

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 707**

51 Int. Cl.:

G01S 7/52 (2006.01)

A61B 8/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.02.2014 PCT/EP2014/053264**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14128182**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2014 E 14705516 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2959312**

54 Título: **Procedimiento de elastografía por múltiples pulsos**

30 Prioridad:

19.02.2013 FR 1351405

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

03.04.2018

73 Titular/es:

ECHOSENS (100.0%)

30 Place d'Italie

75013 Paris, FR

72 Inventor/es:

SANDRIN, LAURENT y

BASTARD, CÉCILE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 661 707 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

Procedimiento de elastografía por múltiples pulsos

Ámbito técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de elastografía por múltiples pulsos para la medición cuantitativa de al menos una propiedad mecánica de un medio viscoelástico que, previa iluminación ultrasónica, presenta una señal ultrasónica. En una aplicación no limitativa, la invención se refiere a un procedimiento de elastografía por múltiples pulsos para la medición cuantitativa de la elasticidad y de la viscosidad de un órgano humano o animal, por ejemplo el tejido hepático.

Estado de la técnica anterior

10 Es conocido un procedimiento para observar simultáneamente la propagación de una onda impulsiva de torsión de baja frecuencia en una multitud de puntos de un medio viscoelástico difusor. Para tal efecto, se emiten a cadencia ultrarrápida ondas ultrasónicas de compresión que permiten obtener una sucesión de medidas del medio y luego se tratan en tiempo diferido, e incluso real, las medidas así obtenidas, para determinar los movimientos del medio en la propagación de la onda de torsión.

15 La solicitud de patente FR 2843290 describe un dispositivo para la medición de la elasticidad de un órgano que, previa iluminación ultrasónica, presenta una señal ultrasónica, comprendiendo el dispositivo un transductor ultrasónico, y un servoactuador electrodinámico apto para hacer vibrar a baja frecuencia el transductor para emitir una onda de torsión dentro del tejido. La onda de torsión presenta una banda frecuencial cuya frecuencia central está determinada, las frecuencias colindantes de la frecuencia central son muy atenuadas, de modo que tan solo se
20 pueden obtener datos en frecuencias muy próximas a la frecuencia central. Así resulta que las mediciones efectuadas no permiten caracterizar por completo el tejido.

Asimismo existe una tecnología que se denomina elastografía por fuerza de radiación ultrasónica (también conocida por el acrónimo ARFI) por cuyo intermedio son puestos en movimiento los tejidos por la acción de una fuerza
25 producida por la presión de la radiación procedente de un haz ultrasónico. Este desplazamiento se corresponde con la generación de tensiones de cizalladura en los tejidos y se manifiesta con la propagación de una onda de torsión. En el caso de la ARFI, la onda de torsión se ve atenuada muy rápidamente y generalmente se propaga en menos de una longitud de onda. En estas condiciones, es difícil estudiar las características frecuenciales de la onda de torsión. Por lo tanto, lo que generalmente interesa a los científicos que utilizan esta técnica es el estudio de los tiempos de subida o de relajación y la amplitud de los desplazamientos (cf. patente US 2010/069751 y WO 2011/064688).
30 Modulando el haz ultrasónico, es decir, las emisiones ultrasónicas, por ejemplo en cuanto a frecuencia, a amplitud o a cadencia, es posible modular los desplazamientos inducidos en los tejidos. Algunos equipos han propuesto, por tanto, utilizar sucesivamente varios tipos de excitaciones ultrasónicas de propiedades diferentes con el fin de modular la respuesta del tejido en cuanto a desplazamiento máximo observado, a tiempo de subida y a tiempo de relajación (cf. patente US 2010/069751). Sin embargo, la modulación de los parámetros de las emisiones
35 ultrasónicas no permite modular con precisión los desplazamientos de los tejidos, en particular su contenido frecuencial. Efectivamente, los desplazamientos generados por la fuerza de presión de radiación dependen del coeficiente de absorción de los tejidos.

En este contexto, la invención está encaminada a proponer un procedimiento de elastografía que permita superar los inconvenientes del estado de la técnica y, en especial, está encaminada a un procedimiento de elastografía que
40 permita obtener rápidamente medidas cuantitativas precisas de las propiedades mecánicas de un órgano humano o animal.

Resumen de la invención

Para este fin, la invención recae sobre un procedimiento de elastografía por múltiples pulsos para la medición
45 cuantitativa de al menos una propiedad mecánica de un medio viscoelástico que, previa iluminación ultrasónica, presenta una señal ultrasónica, incluyendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- definición de las características de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia, que presentan una frecuencia central comprendida entre 10 Hz y 5000 Hz,
- generación, por intermedio de un actuador electrodinámico, de dichos al menos dos pulsos mecánicos,
- seguimiento de la propagación en un medio viscoelástico de al menos dos ondas de torsión producidas por
50 dichos al menos dos pulsos mecánicos por medio de emisión y adquisición de señales ultrasónicas,
- cálculo de al menos una propiedad mecánica de dicho medio viscoelástico por medio de dichas adquisiciones de dichas señales ultrasónicas.

En una puesta en práctica no limitativa, para cada uno de los pulsos mecánicos, al menos una de las características

definidas es diferente. Sin carácter limitativo, se entiende por característica del pulso mecánico una frecuencia central, una amplitud, un número de períodos y/o un perfil temporal determinado.

5 La invención que se propone permite realizar una adquisición de elastografía por pulsos que consta de una serie de pulsos que presentan, por ejemplo, características diferentes, tales como frecuencias centrales determinadas diferentes. En este ejemplo no limitativo, cada pulso permite estudiar una banda frecuencial situada en torno a su frecuencia central determinada. Esta particularidad permite caracterizar el medio en un importante margen frecuencial.

10 Aparte de las características que se acaban de reseñar en el párrafo precedente, el procedimiento según la invención puede presentar una o varias características complementarias de entre las siguientes, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente realizables.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, el procedimiento incluye una etapa de reiteración de la etapa de generación, de la etapa de seguimiento y de la etapa de cálculo.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, la reiteración se realiza entre 1 y 1000 veces, preferentemente entre 1 y 20 veces.

15 En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, la al menos una característica diferente es la amplitud.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, cada pulso mecánico presenta una amplitud comprendida entre 10 μm y 10 mm, preferentemente entre 100 μm y 5 mm.

20 En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, la al menos una característica diferente es el perfil temporal y/o el número de períodos.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, la al menos una característica diferente es la frecuencia central.

25 En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, cada pulso mecánico que sucede a un pulso mecánico presenta una frecuencia central inferior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, cada pulso mecánico que sucede a un pulso mecánico presenta una frecuencia central superior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede.

30 En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, las bandas frecuenciales de al menos dos pulsos mecánicos se solapan parcialmente.

En una puesta en práctica no limitativa del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos, cada pulso mecánico presenta una frecuencia central comprendida entre 20 Hz y 1000 Hz.

35 Asimismo, la invención recae sobre un dispositivo de elastografía por múltiples pulsos que incluye un generador de vibración apto para generar una pluralidad de pulsos mecánicos, generando cada pulso mecánico una onda de torsión en un medio viscoelástico, y al menos un transductor ultrasónico apto para emitir y adquirir señales ultrasónicas, estando dicho dispositivo caracterizado por que es apto para llevar a la práctica las etapas del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos según la invención.

40 En una puesta en práctica no limitativa, el generador de vibración es un servoactuador electrodinámico y es apto para hacer vibrar a baja frecuencia el transductor (esta vibración es un pulso mecánico) para emitir una onda de torsión dentro del tejido. La presente invención propone, pues, modificar las características del gobierno de este actuador electrodinámico (por tanto, del pulso mecánico) con el fin de modular de manera precisa las características de la onda de torsión generada y, en particular, su contenido frecuencial. Las características de una onda de torsión generadas por un pulso mecánico cuyas propiedades son conocidas se pueden calcular, por ejemplo, por medio de funciones de Green elastodinámicas.

45 **Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán claramente de la descripción que de la misma se da a continuación, a título indicativo y sin carácter limitativo alguno, haciendo referencia a las figuras que se acompañan, en las cuales:

50 la figura 1 ilustra un sinóptico de las etapas de un procedimiento de elastografía por múltiples pulsos según la invención;

la figura 2 ilustra, de manera esquemática, un ejemplo de realización de un dispositivo de elastografía por múltiples

pulsos según la invención;

la figura 3 ilustra tres pulsos mecánicos que presentan cada uno de ellos una frecuencia central diferente, habiéndose generado los tres pulsos mecánicos por intermedio del procedimiento según la invención;

5 la figura 4 ilustra pulsos mecánicos que presenta un número de períodos diferente, habiéndose generado los pulsos mecánicos mediante el procedimiento según la invención; y

la figura 5 ilustra una reiteración de los tres pulsos mecánicos que se ilustran en la figura 3.

En todas las figuras, los elementos comunes llevan los mismos números de referencia.

Descripción detallada de al menos una forma de realización no limitativa de la invención

10 La figura 1 ilustra un sinóptico de las etapas del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 según la invención.

El procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 incluye especialmente una etapa de definición 101 de las características de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia. En este ejemplo, para cada uno de los pulsos mecánicos, al menos una de las características definidas es diferente.

15 Sin carácter limitativo, un pulso mecánico puede estar caracterizado por una frecuencia central, una amplitud, un número de períodos y/o un perfil temporal determinado.

De este modo, en esta etapa de definición 101, un operador puede, por ejemplo, definir un perfil temporal de tipo rampa para un primer pulso, un perfil temporal de tipo seno apodizado para un segundo pulso, un perfil temporal de tipo escalón para un tercer pulso, un perfil temporal de tipo gaussiano para un cuarto pulso y un perfil temporal de tipo sinusoidal para un quinto pulso.

20 A título ilustrativo, un perfil temporal de tipo sinusoidal puede estar definido por la siguiente fórmula:
 $S(t) = A \sin(2\pi ft)$

donde:

- $t \in [0 \text{ n } T]$
- T es el período de la señal, $T = 1/f$
- 25 - n es el número de períodos, y
- A es la amplitud.

En el caso de pulsos mecánicos que presentan un perfil temporal de tipo sinusoidal, es posible hacer variar la frecuencia, el número de períodos y/o la amplitud. A título de ejemplo, cada pulso mecánico puede presentar una amplitud comprendida entre 10 μm y 10 mm, preferentemente entre 100 μm y 5 mm.

30 En resumen, en esta etapa de definición 101, cada pulso mecánico presenta una característica diferente con respecto a los demás pulsos mecánicos definidos. Dicho de otro modo, cada uno de los pulsos mecánicos definidos es diferente de los demás pulsos mecánicos definidos.

35 El procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 incluye además una etapa de generación 102 de los al menos dos pulsos mecánicos definidos en la etapa de definición 101 precedente, generando cada uno de los al menos dos pulsos mecánicos una onda de torsión en un medio viscoelástico, al objeto de que esta onda se propague a través de este medio viscoelástico.

40 Estos pulsos mecánicos (que indistintamente se denominan pulsos de baja frecuencia) pueden ser generados por medio de un vibrador de baja frecuencia, de un altavoz o cualquier otro tipo de generador de vibración 2 (cf. figura 2) apto para generar una pluralidad de pulsos mecánicos, generando cada pulso mecánico una onda de torsión de baja frecuencia en un medio viscoelástico, tal como un tejido biológico humano o animal. La activación de la etapa de generación 102 se puede efectuar automática o manualmente. Una activación manual se efectúa mediante una presión ejercida por un operador sobre un botón de activación, en tanto que una activación automática se puede realizar simplemente en el momento mismo en que se ejerce una presión del medio viscoelástico hacia el generador de vibración.

45 Estos pulsos mecánicos presentan cada uno de ellos una frecuencia central determinada. La frecuencia central determinada de estos pulsos mecánicos se elige entre una frecuencia mínima, que es, por ejemplo, de 10 Hz, y una frecuencia máxima, que es, por ejemplo, de 5000 Hz.

El procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 incluye asimismo una etapa de seguimiento 103 de la

propagación por el medio viscoelástico de las al menos dos ondas de torsión. Seguimiento 103 este que se realiza por medio de emisión de señales ultrasónicas en el medio viscoelástico y de adquisición de señales ultrasónicas reflejadas por el medio viscoelástico.

5 Esta etapa de seguimiento 103 se realiza por medio de un transductor ultrasónico 3 monoelemento o multielementos.

En un ejemplo no limitativo, cada pulso mecánico presenta una frecuencia central determinada diferente, en otras palabras, un período diferente. Por ende, cada pulso mecánico presenta una banda frecuencial diferente, estando formada esta banda frecuencial por la frecuencia central del pulso mecánico y las frecuencias colindantes de la frecuencia central.

10 A título de ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 3, en la puesta en práctica del procedimiento según la invención sobre el tejido hepático:

- una primera onda de torsión es generada por intermedio de un primer pulso mecánico IM1 producido por el vibrador de baja frecuencia 2, presentando este primer pulso mecánico IM1 una frecuencia central determinada de 50 Hz;
- 15 - una segunda onda de torsión es generada por intermedio del vibrador de baja frecuencia 2, esta segunda onda de torsión procede de un segundo pulso mecánico IM2 que presenta una frecuencia central determinada de 75 Hz;
- una tercera onda de torsión es generada por intermedio del vibrador de baja frecuencia 2, esta tercera onda de torsión procede de un tercer pulso mecánico IM3 que presenta una frecuencia central determinada de 100 Hz.

20 En este ejemplo, las bandas frecuenciales de los pulsos mecánicos IM1, IM2 e IM3 causantes de las ondas de torsión se solapan parcialmente. Más concretamente, la banda frecuencial del primer pulso mecánico IM1 que genera la primera onda de torsión solapa parcialmente la banda frecuencial del segundo pulso mecánico IM2 que genera la segunda onda de torsión, y la banda frecuencial del segundo pulso mecánico IM2 que genera la segunda onda de torsión solapa parcialmente la banda frecuencial del tercer pulso mecánico IM3 que genera la tercera onda de torsión. Por ende, la banda frecuencial total está formada por la suma de las tres bandas frecuenciales. Esta banda frecuencial total permite caracterizar el tejido hepático de manera más precisa que una banda frecuencial más reducida.

25 En este ejemplo, cada pulso mecánico (pulso mecánico IM2 que genera la segunda onda de torsión) que sucede a un pulso mecánico (pulso mecánico IM1 que genera la primera onda de torsión) presenta una frecuencia central superior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede (pulso mecánico IM1 que genera la primera onda de torsión).

30 Interesa señalar que esta puesta en práctica no es limitativa, por lo que, en una puesta en práctica diferente, no ilustrada, del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 según la invención, cada pulso mecánico (pulso mecánico IM2 que genera la segunda onda de torsión) que sucede a un pulso mecánico (pulso mecánico IM1 que genera la primera onda de torsión) presenta una frecuencia central inferior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede (pulso mecánico IM1 que genera la primera onda de torsión). Esta puesta en práctica permite ventajosamente que no se perturben mutuamente dos ondas de torsión que se suceden. En efecto, cuanto más elevada es la frecuencia, más rápidamente se atenúa la onda de torsión. De este modo, si el primer pulso IM1 que genera la primera onda de torsión presenta una frecuencia central del orden de 100 Hz, es decir, superior a la frecuencia central (75 Hz) del segundo pulso IM2 que genera la segunda onda de torsión, entonces la primera onda de torsión se atenuará más rápidamente que la segunda onda de torsión, reduciendo así el riesgo de perturbación entre ambas ondas de torsión.

35 En una puesta en práctica diferente, ilustrada en la figura 4, cada pulso mecánico definido puede presentar un número de períodos diferente. Por ejemplo, el primer pulso IM11 presenta un período, el segundo pulso IM12 presenta dos períodos y el tercer pulso IM13 presenta tres períodos.

El procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 incluye además una etapa de cálculo 104 de al menos una propiedad mecánica del medio viscoelástico por medio de las adquisiciones de las señales ultrasónicas. Esta etapa de cálculo se puede realizar en cuanto se termina la etapa 103.

40 En una puesta en práctica no limitativa, el procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 incluye además una etapa de reiteración 105, consistente en reiterar al menos una vez las etapas de generación 102, de seguimiento 103 y de cálculo 104.

A título de ejemplo ilustrado en la figura 5, la reiteración 105 de la etapa de generación 102 se efectúa 1 vez. En este caso, los tres pulsos y, por tanto, las tres ondas de torsión se generan dos veces en el medio viscoelástico.

5 En una puesta en práctica diferente, la reiteración 105 se efectúa 20 veces. Cuando la característica que varía para cada pulso que genera la onda de torsión es la frecuencia, un número de veces limitado permite cubrir una banda frecuencial suficiente para caracterizar un tejido biológico, al propio tiempo que queda limitado en el tiempo al objeto de evitar que el tejido biológico se mueva, por ejemplo debido a los movimientos biológicos internos tales como la respiración.

10 En una puesta en práctica no limitativa, la reiteración 105 de las etapas 102, 103 y 104 de generación, de seguimiento y de cálculo es activada de manera automática. Dicho de otro modo, el operador que utiliza el dispositivo de elastografía por múltiples pulsos 1 que lleva a la práctica el procedimiento 100 según la invención no necesita activar la etapa de reiteración 105, activándose esta etapa 105 de manera automática. Dicho de otro modo, el número de reiteraciones 105 lo puede predefinir el operario con anterioridad a la activación del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100.

En una puesta en práctica diferente, la reiteración 105 de las etapas de generación, de seguimiento y de cálculo es activada de manera manual, en otras palabras, por el operador.

15 Por lo tanto, la invención que se propone permite realizar una adquisición de elastografía por pulsos de tipo elastografía por pulsos de vibración controlada (también conocida por el acrónimo VCTE) que consta de una serie de pulsos realizados, por ejemplo, a frecuencias centrales diferentes, comprendidas entre una frecuencia mínima y una frecuencia máxima. Cada pulso permite, por ejemplo, estudiar una banda frecuencial situada en torno a su frecuencia central. Yuxtaponiendo los resultados obtenidos sobre cada banda frecuencial, se obtiene una caracterización completa del medio en el margen formado de la frecuencia mínima a la frecuencia máxima.

20 El procedimiento 100 según la invención permite especialmente:

- explorar un amplio margen frecuencial (caracterización completa del medio),
- controlar las frecuencias utilizadas,
- combinar la información recibida en varias frecuencias diferenciadas,
- realizar un examen rápido y económico (frente a IRM),
- 25 - no desplazar la sonda dotada del transductor entre las diferentes adquisiciones (reducción de la variabilidad del punto de medición),
- hacer variar las frecuencias límite mínima y máxima según el medio estudiado,
- hacer variar el número de períodos,
- hacer variar la amplitud de las ondas de torsión,
- 30 - hacer variar la forma del pulso.

35 Asimismo, la invención recae sobre un dispositivo de elastografía por múltiples pulsos 1 que incluye un generador de vibración 2 apto para generar una pluralidad de pulsos mecánicos que dan origen a una pluralidad de ondas de torsión y al menos un transductor ultrasónico 3 apto para emitir y adquirir señales ultrasónicas. El dispositivo 1 es apto para llevar a la práctica las etapas del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos 100 según la invención, en otras palabras, el dispositivo 1 especialmente es apto para:

- definir 101, por intermedio de una interfaz hombre-máquina IHM 5, características de al menos dos pulsos mecánicos, produciendo cada pulso mecánico una onda de torsión, pudiendo ser diferente, para cada uno de los pulsos mecánicos, al menos una de las características definidas; pudiendo ser introducidas estas características, por medio de un teclado, por un operador,
- 40 - generar 102, por intermedio del generador de vibración 2, los al menos dos pulsos mecánicos definidos que dan origen a al menos dos ondas de torsión en un medio viscoelástico,
- seguir 103, por intermedio del transductor ultrasónico 3, la propagación por el medio viscoelástico de las al menos dos ondas de torsión por medio de emisión y de adquisición de señales ultrasónicas,
- 45 - calcular 104, por intermedio de un computador 4, al menos una propiedad mecánica del medio viscoelástico por medio de las adquisiciones de las señales ultrasónicas.

50 Interesa señalar que, para el conjunto de la descripción, en la etapa de definición 101 de las características de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia, cada uno de los pulsos mecánicos presenta al menos una característica diferente. Se sobreentiende que la invención no se limita a este modo de puesta en práctica, y puede presentar una etapa de definición 101 de las características de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia en cuyo transcurso las características de los al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia son idénticas. En

efecto, ciertos medios viscoelásticos tienen un tiempo de relajación (es decir, un tiempo de regreso al equilibrio) muy largo. En este caso, por tanto, el medio no tiene tiempo para recobrar su equilibrio entre los diferentes pulsos. De este modo, estudiando la propagación de las ondas de torsión generadas de manera consecutiva por varios pulsos similares, se puede obtener información acerca de las propiedades viscoelásticas del medio.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de elastografía por múltiples pulsos (100) para la medición cuantitativa de al menos una propiedad mecánica de un medio viscoelástico que, previa iluminación ultrasónica, presenta una señal ultrasónica, incluyendo dicho procedimiento (100) las siguientes etapas:
- 5 - definición (101) de las características de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia, que presentan una frecuencia central comprendida entre 10 Hz y 5000 Hz,
- generación (102) de dichos al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia cuyas características están definidas en un medio viscoelástico,
- 10 - seguimiento (103) de la propagación, en dicho medio viscoelástico, de las al menos dos ondas de torsión procedentes de dichos al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia por medio de emisión y adquisición de señales ultrasónicas,
- cálculo (104) de al menos una propiedad mecánica de dicho medio viscoelástico por medio de dichas adquisiciones de dichas señales ultrasónicas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, según el cual, para cada uno de los pulsos mecánicos de baja frecuencia, al menos una de las características definidas es diferente.
- 15 3. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que incluye una etapa de reiteración (105) de la etapa de generación (102), de la etapa de seguimiento (103) y de la etapa de cálculo (104).
4. Procedimiento según la anterior reivindicación 3, según el cual la reiteración (105) se realiza entre 1 y 1000 veces, preferentemente entre 1 y 20 veces.
- 20 5. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual al menos una característica diferente es la amplitud.
6. Procedimiento según la anterior reivindicación 5, según el cual cada pulso mecánico de baja frecuencia presenta una amplitud comprendida entre 10 μ m y 10 mm, preferentemente entre 100 μ m y 5 mm.
- 25 7. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual al menos una característica diferente es el perfil temporal.
8. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual al menos una característica diferente es el número de períodos.
9. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual al menos una característica diferente es la frecuencia central.
- 30 10. Procedimiento según la anterior reivindicación 9, según el cual cada pulso mecánico de baja frecuencia que sucede a un pulso mecánico de baja frecuencia presenta una frecuencia central inferior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede.
- 35 11. Procedimiento según la reivindicación 9, según el cual cada pulso mecánico de baja frecuencia que sucede a un pulso mecánico de baja frecuencia presenta una frecuencia central superior a la frecuencia central del pulso mecánico que lo precede.
12. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual las bandas frecuenciales de al menos dos pulsos mecánicos de baja frecuencia se solapan parcialmente.
13. Procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, según el cual cada pulso mecánico de baja frecuencia presenta una frecuencia central comprendida entre 20 Hz y 1000 Hz.
- 40 14. Dispositivo de elastografía por múltiples pulsos (1) que incluye un generador de vibración (2) apto para generar, en un medio viscoelástico, una pluralidad de ondas de torsión, y al menos un transductor ultrasónico (3) configurado para emitir y adquirir señales ultrasónicas, estando dicho dispositivo (1) caracterizado por que es apto para llevar a la práctica las etapas del procedimiento de elastografía por múltiples pulsos (100) según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones 1 a 13.

45

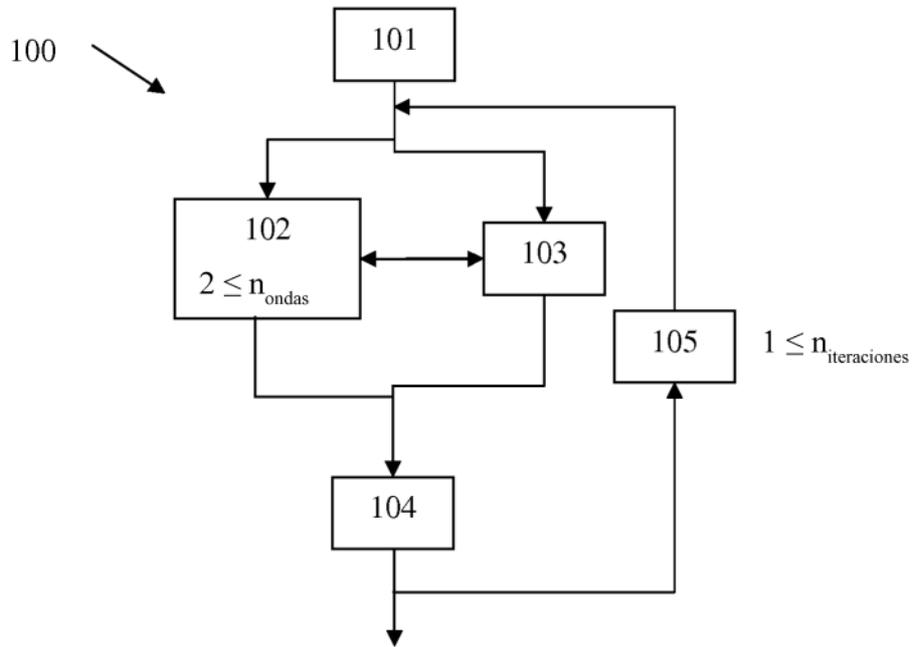


FIGURA 1

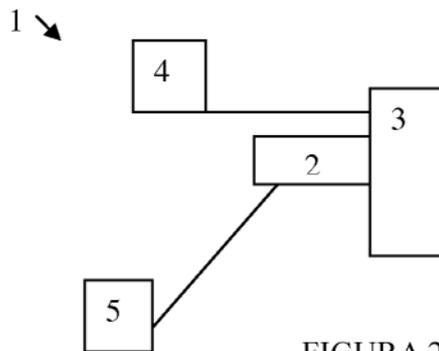


FIGURA 2

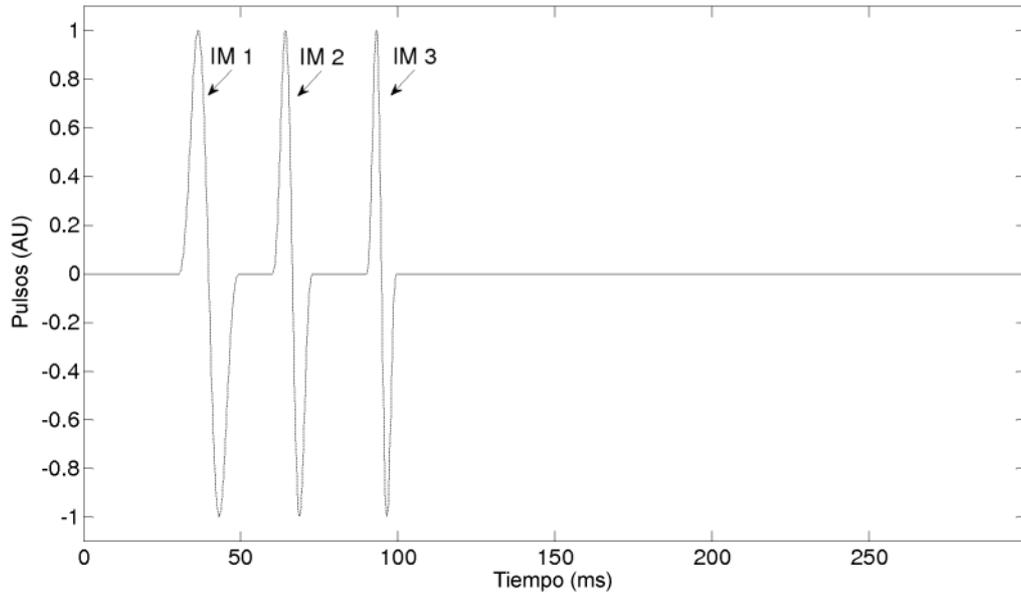


FIGURA 3

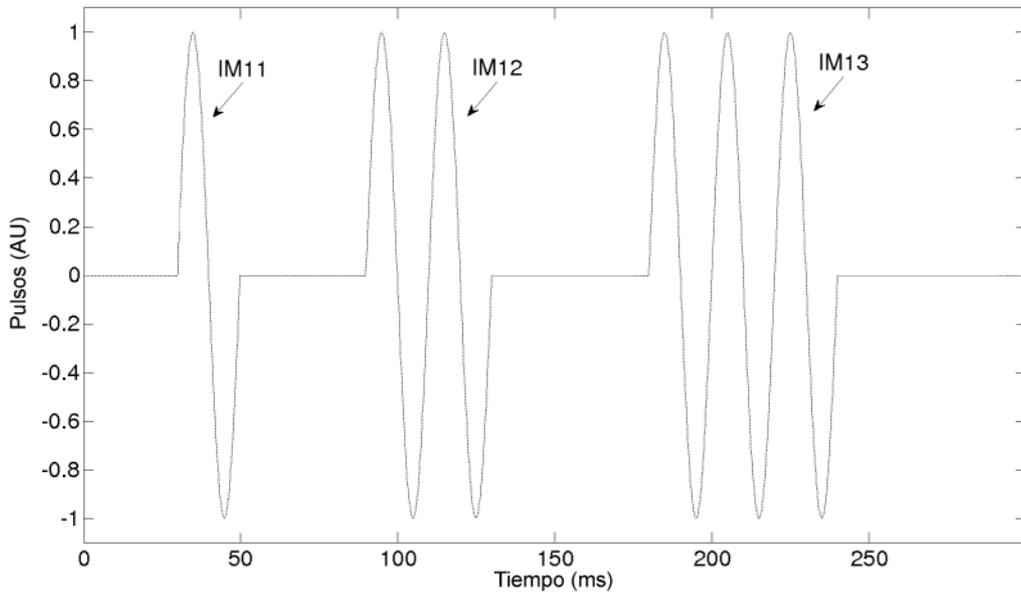


FIGURA 4

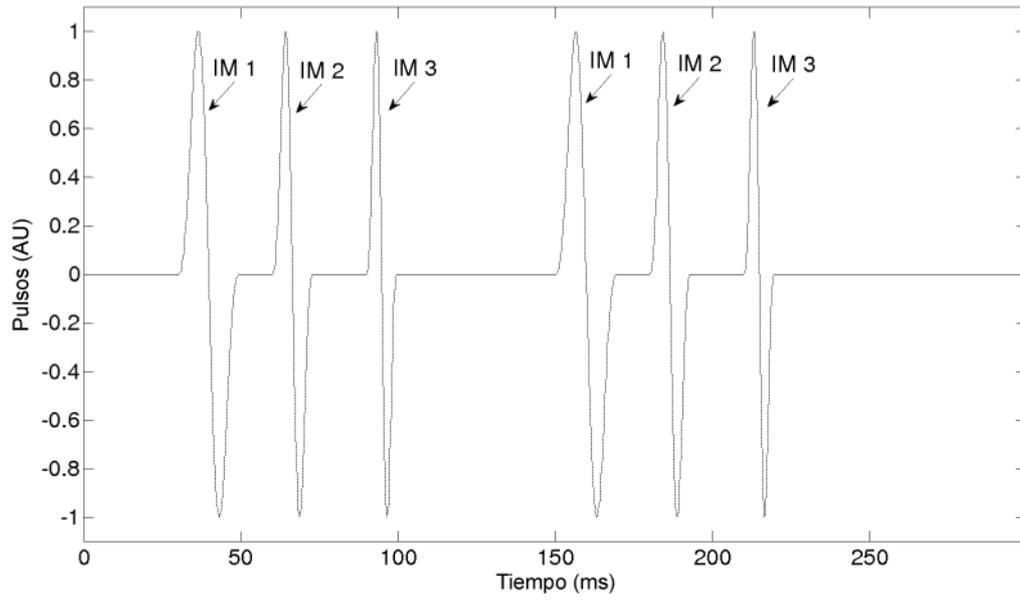


FIGURA 5