

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 292**

51 Int. Cl.:

G01N 29/024 (2006.01)

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/34 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2006 PCT/CA2006/001062**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2007 WO07000047**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2006 E 06752834 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 1907815**

54 Título: **Interferómetro ultrasónico avanzado y procedimiento de clasificación no lineal e identificación de materia usando el mismo**

30 Prioridad:

28.06.2005 CA 2510972

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

18.01.2021

73 Titular/es:

**SONOVUM GMBH (100.0%)
Perlickstr. 5
04103 Leipzig, DE**

72 Inventor/es:

WROBEL, MIROSLAW

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 802 292 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

Interferómetro ultrasónico avanzado y procedimiento de clasificación no lineal e identificación de materia usando el mismo

Campo de la invención

- 5 La presente invención pertenece al campo de la clasificación automatizada de una sustancia o de la determinación del estado de un proceso. Específicamente, se refiere a un interferómetro ultrasónico y a su uso para identificar la materia o el estado de un proceso.

Antecedentes de la invención

- 10 La patente estadounidense 5.388.583, presentada el 14 de febrero de 1995 de A. Ragauskas y col., titulada "*Method and Apparatus for Non-Invasively Deriving and Indicating of Dynamic Characteristics of the Human and Animal Intracranial Media*", describe una técnica que utiliza la fase y las características armónicas más altas de la señal de ultrasonidos transmitida para medir los cambios en el tejido cerebral. Este procedimiento se basa en señales ultrasónicas de pulso corto y las mediciones de tiempo se basan en el tiempo transcurrido entre la señal transmitida y la señal recibida. Este tiempo transcurrido, junto con un desplazamiento de fase, se utiliza para proporcionar una estimación del tiempo de desplazamiento total del pulso acústico corto de rápido aumento. Este procedimiento no permite una medición precisa del tiempo de desplazamiento, densidad, dispersividad y clasificación, ya que utiliza un solo tiempo de desplazamiento estimado y no tiene en cuenta los casos de múltiples frecuencias.

- 15 La patente alemana DE 103 24 990 de M. Wrobel y col., presentada el 4 de noviembre de 2004, titulada "*Vorrichtung zur Untersuchung eines flüssigen oder gasförmigen Mediums*", describe un interferómetro ultrasónico. No obstante, el interferómetro descrito en ese documento no se adapta al concepto de múltiples frecuencias al mismo tiempo. Este debe moverse a través de múltiples frecuencias, lo que le impide monitorizar los procesos rápidos. Además, el interferómetro ultrasónico descrito en este documento utiliza únicamente la fase de la señal y no puede solucionar el problema del desplazamiento de fase de 360 grados. Finalmente, no es un sistema escalable, pues las mediciones se basan en la geometría y las características de cada sensor individual. Esto significa que los perfiles aprendidos de un sistema no se pueden transferir a otro porque las características del sensor serán diferentes. El sistema descrito en la patente alemana DE 103 24 990 debe volver a aprender todo cuando se inicializa por primera vez.

- 20 La Solicitud de patente alemana DE 100 27 827 de M. Wrobel y col., presentada el 5 de junio del 2000, publicada el 6 de diciembre de 2001 y titulada "*Adaptive Klassifikationseinrichtung*" se refiere a un sistema de clasificación para las señales de ultrasonido FM que pasan a través del tejido humano. El sistema de clasificación utiliza un espectro de señal variable en el tiempo, es decir, un espectrograma, para conseguir la clasificación. En la presente invención, la clasificación se consigue midiendo los tiempos de desplazamiento.

- 25 La solicitud de PCT WO204/CA01401 de M. Wrobel y S. Stergiopoulos, publicada el 3 de febrero de 2005, titulada "*Non-Invasive Monitoring of Intracranial Dynamic Effects and Brain Density Fluctuations*", describe un interferómetro ultrasónico que requiere al menos dos pulsos de transmisión para su funcionamiento. Además, el concepto de "fase de frecuencia de pulsación", como se describe en el presente documento, es simplemente la diferencia de los desplazamientos de fase de dos transmisiones sucesivas, y no se utiliza como la técnica para determinar con precisión el tiempo de un par o pares de fases. En consecuencia, este se ve perjudicado por la naturaleza cíclica de las fases y no puede diferenciar φ de $(\varphi+2\pi)$. Además, tiene la desventaja de que la ventana de frecuencia que se puede utilizar está limitada por el grosor del hueso del cráneo. Así mismo, la clasificación se basa únicamente en la diferencia de las dos fases.

- 30 La solicitud de patente estadounidense 3 952 578 A desvela procedimientos y aparatos que están disponibles para el análisis de la composición del fluido en función de la investigación de la impedancia acústica del fluido, que cambia con diversas propiedades del fluido. De este modo, la solicitud de patente estadounidense utiliza el concepto de frecuencia diferencia que en sí utiliza una cantidad mínima de *hardware* y componentes electrónicos. Esto le otorga a la técnica de frecuencia diferencia un gran atractivo comercial. Además, la solicitud de patente estadounidense desvela el uso de la medición de frecuencia diferencia para obtener información de la velocidad como una forma muy prometedora de instrumentación de laboratorio. Esta puede investigar los cambios en las propiedades de los fluidos experimentados por un fluido durante un corto período de tiempo, como la coagulación de la sangre humana. Así mismo, la solicitud de patente estadounidense desvela que la señal que pasa el filtro de paso bajo y que se aplica en la salida del mismo representa, por lo tanto, la diferencia entre la frecuencia en el transductor de entrada y el transductor de salida.

- 35 La solicitud de patente estadounidense 2004/006436 A1 desvela que un par de transductores de ultrasonido multifrecuencia rodean un flujo de fluido y están configurados para funcionar bajo el control del ordenador en modo monostático y biestático en cada una de las múltiples frecuencias. En el modo monostático, las mediciones de desviación Doppler de banda ancha pulsada proporcionan el perfil de velocidad a través del flujo de fluido, que se puede combinar con las caídas de presión medidas, para determinar el reograma (un gráfico del esfuerzo cortante frente al índice cortante). Los datos del perfil de velocidad de cada frecuencia se pueden combinar para formar un perfil de velocidad compuesto. En el modo biestático, se recopilan datos de transmisión que mejoran la precisión y

solidez del perfil de velocidad y proporcionan información complementaria de propiedad material. El sistema está configurado para que funcione automáticamente con una amplia variedad de tipos de fluidos y puede reconfigurarse y/o ser monitorizado de manera remota.

5 La solicitud de patente europea 0 100 548 A2 desvela un medidor de flujo ultrasónico que comprende un par de transductores ultrasónicos adaptados para ser montados alrededor de un conducto. Los transductores están alineados coaxialmente y en un ángulo θ con respecto a la dirección del flujo de gas a través del conducto. Cada transductor actúa alternativamente como transmisor y receptor. El tiempo de vuelo de una señal entre los transductores se mide determinando la diferencia en el ángulo de fase entre la señal transmitida y la señal recibida. Una calculadora de caudal compara los ángulos de fase detectados con una referencia de fase para determinar una desviación del ángulo de fase de las señales que se desplazan tanto corriente arriba como corriente abajo. A partir de una diferencia en los ángulos de fase detectados, la velocidad del gas en el conducto se calcula con una calculadora de caudal.

Sumario de la invención

15 La presente invención repercute en el área de control de calidad, control de procesos, diagnóstico médico y clasificación de materiales. Las señales ultrasónicas son muy conocidas porque penetran en varios tipos de materiales y tejidos. Se utilizan principalmente en las aplicaciones de obtención de imágenes debido a esta propiedad. En función de esta propiedad, la presente invención permite clasificar la materia en recipientes cerrados, así como en sistemas abiertos. Esto proporciona una serie de beneficios; es posible buscar la materia cerebral a través del hueso temporal; es posible buscar un fluido en un frasco de botella cerrado; es posible buscar un fluido o gas a medida que fluye a través de una tubería.

20 La invención utiliza una señal ultrasónica codificada multifrecuencia para recopilar toda la información necesaria para calificar la sustancia que constituye el medio. La fase de cada una de las frecuencias en la señal codificada multifrecuencia se determina utilizando técnicas convencionales, y estas fases en varias combinaciones proporcionan las mediciones de los tiempos de desplazamiento de las frecuencias específicas. En función de esta información, se pueden calificar la densidad, el módulo de compresibilidad, la velocidad del sonido y el tiempo de vuelo de la señal continua en el medio.

25 La presente invención también aprovecha la propiedad natural armónica más alta, normalmente no deseable, de los transductores piezocerámicos ultrasónicos. Normalmente, es imposible penetrar en ciertos materiales u objetos con señales ultrasónicas de mayor frecuencia porque la atenuación de estas señales es demasiado alta. Sin embargo, los armónicos más altos se utilizan en la presente invención para conseguir esta penetración. Al emplear una señal de frecuencia más baja, también se emplean los armónicos más altos. Para materiales con pequeñas ventanas acústicas, como los huesos, algunos plásticos o materiales híbridos de metal, esta técnica permite enviar frecuencias más altas a través de esta ventana.

30 La pulsación de dos frecuencias se utiliza para establecer una línea de referencia. Cualesquiera dos señales periódicas cuentan con un período de pulsación común natural. Durante un período de pulsación no hay duplicación de un par de fases de las dos señales periódicas. Por lo tanto, cualquier par de fases válido se puede utilizar para determinar con precisión un momento temporal en el período de pulsación. Esto se utiliza para determinar con precisión el tiempo de vuelo de la señal a través del medio.

35 La medición de los parámetros de fase y los tiempos de viaje se utilizan para crear un perfil de la sustancia. Este perfil medido se utiliza en un sistema de clasificación entrenable (un sistema de clasificación no lineal, si es necesario) para producir una indicación fiable de las sustancias en el medio. Este mismo sistema de clasificación se utiliza para detectar los cambios en el cerebro, como la detección y clasificación de accidentes cerebrovasculares, la detección del tipo de fluido, la determinación del estado de un proceso o la calidad de una sustancia. El sistema puede buscar continuamente el medio y puede rastrear dinámicamente los cambios en el medio o proceso.

40 Cada transductor piezocerámico tiene la tendencia de generar los armónicos más altos de la señal producida. Normalmente son los terceros, quintos, séptimos armónicos, y así sucesivamente. Hasta ahora, esta propiedad natural del transductor no ha sido deseable y normalmente se reducía mediante el uso de filtros. Esta propiedad de los transductores se basa en el hecho de que la señal generada por el transductor no tiene una forma sinusoidal ideal. La señal generada es una senoide, pero también incluye algunos de los armónicos más altos. Al utilizar esta deficiencia del transductor piezocerámico, también se generan señales de mayor frecuencia. El envío de las frecuencias más altas como una pequeña distorsión de la senoide ideal mejora estos armónicos más altos. Después de recibir el reflejo de las señales transmitidas, se conocen la frecuencia primaria y los armónicos, y las fases se pueden computar incluso si hay un ruido sustancial acumulado mientras viajan a través del medio.

45 La clasificación del material se realiza con el conjunto de los tiempos de viaje computados. La referencia de la densidad también está disponible para ayudar en la clasificación si fuera necesario. El sistema de clasificación requiere un perfil de referencia con el que comparará las mediciones. Este perfil es el perfil conocido del material, sustancia o estado de un proceso. El sistema de procesamiento puede aprender este perfil o se puede conocer previamente y proporcionarlo como una entrada de datos en el sistema, igual que con un espectrógrafo de masas. Esto significa que los perfiles se pueden compartir entre estos sistemas. El conjunto de tiempos de viaje medidos por un sistema se

puede utilizar en otro sistema para proporcionar una clasificación o reconocimiento de una sustancia o estado del proceso. La naturaleza del sistema de medición lo hace dimensionalmente escalable, lo que significa que la proporción de los tiempos de viaje permanecería igual independientemente de la distancia de viaje. Esto significa que el sistema de clasificación no necesitaría cambiar si cambia el tamaño, forma o geometría del sensor de transmisión/recepción.

5 El sistema de clasificación es completamente entrenable tanto *online* como *offline*. El sistema puede generar los perfiles requeridos para la clasificación durante el uso o descargarlos de una base de datos u otro sistema. La técnica utilizada para combinar la medición con los perfiles puede ser simple (por ejemplo, la norma euclídea) o más compleja (por ejemplo, un sistema de clasificación no lineal, como una red neuronal perceptrónica multicapa). Cualquiera forma de combinación de los patrones es suficiente para la clasificación. El vector de tiempos de viaje que se utiliza para realizar la clasificación puede seguir una trayectoria conocida a medida que la sustancia sufre cambios (por ejemplo, en un procedimiento de fabricación o reacción del tejido humano a un medicamento). Esto significa que la trayectoria real del vector puede conocerse previamente y utilizarse para rastrear un proceso de forma continua. El sistema de medición y clasificación proporcionará la monitorización y/o reconocimiento dinámico.

15 El uso de un pulso casi constante o una iluminación continua disminuye la intensidad de las ondas de presión en el medio. Esto se describe en la Tabla 1. Los parámetros de una onda casi constante de 50 mW/cm² (que es la densidad de potencia máxima permitida por la FDA para ultrasonidos médicos) y la frecuencia de 3 MHz se muestran en la columna izquierda y los parámetros de una serie pulsada de la misma intensidad y frecuencia se muestran en la columna derecha.

Tabla 1: Comparación de la influencia de una onda constante y una serie de pulsos

Onda constante	Serie de pulsos
Intensidad: 50 mW/cm ² Frecuencia: 3 MHz T _p =200 μs	Intensidad: 50 mW/cm ² Frecuencia: 3 MHz t _p =4 períodos ⇔ 1 pulso
Presión acústica	
$I = \frac{p_0^2}{2Z}$ <p>Z=1,48x10⁶ kg/m²s</p> $p_0 = \sqrt{2IZ} = 38,5 \text{ kPa}$ <p>(Presión barométrica 101 kPa)</p>	$I_{srti} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \frac{p_0^2}{2Z} dt = \frac{p_0^2}{2Z} \frac{T_p}{t_i}$ $p_0 = \sqrt{I 2Z \frac{T_p}{t_i}} = 471 \text{ kPa}$ <p>(Más de 4 veces mayor que la presión barométrica)</p>
Velocidad promedio de las moléculas $U_0 = \frac{p_0}{Z}$ $U_0 = \frac{p_0}{Z}$	
26 mm/s	318 mm/s
$Z_0 = \frac{U_0}{\omega_0}$ <p>Desvío promedio de las moléculas</p>	
1,36 nm	16,9 nm

20 La Tabla 1 muestra que la presión introducida en el medio por las ondas pulsadas es 4 veces mayor que la presión barométrica, mientras que la presión introducida por la señal casi constante es aproximadamente el 38 % de la presión barométrica. La velocidad promedio de las moléculas, así como el desplazamiento molecular promedio, es más de 12 veces mayor con la señal pulsada. Esto indica que la señal pulsada está creando significativamente más perturbación, hecho que no es deseable. En algunos procesos, esto podría alterar el estado del medio y cambiar el curso del proceso.

25 Además, la onda pulsada podría ser más dañina para el tejido biológico (con una presión 4 veces mayor que la presión barométrica) que una onda casi constante con una presión inducida menor que la presión barométrica.

La presente invención proporciona una o más de las siguientes ventajas frente a la técnica anterior:

- El uso de una señal codificada multifrecuencia para investigar varias propiedades del medio simultáneamente y para medir un perfil característico de la sustancia. Esto permite analizar rápidamente la sustancia.
- 30 ■ La medición de un conjunto de tiempos de viaje, que proporciona las características dispersivas de tiempo del medio.

■ El uso de los armónicos más altos de los transductores ultrasónicos para permitir la penetración de señales ultrasónicas de mayor frecuencia a través de una ventana que, de otro modo, no sería adecuada para la penetración de alta frecuencia.

5 ■ El uso de mediciones de múltiples fases simultáneamente para determinar con precisión el tiempo de viaje de las señales de diferentes frecuencias en el medio.

■ El sistema de medición y clasificación está diseñado para proporcionar la monitorización y/o reconocimiento tanto estático como variable en el tiempo.

10 ■ La información de un sistema basado en esta invención se puede compartir con otros sistemas basados en la presente invención, o entre los sistemas y una base de datos, igual que en la práctica con los espectrómetros de masas.

Otras ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes para los expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada de la misma, tomada en conjunto con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

15 A continuación, se describirá la invención con más detalle, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en el que los números similares se refieren a elementos similares, en los que:

La figura 1 es un gráfico que muestra la pulsación de dos frecuencias;

la figura 2 es un gráfico de la relación de fase entre dos señales en un período de pulsación;

la figura 3 es un gráfico de la señal codificada multifrecuencia;

la figura 4 es un gráfico de detección de fase con señal codificada multifrecuencia;

20 la figura 5 es un diagrama de bloques del algoritmo para determinar el conjunto de tiempos de viaje;

la figura 6 es un diagrama de bloques de la implementación del *software* de algoritmos para determinar el conjunto de tiempos de viaje;

la figura 7 es un diagrama de bloques de la implementación del *hardware* de algoritmos para determinar el conjunto de tiempos de viaje;

25 la figura 8 es un diagrama de bloques de la implementación digital de la funcionalidad de transmisión;

la figura 9 es un diagrama de bloques de la implementación genérica de la funcionalidad de transmisión; y,

la figura 10 es un diagrama de bloques del sistema general.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 Cualquiera de las dos señales periódicas presenta una frecuencia de pulsación natural. Se tienen en cuenta dos señales sinusoidales de frecuencias f_1 y f_2 . Los periodos de las dos señales están definidos por τ_1 y τ_2 respectivamente. Cuando

$$k_1 \tau_1 = \frac{k_1}{f_1} = k_2 \tau_2 = \frac{k_2}{f_2} \quad k_1, k_2 \in N, \quad (1)$$

35 se cumple, con k_1 y k_2 lo más pequeños posibles, entonces $k_1 \tau_1$ representa el período de pulsación, con la frecuencia de pulsación correspondiente $1/k_1 \tau_1$. La figura 1 muestra este principio. Aquí se muestran las dos frecuencias de $f_1=2$ Hz y $f_2=3$ Hz. A partir de (1) $k_1=2$ y $k_2=3$, lo que indica que el período de pulsación es de 1 segundo y la frecuencia de pulsación es de 1 Hz. La selección de dos frecuencias que sean muy cercanas dará como resultado un largo período de pulsación y, por lo tanto, puede medir el tiempo de viaje durante una larga distancia. El concepto de una frecuencia de pulsación es importante porque esto permite predecir el momento temporal preciso a partir de las dos fases. Cada una de las fases es periódica, lo que hace imposible identificar de manera exclusiva el momento temporal.
40 Sin embargo, dentro del período de pulsación, se puede utilizar un par de fases para identificar con precisión el momento temporal.

45 Durante este período de pulsación, cada punto temporal se caracteriza por un par exclusivo de fases de las dos frecuencias. En el ejemplo de dos señales sinusoidales, en cualquier momento temporal, la fase de la señal con frecuencia f_1 se proporciona mediante $(2\pi f_1 t)$ y la fase de la frecuencia de señal f_2 se proporciona mediante $(2\pi f_2 t)$. Teniendo en cuenta la relación de fases de $(2\pi + \varphi) = \varphi$, la gráfica de la figura 2 muestra la relación entre las fases de las dos señales. En esta figura, la relación uno-uno entre las fases es evidente. La consecuencia de esto es que, a

partir de cualquier par válido de fases, el momento temporal de su aparición se puede determinar de manera exclusiva. Las figuras 1 y 2 ilustran y ejemplifican dónde se mide el par de fases muestran un ejemplo donde el par de fases (90°, 135°) se mide (90° en la curva que se muestra con la línea continua y 135° en la curva que se muestra con la línea discontinua). Esta ubicación está marcada en la figura 2. La combinación de estas dos fases se asigna a una ubicación exclusiva en el período de tiempo, como se marca en la figura 1. Este tiempo mostrado por la línea vertical discontinua es el único momento temporal dentro del período de pulsación en el que se puede producir este par de fases.

El concepto de codificar múltiples frecuencias en una sola señal continua se basa en el principio de superposición. Se pueden superponer una serie de señales continuas de diferentes frecuencias, unas encima de las otras, para crear una señal compuesta. Esta señal compuesta multifrecuencia se utiliza para buscar el medio. La onda acústica compuesta interactúa con la materia como la superposición de las ondas individuales. La figura 3 muestra un ejemplo de una señal de este tipo. Aquí se superponen 4 frecuencias. Las frecuencias son de 1 MHz, 1,5 MHz, 2 MHz y 2,2 MHz, todas de la misma amplitud. No obstante, las amplitudes relativas no tienen ninguna consecuencia. La señal compuesta se muestra en el panel superior y el espectro en el panel inferior. Al transmitir un rango de frecuencias a través de la sustancia, se investigan los efectos de varios "colores" de la sustancia. Esto es similar a iluminar una escena con un espectro completo de luz para hacer visibles todos los colores. Se puede usar una sola señal de banda ancha para crear de forma eficaz el mismo tipo de iluminación multifrecuencia; no obstante, la única señal de banda ancha no permite la pulsación de dos frecuencias, como se describió anteriormente y, en consecuencia, es posible que no se calcule la medición exacta del tiempo de viaje.

Cada componente de frecuencia de esta señal compuesta multifrecuencia puede tratarse de forma individual. Las otras 3 frecuencias en este ejemplo no tienen ningún efecto en la cuarta señal. La figura 4 muestra un ejemplo de la interacción de las 4 frecuencias. En este ejemplo, la frecuencia de la señal de 2 MHz cambia entre 0 y 400 grados. El experimento se repite varias veces, en el primer experimento, la fase de la señal de 2 MHz está a 0 grados, y con cada experimento posterior aumenta lentamente, hasta que alcanza los 400 grados en el último experimento. Las fases de las otras 3 señales pueden variar aleatoriamente 10 grados de un experimento a otro. La figura 4 muestra la fase medida de la señal de 2 MHz trazada frente a la fase inyectada. Aquí, es evidente que la fase medida y las fases inyectadas son idénticas. Esto se produce a pesar de las variaciones aleatorias de las fases de las otras 3 señales.

Esta codificación de frecuencia de la señal codificada multifrecuencia permite al sistema buscar el medio con un amplio rango de espectros con una onda transmitida. Esto es importante ya que las diferentes frecuencias interactúan con el material de diferentes maneras y, como resultado, es necesario buscar el medio con un amplio rango de frecuencias. El uso de la señal compuesta es muy importante para examinar una sustancia o un cuerpo en un proceso químico o bioquímico. En la técnica anterior, las frecuencias se envían una tras otra, de modo que requiere un tiempo de examen mucho más largo o múltiples sensores en paralelo. Durante procesos rápidos como la síntesis de un compuesto, se crean o destruyen varias moléculas en el mismo momento. Este proceso de transición debe medirse de forma continua, idealmente, de forma instantánea durante un solo ciclo de medición. Una disposición de sensores paralelos cumplirá con los requisitos de tiempo para un examen rápido, pero crea un desplazamiento espacial con los diferentes detectores que tienen diferentes vistas del espacio que se examina. La técnica de codificación de frecuencia permite utilizar un diseño simple para recopilar la información en el menor tiempo posible. El procedimiento compuesto basado en el principio de superposición permite iluminar y medir las características con diferentes frecuencias en el mismo momento temporal.

El procedimiento de clasificación es que esta patente se basa en el tiempo de viaje de la señal ultrasónica en la sustancia de interés. Este tiempo de viaje está directamente relacionado con la velocidad del sonido en la sustancia en particular. No obstante, la velocidad del sonido de una onda de energía (ultrasonido) y la atenuación del sonido en el medio no es fija, pero depende en cierta medida de la frecuencia. Esta dependencia de la frecuencia es la base para determinar la clasificación del medio, la calidad de la sustancia o el estado del proceso.

La propiedad fundamental de la sustancia al medir esta dependencia de la frecuencia es la viscosidad. La viscosidad es la propiedad en líquidos y gases que es la causa de la dispersión de la energía ultrasónica a medida que atraviesa el medio. En los sólidos, el módulo de compresibilidad es el equivalente a la viscosidad y es la propiedad de la sustancia responsable de la dispersión. La dependencia de la frecuencia de la velocidad del sonido en un medio se debe a la dispersividad de la sustancia, y esta dispersividad está directamente relacionada con la viscosidad de la sustancia (en líquidos y gases) o el módulo de compresibilidad de los sólidos. Por lo tanto, el procedimiento de medición en la presente invención caracteriza una sustancia o el estado de un proceso en función de la viscosidad característica o módulo de compresibilidad de la sustancia o medio. La descripción de la velocidad del sonido en un medio se proporciona con la Ecuación 2 para sólidos y la Ecuación 3 para líquidos.

$$c(f) \approx \sqrt{\frac{K_B(f)}{\rho_0}} \quad (2)$$

$$c(f) \approx \sqrt{\frac{K_v(f)}{\rho_0 \beta_{ad}}} \quad (3)$$

A partir de la Ecuación 2, queda claro que la velocidad del sonido (c) está directamente relacionada con el módulo de compresibilidad (K_B) de la sustancia. La densidad (ρ_0) actúa como un factor de escala, sin depender de la frecuencia. Del mismo modo, la Ecuación 3 muestra que la velocidad del sonido (c) está directamente relacionada con la viscosidad (K_v), con la densidad (ρ_0) y la compresión adiabática (β_{ad}) como factores de escala. La consecuencia de la propiedad dispersiva de las señales ultrasónicas es el desafío que esta presenta al medir la densidad de un material o medio con diferentes señales de frecuencia. Esto se debe a que el módulo de compresibilidad del medio, así como la densidad, cambiarán al mismo tiempo y la determinación de la velocidad del sonido "C" es solo una estimación aproximada.

En el pasado se creía que los efectos dispersivos solo aparecían cuando el nivel de energía era lo suficientemente alto y los efectos de dispersividad o la influencia en la velocidad del sonido a niveles de energía más bajos se dejaban de lado. Sin embargo, el efecto de dispersividad está presente en cualquier nivel de energía y esta patente aprovecha este hecho. La aparición de dispersión a bajos niveles de energía puede ser muy pequeña y es necesario contar con el aparato y los procedimientos adecuados para detectar las mínimas fluctuaciones. El efecto dispersivo puede usarse para la caracterización y clasificación de la sustancia, y que se utiliza en esta patente.

Las frecuencias utilizadas se extienden por todo el espectro. Sin embargo, es necesario que se seleccionen al menos dos frecuencias muy cercanas (por ejemplo, dentro de aproximadamente el 0,1 % entre sí). La densidad de la línea de referencia se puede determinar usando frecuencias con un período de pulsación largo. El uso de dos frecuencias lo suficientemente cercanas crea este largo período de pulsación. Esta es también la línea de referencia para determinar el módulo de compresibilidad, que depende de la frecuencia. La elección de estas dos frecuencias cercanas hace que los efectos de la dispersividad que depende de la frecuencia sean insignificantes. Para esto se puede decir que la influencia de la viscosidad (dispersividad) es muy pequeña, más pequeña de lo que se puede medir en aplicaciones prácticas. Si hay algún cambio en la velocidad del sonido, entonces se debe solo a un cambio en la densidad, dado que las frecuencias son muy cercanas y la dependencia de la frecuencia se anula de forma efectiva. Así mismo, estas dos frecuencias tendrían un período de pulsación largo y, utilizando sus fases, el tiempo exacto de vuelo puede computarse como se describió anteriormente. Los cambios en este tiempo de vuelo solo pueden ser el resultado de un cambio en la densidad, siempre que no se cambie la posición relativa del transmisor y el receptor. Estas dos ondas constituyen el tiempo de viaje de referencia para esta sustancia y una referencia de la densidad de la sustancia. Además, cuando la sustancia no tiene dispersividad, todas las frecuencias transmitidas tendrán el mismo tiempo de viaje a través del medio que la frecuencia base.

No obstante, en la práctica, este no es el caso. Las sustancias normales (por ejemplo, agua, leche, champú, tejido humano) tienen cierta cantidad de dispersividad. Esta es la razón de enviar frecuencias que se extienden por todo el espectro. Las frecuencias más altas que se utilizan interactuarán con las moléculas o células más pequeñas y hacen posible buscar algunos atributos materiales específicos que estén directamente vinculados a esa frecuencia. Dicho de otra forma, la serie de frecuencias se puede elegir especialmente para monitorizar ciertas moléculas específicas en un material o en un proceso. Las otras frecuencias se utilizan para medir el grado de dispersividad de la sustancia.

Se recopila un conjunto de desplazamientos de fase de todas las frecuencias transmitidas a través del medio. Este conjunto de desplazamientos de fase se utiliza para computar un conjunto de tiempos de viaje que dependen de la frecuencia a través de la sustancia. El conjunto de tiempos de vuelo, junto con la densidad de referencia, es suficiente para clasificar de forma exclusiva la sustancia o el estado de un proceso. El tiempo exacto de vuelo de cada frecuencia se computa utilizando la medición del tiempo de viaje de la línea de referencia junto con las mediciones de fase en todo el espectro (es decir, todos los colores del sonido) para formar el identificador exclusivo del medio. La clasificación del medio significa combinar este identificador con un identificador conocido. Los cambios en este identificador a lo largo del tiempo proporcionan información sobre los cambios en la densidad, módulo de compresibilidad, viscosidad y dispersividad de la sustancia que se examina. La relación de tiempo de los cambios se puede utilizar para identificar los procesos que tienen lugar y se utiliza para el control dinámico del proceso. Por ejemplo, el aumento rápido de un tiempo de vuelo a un índice determinado puede indicar oxidación, lo que puede indicar que se ha alcanzado un cierto punto en un proceso mayor.

La presente invención pertenece al campo de la clasificación automatizada de una sustancia o de la determinación del estado de un proceso. El procedimiento utiliza una señal ultrasónica codificada multifrecuencia para buscar cualquier sustancia que pueda penetrar una señal ultrasónica (es decir, sólido, líquido o gas). Mediante el uso de una onda semiconstante codificada multifrecuencia, se recopila un gran número de fases, parámetros de frecuencia y tiempo de manera simultánea. Los parámetros de fase están diseñados para proporcionar una medición inmediata del tiempo de viaje exacto de la señal ultrasónica a través del medio utilizando una señal multiespectro. Algunas de las fases medidas proporcionan un medio para refinar la precisión de la medición del tiempo de vuelo y crear un perfil del tiempo de vuelo en función de la frecuencia. Juntos, todos los parámetros proporcionan la información para clasificar de manera fiable

el medio que se buscó. El uso de una señal ultrasónica de amplio espectro es comparable a iluminar una escena con luz blanca. Varios "colores ultrasónicos" de la sustancia se investigan de forma simultánea.

5 Esto finaliza la descripción de la realización preferida de la invención. La descripción anterior se ha presentado con fines ilustrativos y no pretende ser exhaustiva ni limitar la invención a la forma precisa desvelada. Son posibles muchas modificaciones y variantes en vista de las enseñanzas anteriores y serán evidentes para los expertos en la materia. Se pretende que el ámbito de la invención esté limitado, no por esta descripción, sino por las reivindicaciones de a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para investigar una característica de un medio, que comprende: un transmisor para generar una señal ultrasónica codificada multifrecuencia; un receptor para recibir la señal después de que haya pasado a través del medio; un medio adaptado para calcular los desplazamientos de fase de cada frecuencia de la señal y un medio adaptado para calcular un conjunto de tiempos de vuelo de las frecuencias de la señal, en el que el conjunto de tiempos de vuelo de las frecuencias identifica la característica del medio,
5 **caracterizado porque,**
10 el conjunto de tiempos de vuelo de las frecuencias de la señal se calcula con respecto a una línea de referencia establecida por una frecuencia de pulsación resultante a partir de dos de las frecuencias que comprenden la señal, en el que las dos frecuencias son muy cercanas.
2. El aparato según la reivindicación 1, que comprende además un medio adaptado para acumular los conjuntos de tiempos de vuelo de las frecuencias de la señal y correlacionarlos recurrentemente con la característica del medio.
3. El aparato según la reivindicación 1, que comprende además una biblioteca de conjuntos conocidos de tiempos de vuelo de las frecuencias y sus correspondientes características del medio; y medios para combinar el conjunto medido con un conjunto conocido de la biblioteca para identificar la característica del medio.
15
4. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la señal ultrasónica codificada multifrecuencia comprende armónicos de frecuencia más alta en una portadora de frecuencia más baja para permitir que la señal penetre en los materiales impermeables solo en los armónicos de frecuencia más alta.
- 20 5. Un procedimiento para medir una característica de un medio, que comprende las etapas de:
generar una señal ultrasónica codificada multifrecuencia usando un transmisor; recibir la señal en un receptor después de que la señal haya pasado a través del medio; calcular los desplazamientos de fase de cada frecuencia de la señal; calcular un conjunto de tiempos de vuelo de las frecuencias de la señal; e identificar la característica del medio utilizando el conjunto de tiempos de vuelo,
25 **caracterizado porque,**
la etapa en la que se calcula el conjunto de tiempos de vuelo de las frecuencias de señal se realiza calculando con respecto a una línea de referencia establecida por una frecuencia de pulsación resultante a partir de dos de las frecuencias que comprenden la señal, en el que las dos frecuencias son muy cercanas.
- 30 6. El procedimiento según la reivindicación 5, que comprende además las etapas de: acumular los conjuntos de tiempos de vuelo de las frecuencias de la señal y correlacionarlos recurrentemente con las características del medio.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, que comprende además las etapas de: mantener una biblioteca de conjuntos conocidos de tiempos de vuelo de las frecuencias y sus características de medio correspondientes; y realizar la etapa de identificación combinando el conjunto medido con un conjunto conocido de la biblioteca.
- 35 8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5-7, que incluye además permitir que la señal penetre en materiales impermeables únicamente en armónicos de frecuencia más alta configurando la señal ultrasónica codificada multifrecuencia para que comprenda armónicos de frecuencia más alta en una portadora de frecuencia más baja.

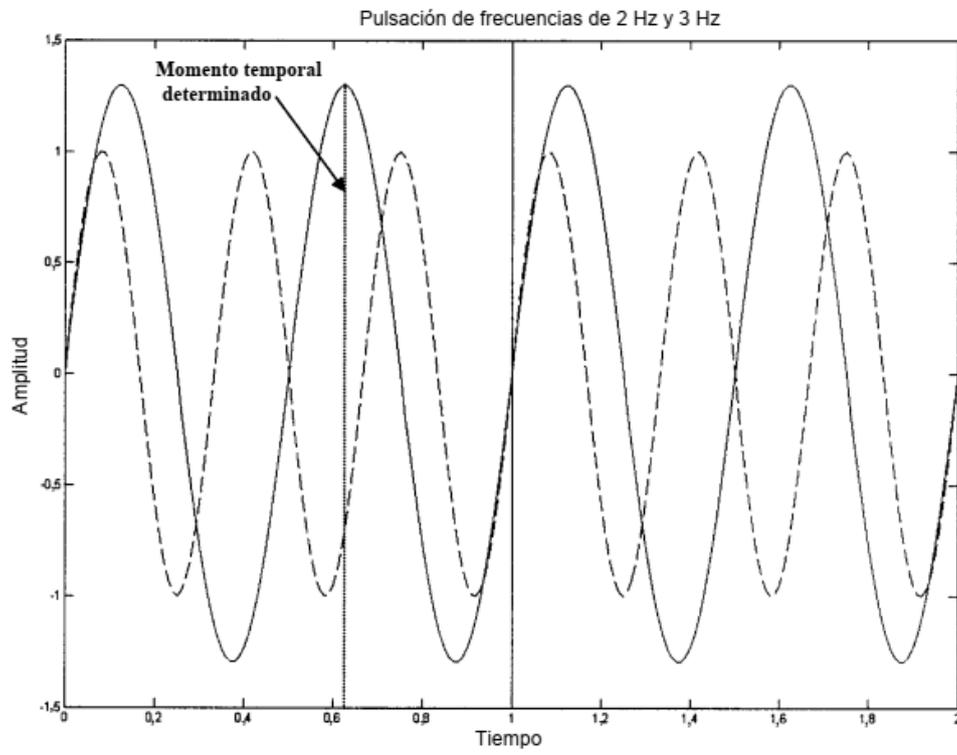


Figura 1

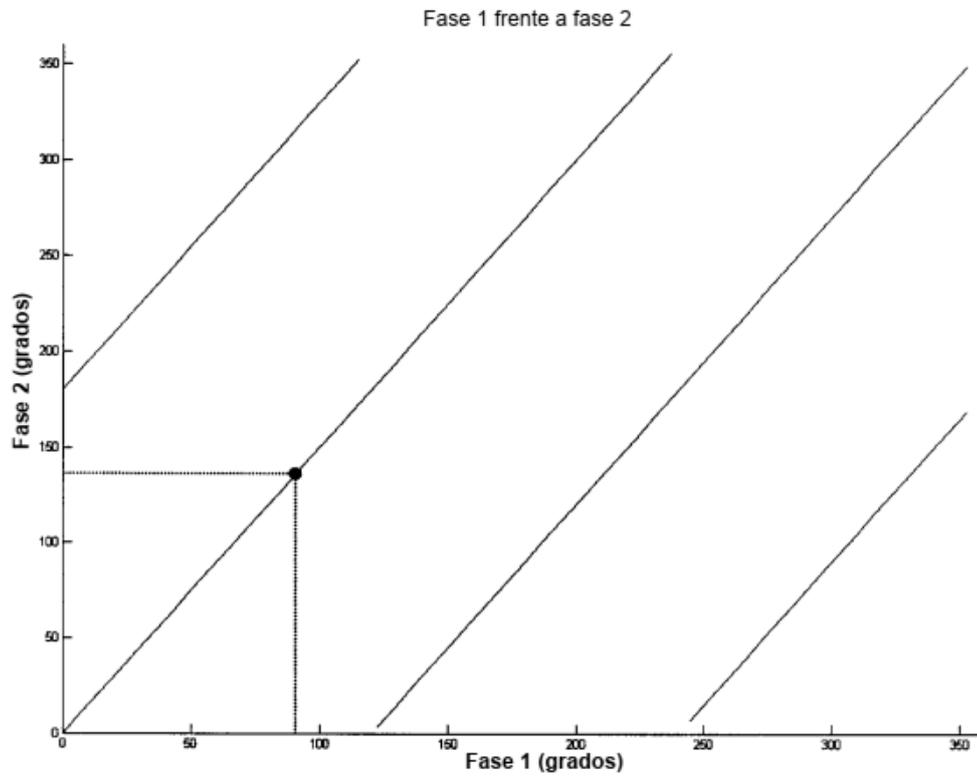


Figura 2

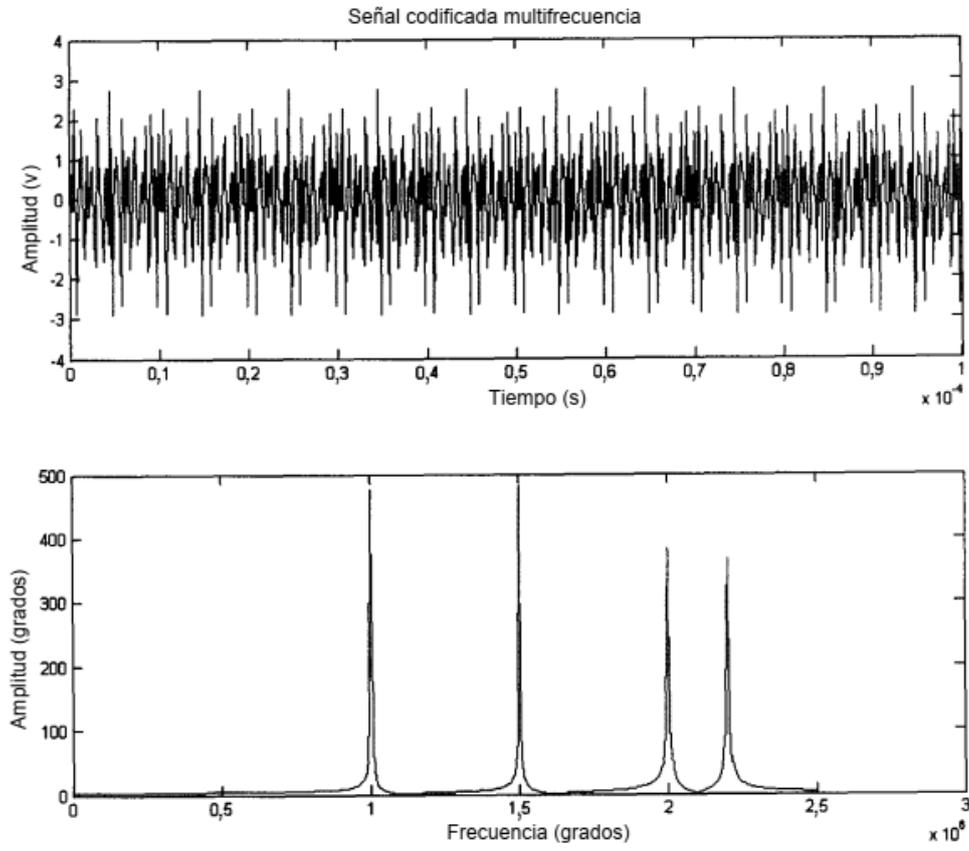


Figura 3

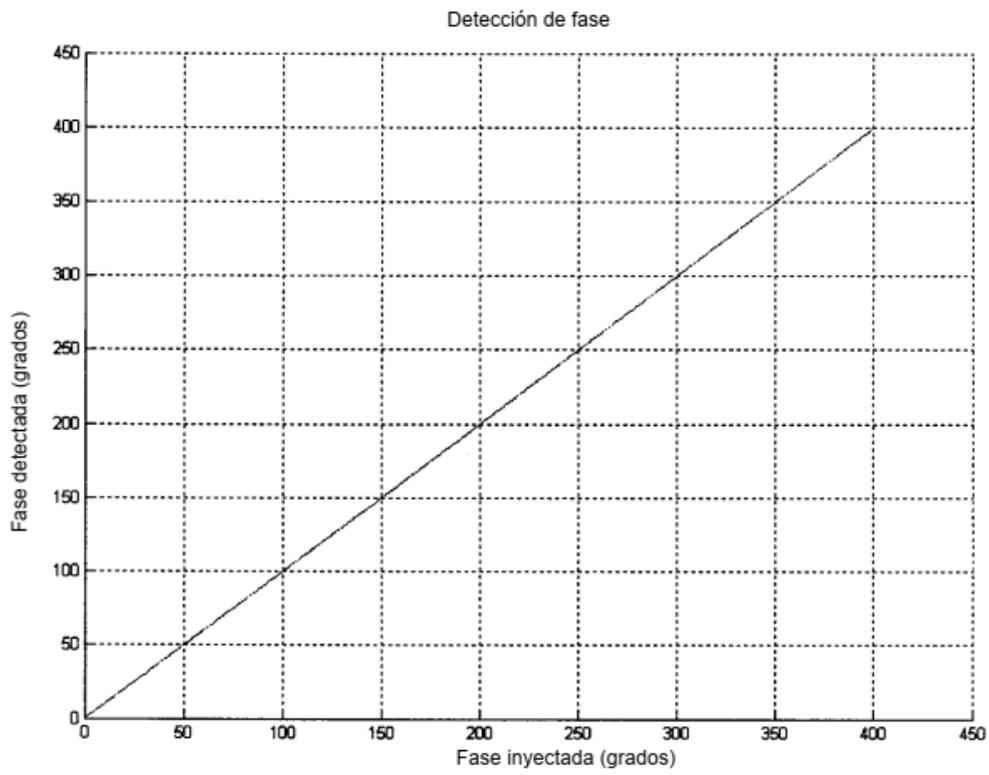


Figura 4

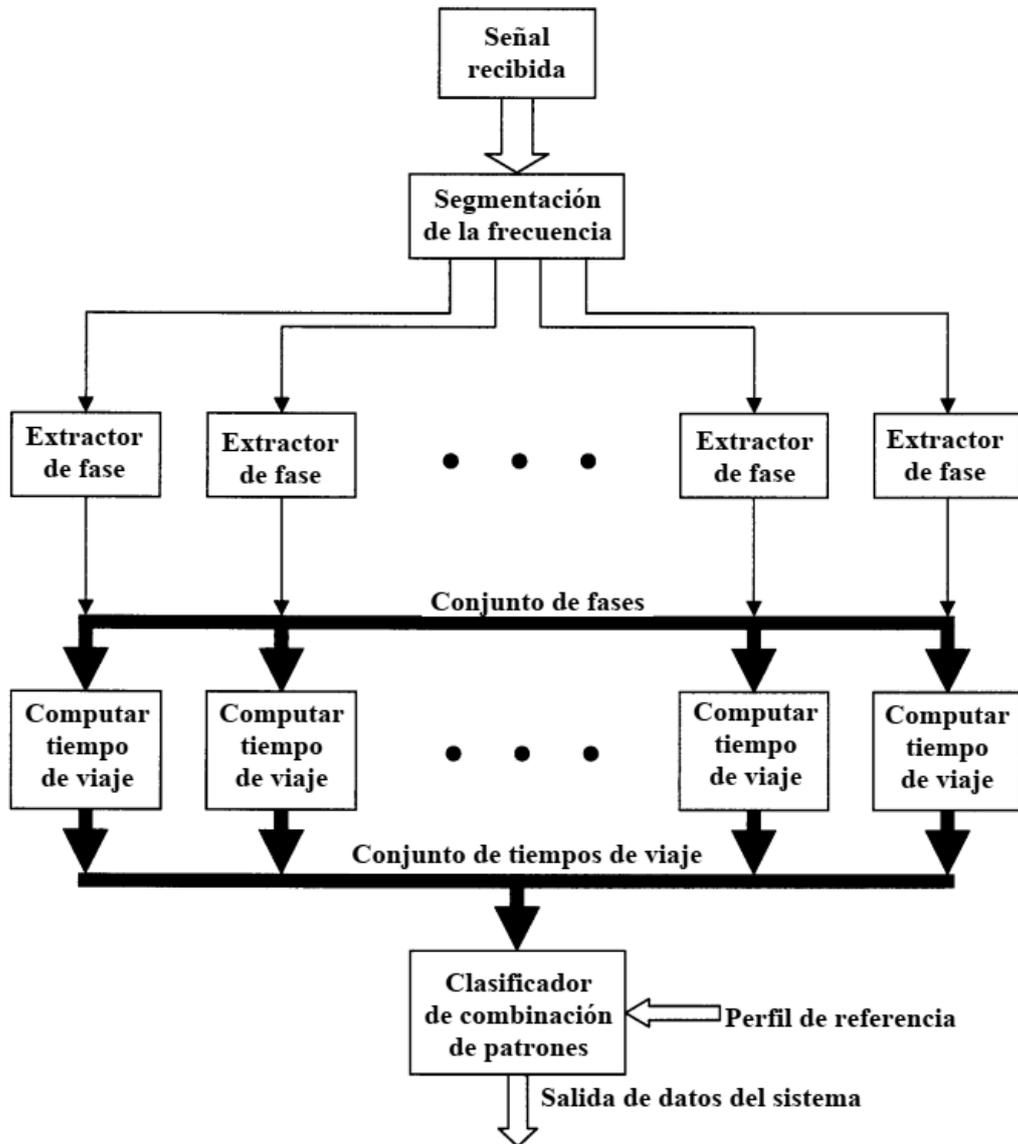


Figura 5

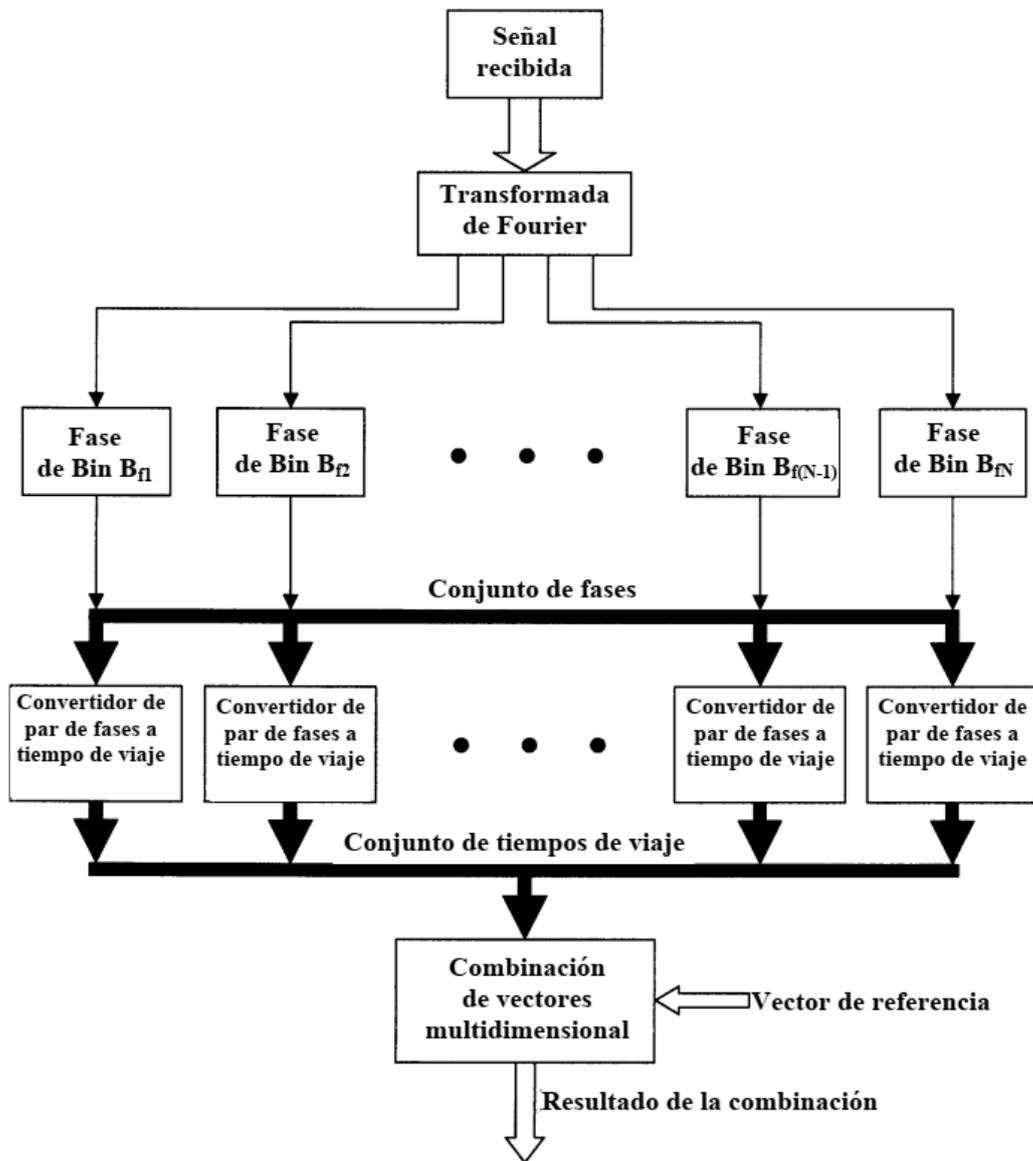


Figura 6.

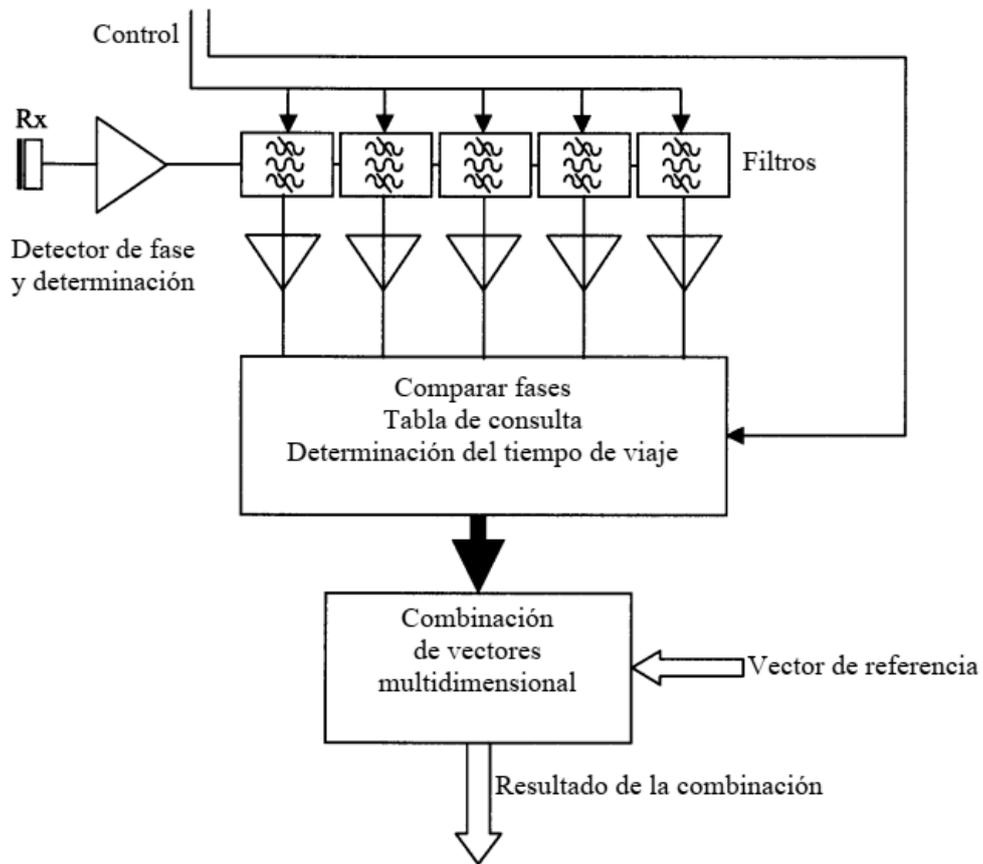


Figura 7

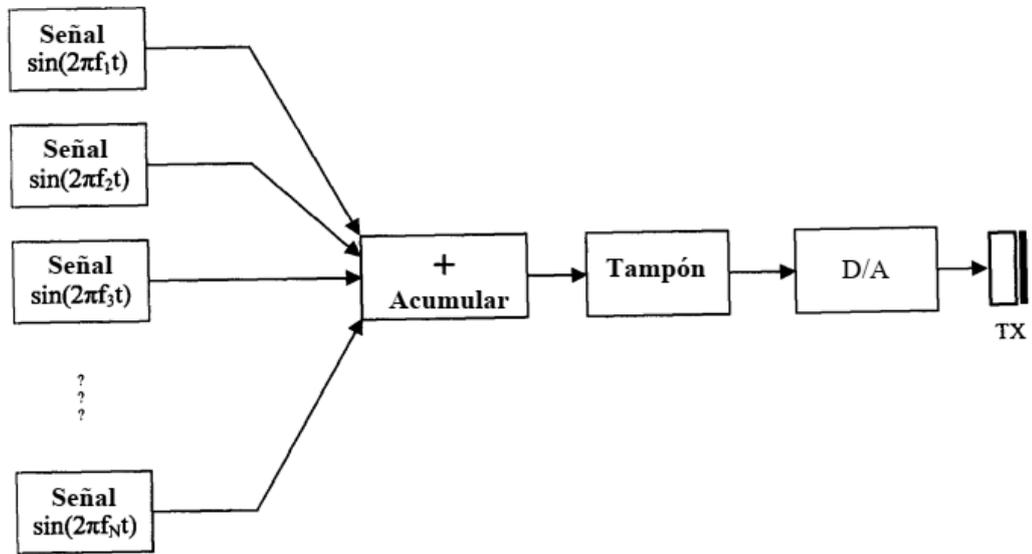


Figura 8

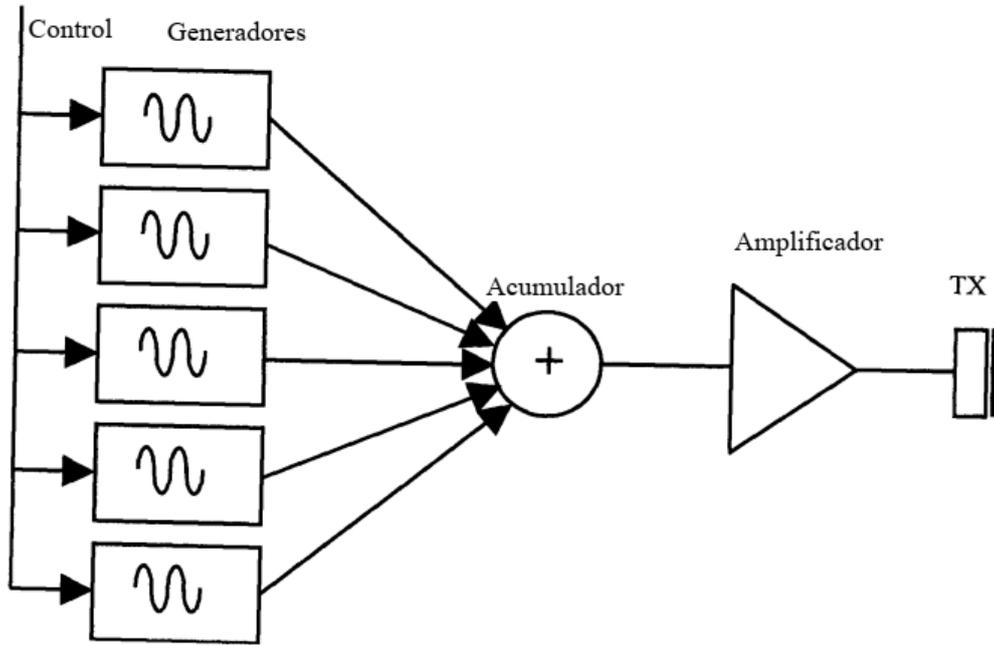


Figura 9

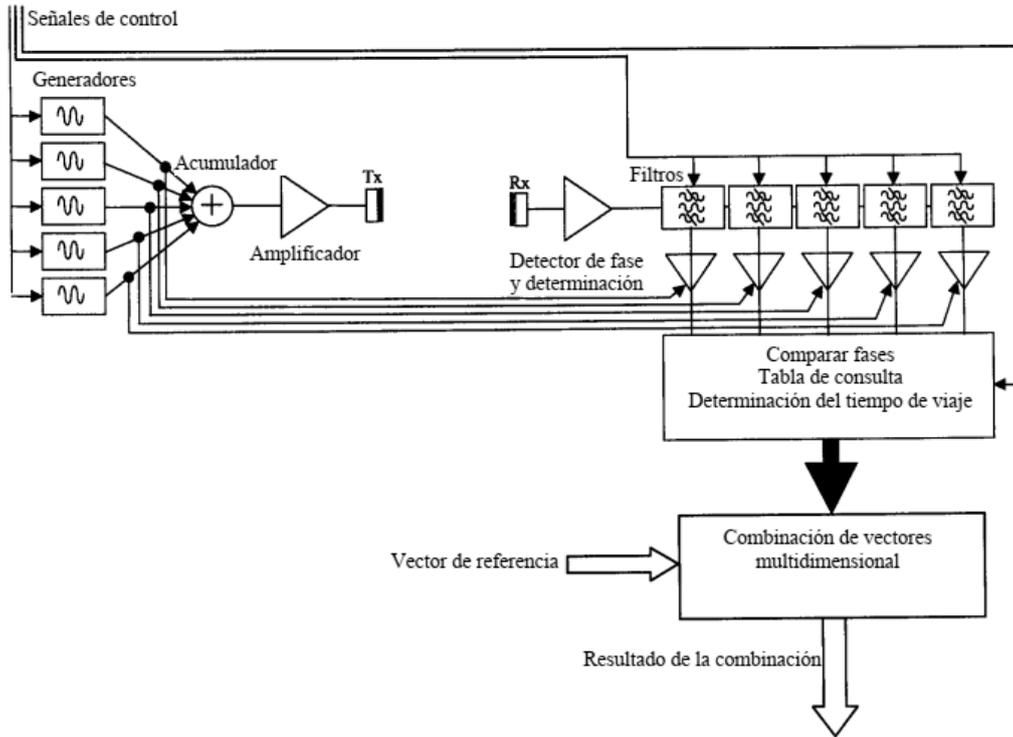


Figura 10