductor de recepción. "TTU filtrado" es la medición de control usando una ráfaga de tono a través del sistema ultrasónico de transmisión con el receptor sintonizado a 1 MHz y tanto el transductor de recepción como el de transmisión a una frecuencia nominal de 1 MHz. Según la presente invención, el filtro era un filtro de 1 megahercio con un ancho de banda de diez por ciento, denominado un filtro en línea "ancha" dado que el otro filtro tenía un ancho de banda de dos por ciento.

35 Así, las diferentes realizaciones ventajosas proporcionan un método y un aparato para medir materiales de porosidad. Se transmite una señal en el material y se recibe una respuesta desde la señal transmitida. Esta señal recibida se filtra para pasar solo un intervalo seleccionado de frecuencias. La señal filtrada se compara con una señal de referencia para identificar el nivel de porosidad del material. De esta manera, una señal filtrada por el sistema de medición ultrasónica puede compararse con un punto de datos de referencia o señal de referencia, tal como aquel encontrado en una curva de atenuación, para determinar el nivel de porosidad del material. El uso del filtro permite que se usen los mismos datos por sistemas de medición ultrasónica diferentes, que pueden tener diferentes características y seguir obteniendo un resultado consistente.

40 La descripción de las diferentes realizaciones ventajosas se ha presentado con fines de ilustración y descripción, y no está destinada a ser exhaustiva o limitativa a la invención en la forma divulgada. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos habituales en la técnica. Además, diferentes realizaciones ventajosas pueden proporcionar diferentes ventajas en comparación con otras realizaciones ventajosas. La realización o realizaciones seleccionadas se eligen y se describen con el fin de explicar mejor los principios de la invención, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos habituales en la técnica entiendan la invención para diversas realizaciones con diversas modificaciones cuando se adaptan al uso particular contemplado.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para medir la porosidad en un material compuesto (314; 414), comprendiendo el método:  
emitir una señal ultrasónica (312; 412; 512) desde un transductor de transmisión (306; 406; 508) en un sistema de medición ultrasónica (300; 400; 500) al material compuesto;
- 5 recibir una señal de respuesta (316; 416) en un transductor de recepción (308; 408; 508) en el sistema de medición ultrasónica desde el material compuesto;  
filtrar la señal de respuesta usando un filtro (310) para pasar solo frecuencias en la señal de respuesta dentro de un intervalo de frecuencia seleccionado para formar una señal de respuesta filtrada, en el que:  
el filtro adopta la forma de un filtro de paso de banda; y
- 10 el filtro es uno de: un filtro de 1 MHz con un diez por ciento de ancho de banda, un filtro de 2,00 MHz más o menos diez por ciento o un filtro de paso de banda que tiene una frecuencia central de 5,0 MHz con un intervalo de más o menos diez por ciento; y  
identificar un nivel de porosidad del material compuesto usando la señal de respuesta filtrada.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de identificación comprende:
- 15 comparar la señal de respuesta filtrada a una curva de atenuación (318; 418; 518) para formar una comparación; e  
identificar el nivel de porosidad del material compuesto basándose en la comparación.
3. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de filtrado comprende:  
filtrar la señal de respuesta con el filtro situado aguas abajo del transductor de recepción para pasar solo una parte de la señal de respuesta con el intervalo de frecuencia seleccionado.
- 20 4. Método según cualquier reivindicación anterior en el que el filtro es un filtro de hardware o un filtro de software.
5. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende, además:  
comparar, mediante un controlador, el nivel de porosidad con requisitos para diferentes partes para determinar si el material compuesto pasa la inspección.
- 25 6. Sistema de medición ultrasónica (300; 400; 500) para medir la porosidad en un material compuesto (314; 414), comprendiendo el sistema de medición ultrasónica:  
un receptor/generador de impulsos ultrasónico (304) capaz de generar una señal de ultrasonido (312; 412; 512);  
un transductor de transmisión (306; 406; 508) conectado al receptor/generador de impulsos ultrasónico, en el que el transductor de transmisión está configurado para transmitir la señal de ultrasonido en el material compuesto;
- 30 un transductor de recepción (308; 408; 508) configurado para recibir una señal de respuesta (13; 416) desde el material compuesto;  
un filtro configurado para filtrar la señal de respuesta recibida por el transductor de recepción para formar una respuesta modificada que incluye solo frecuencias dentro de un intervalo seleccionado en el que:  
el filtro adopta la forma de un filtro de paso de banda; y
- 35 el filtro es uno de: un filtro de 1 MHz con un diez por ciento de ancho de banda, un filtro de 2,00 MHz más o menos diez por ciento o un filtro de paso de banda que tiene una frecuencia central de 5,0 MHz con un intervalo de más o menos diez por ciento;  
en el que el receptor/generador de impulsos ultrasónico (304) está conectado al transductor de recepción y el receptor/generador de impulsos ultrasónico está configurado para enviar la señal de respuesta filtrada a una unidad de control (302; 402; 502) para su procesamiento; y
- 40 el sistema de medición ultrasónica comprende, además:  
la unidad de control (302; 402; 502) en el que la unidad de control está configurada para identificar un nivel de porosidad del material compuesto usando la señal de respuesta filtrada.
7. Sistema de medición ultrasónica según la reivindicación 6, en el que la etapa de identificación comprende:  
comparar la señal de respuesta filtrada a una curva de atenuación (318; 418; 518) para formar una comparación; e

identificar el nivel de porosidad del material compuesto basándose en la comparación.

8. Sistema de medición ultrasónica según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el filtro es un filtro de paso de banda de hardware y conecta el receptor/generador de impulsos ultrasónico al transductor de recepción.

5 9. Sistema de medición ultrasónica según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el filtro es un filtro de hardware o un filtro de software.

10. Sistema de medición ultrasónica según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el filtro es un filtro de software situado en el receptor/generador de impulsos ultrasónico.

10 11. Sistema de medición ultrasónica según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que la unidad de control está configurada, además, para comparar el nivel de porosidad con requisitos para diferentes partes para determinar si el material compuesto pasa la inspección.

12. Sistema de medición ultrasónica según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que el sistema de medición ultrasónica es uno de un sistema mediante transmisiones y un sistema de eco por impulsos.

15 13. Sistema de medición ultrasónica según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que el transductor de transmisión y el transductor de recepción se combinan y se disponen en una configuración de eco por impulsos de transductor único, en el que el transductor único funciona tanto como el transductor de transmisión para emitir la señal de ultrasonido en el material compuesto como el transductor de recepción para recibir la señal de respuesta atenuada desde el material compuesto.

14. Sistema de medición ultrasónica según la reivindicación 13, que comprende, además:

una caja de diodo (506) u otros medios configurados para dirigir la señal de respuesta (516) a través del filtro (510).

20

100

	INTEGRADOR DE SISTEMAS	TERCERO	OPERARIO
102 ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO	X	X	X
104 ABASTECIMIENTO DE MATERIAL	X	X	
106 FABRICACIÓN DE COMPONENTES Y SUBCONJUNTOS	X	X	
108 INTEGRACIÓN DE SISTEMAS	X		
110 CERTIFICACIÓN Y ENVÍO	X		
112 SERVICIO			X
114 MANTENIMIENTO Y SERVICIO	X	X	X

FIG. 1

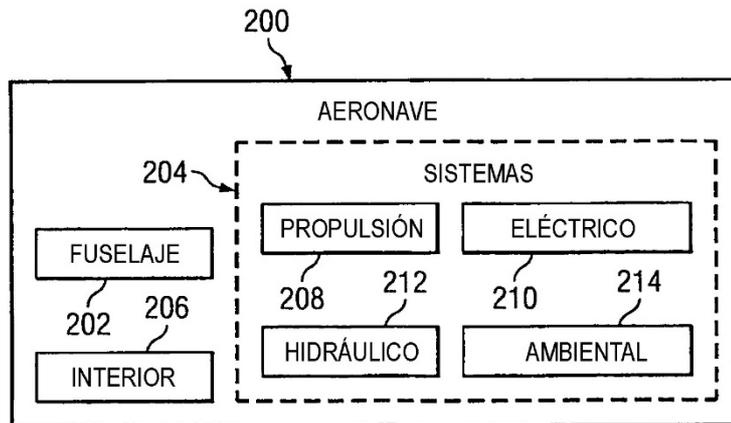


FIG. 2

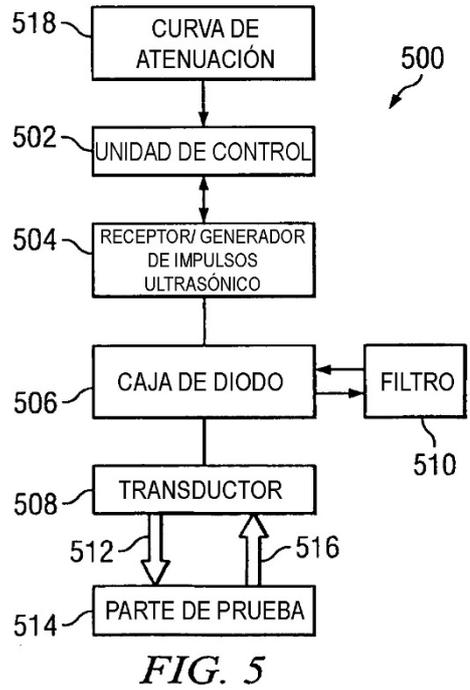
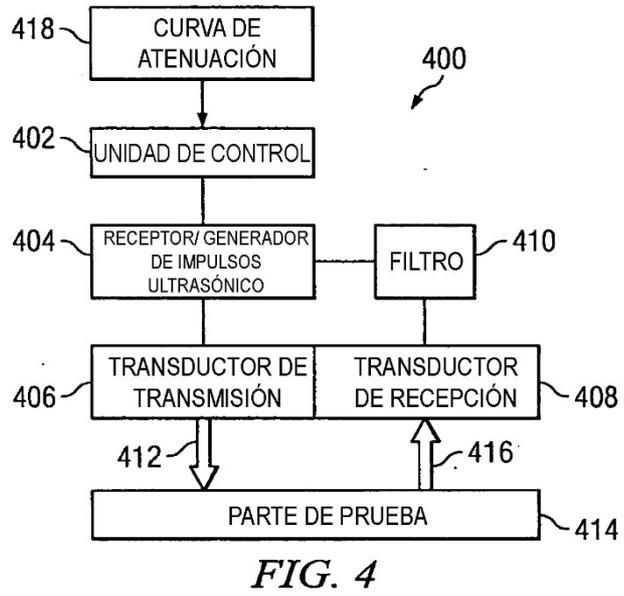
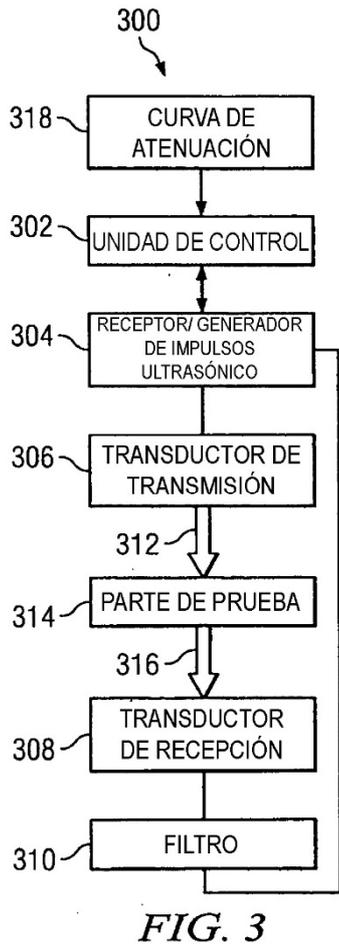
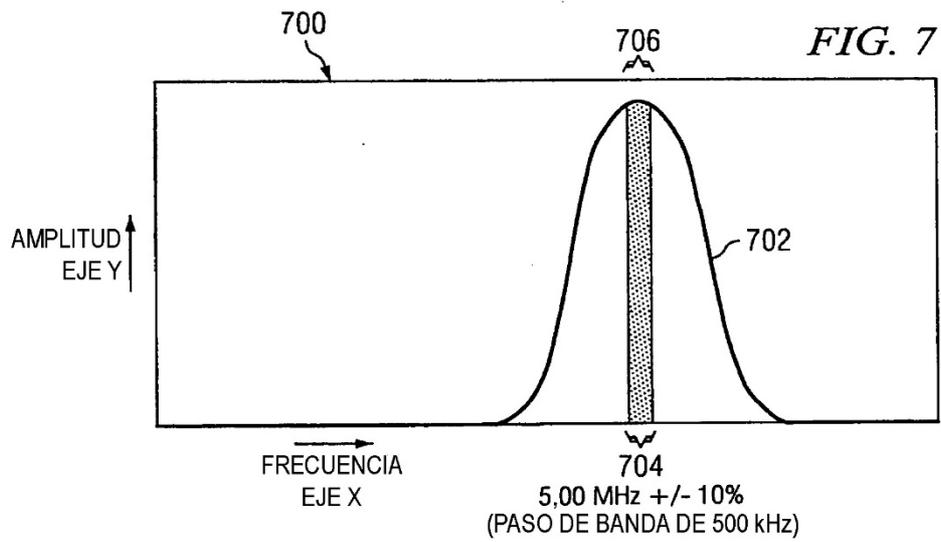
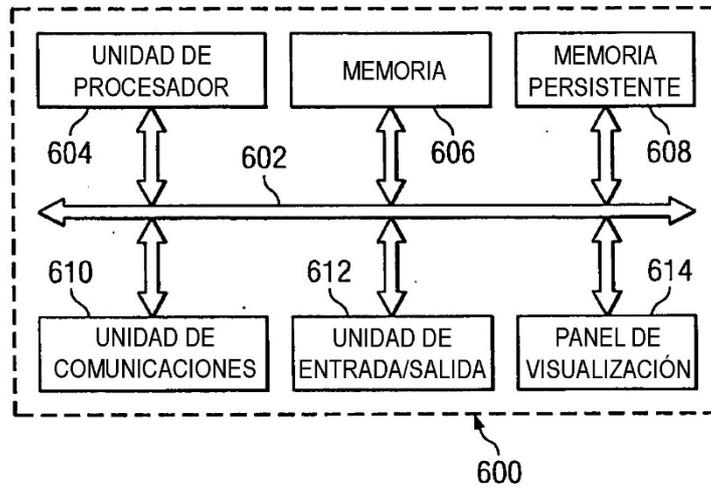
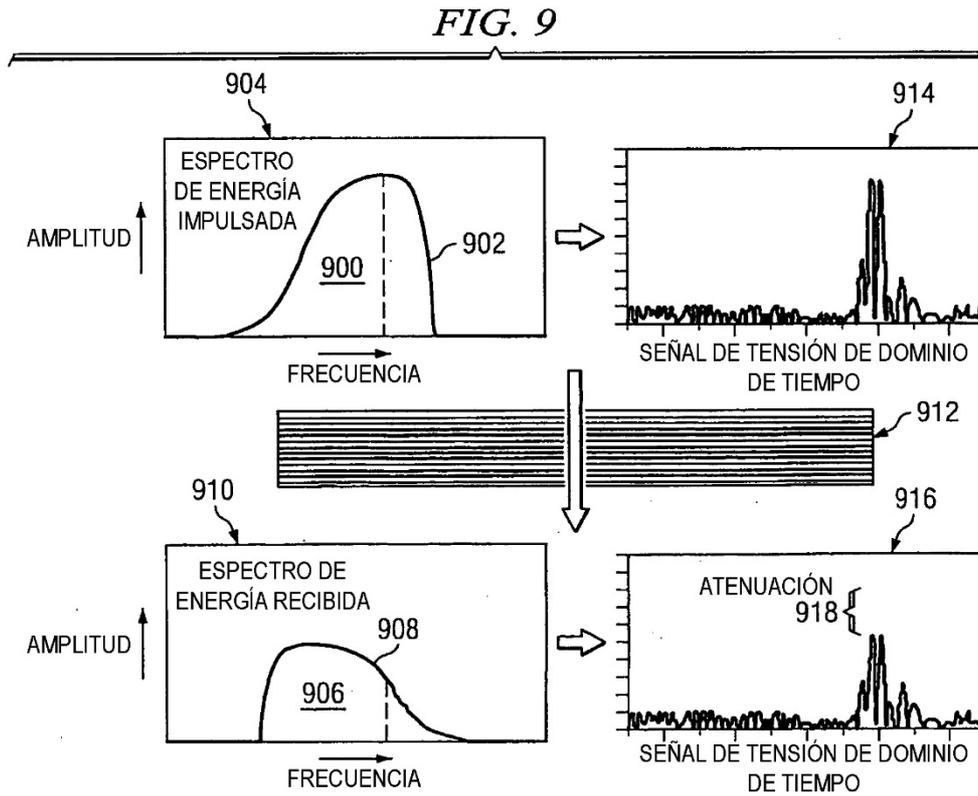
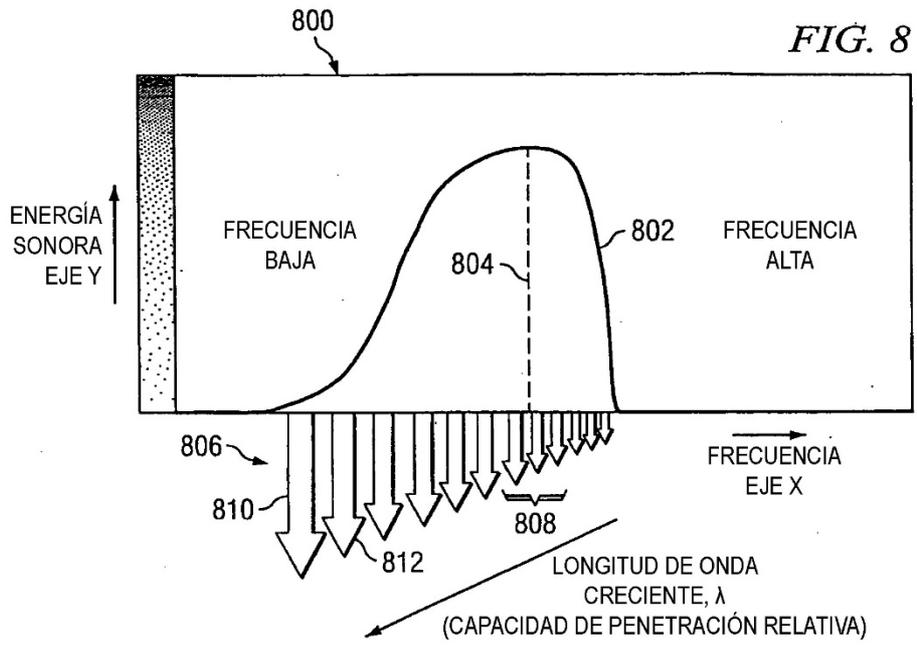
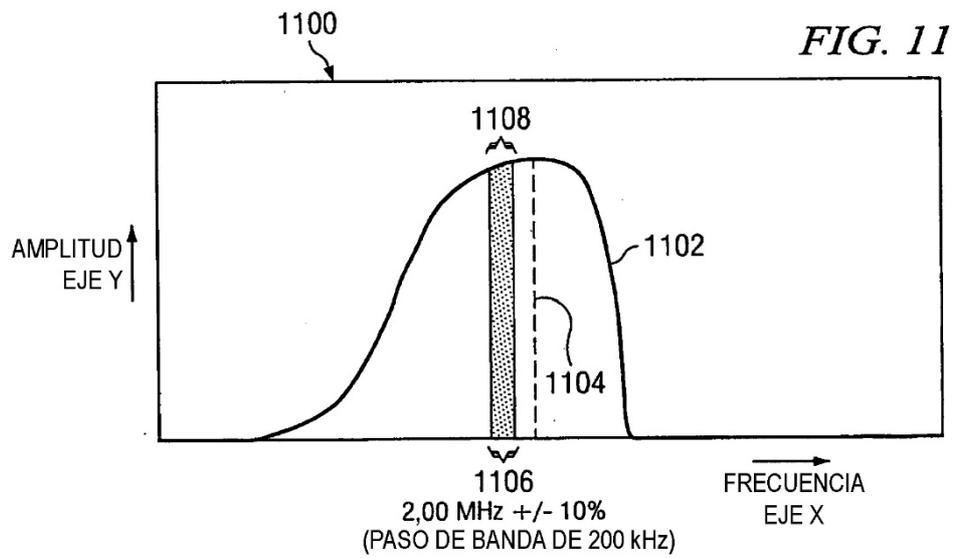
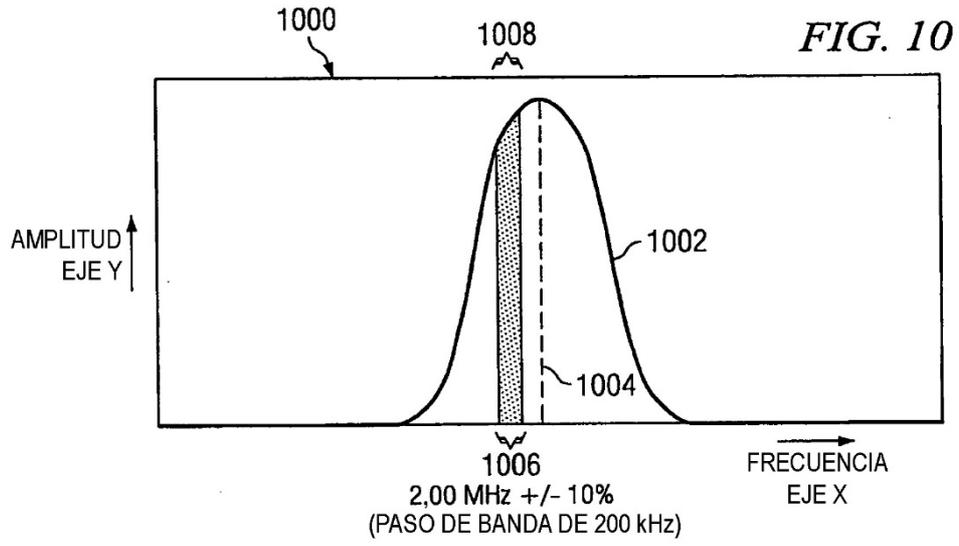
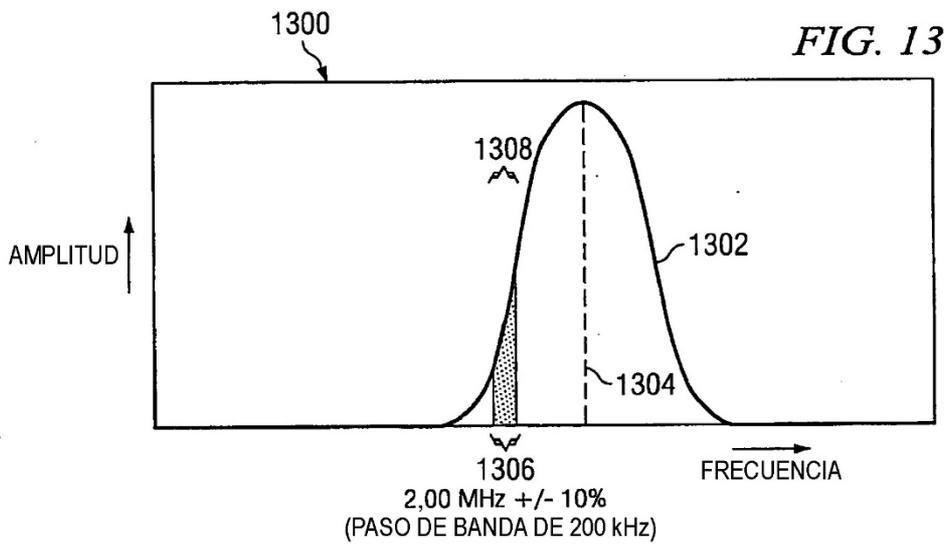
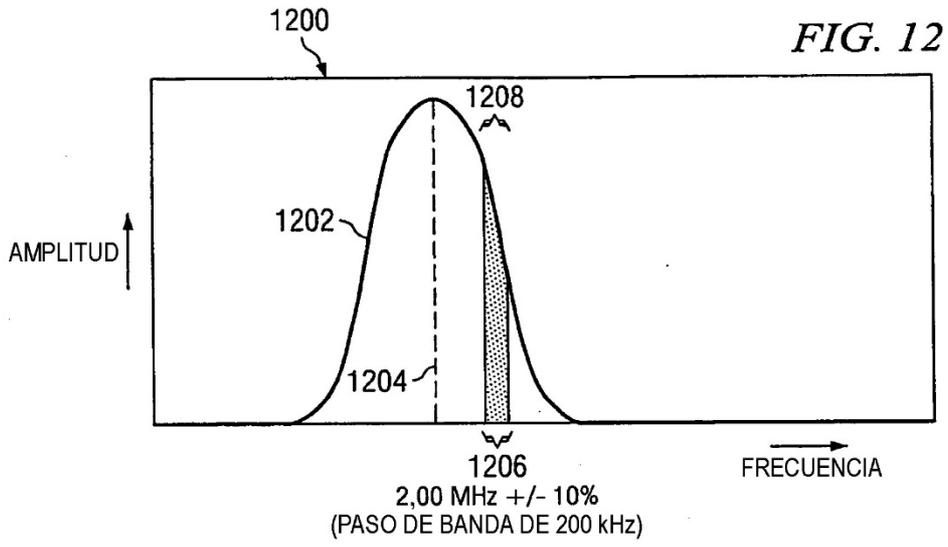


FIG. 6









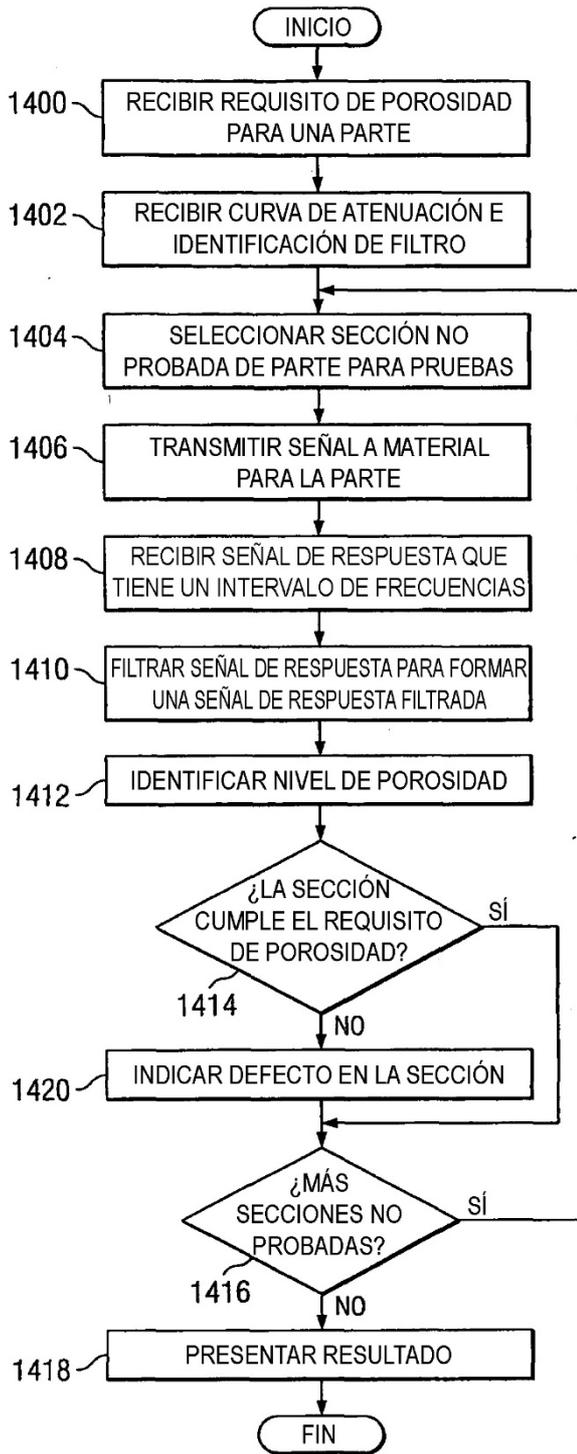


FIG. 14

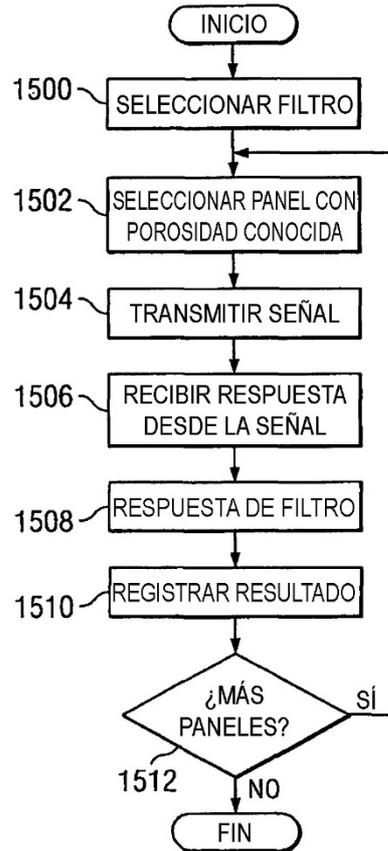
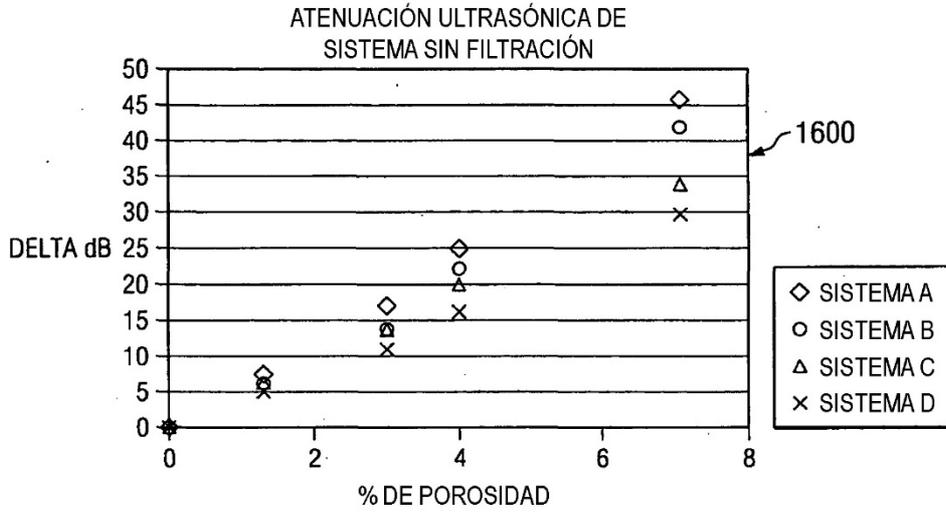
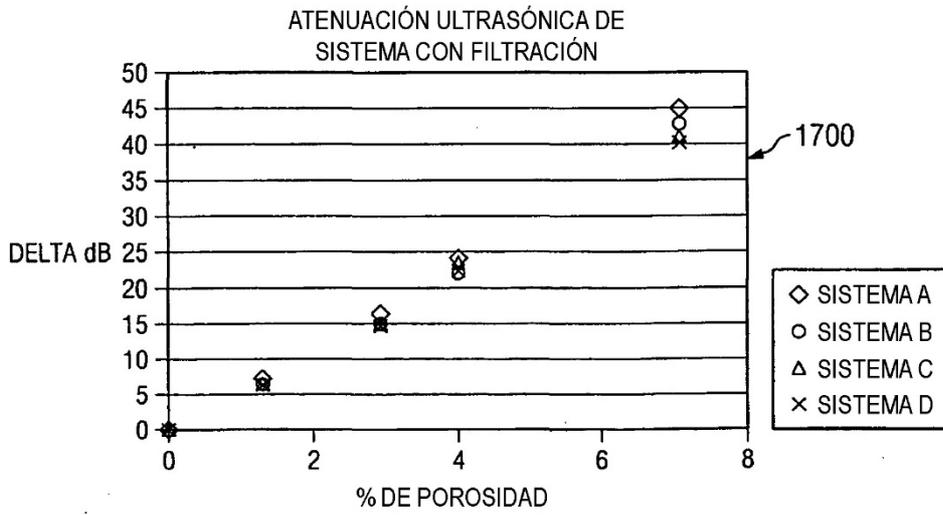


FIG. 15



*FIG. 16*



*FIG. 17*

ATENUACIÓN CON POROSIDAD EN MUESTRAS DE 64 CAPAS, FILTRADAS POR UN FILTRO EN LÍNEA ANCHA DE 1M

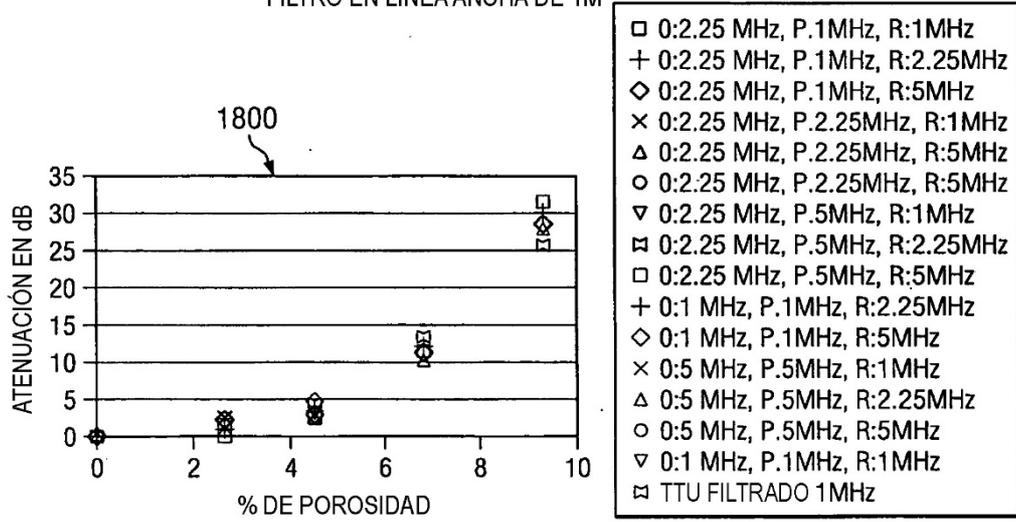


FIG. 18