

DISPOSITIVO PARA ESTIMAR ESPESORES EN CAPAS DE FLUIDOS Y SÓLIDOS HOMOGÉNEOS

Campo de la invención

La presente invención está relacionada con dispositivos para medir espesores en capas de fluidos y sólidos. Y particularmente, a un dispositivo para estimar espesores en capas de fluidos o sólidos en capas poco profundas.

Descripción del estado de la técnica

El estudio de la propagación de ondas mecánicas en el suelo sigue siendo un tema de gran interés en cualquier parte del mundo, y como resultado de las investigaciones que cada día se llevan a cabo se han originado técnicas para la detección de discontinuidades en el subsuelo tales como cavidades vacías, cavidades con fluidos o materiales diferentes, cambios en la densidad de las capas del subsuelo y objetos enterrados, las cuales son utilizadas ampliamente en la explotación fósil, explotación metalúrgica, construcción, ingeniería civil, arqueología, ciencias forenses y uso militar.

Una de las técnicas más utilizadas para la exploración del subsuelo es la de registrar los patrones en las ondas sísmicas generadas por una fuente de ondas elásticas que interactúan con el suelo, y haciendo uso de un modelo de parámetros distribuidos se puede reproducir el patrón de vibración de un punto específico en el suelo.

Otras técnicas utilizan sistemas electrónicos y arreglos de dispositivos que atacan diferentes superficies para realizar mediciones, por ejemplo, los divulgados en los documentos US 5,412,989A y US 6,545,945B2.

El documento US 5,412,989A divulga cuatro métodos y cuatro aparatos para localizar conductos que contienen fluidos. El primer método divulgado en US 5,412,989A comprende una frecuencia sinusoidal variable aplicada al fluido contenido en el conducto; asegurar que esta frecuencia sea distinguible de vibraciones de ruido contaminante del medio asegurando que las vibraciones del conducto son significativamente mayores que las del ruido contaminante, tomar una pluralidad de medidas en la superficie del fluido y por lo menos una de estas medidas se realiza lateralmente a la posición del conducto; y determinar la posición del conducto utilizando las diferencias en las características medidas, en la tercera reivindicación reclamada en US 5,412,989A la frecuencia va de 100 a 2000 Hz, en la cuarta reivindicación reclamada en US 5,412,989A la señal de excitación la frecuencia sinusoidal variable es un barrido de señales sinusoidales, en la octava reivindicación reclamada en US 5,412,989A para determinar la posición se hace mediante la detección total de la fuerza de la señal media-cuadrada. El primer aparato para localizar conductos enterrados divulgado en US 5,412,989A tiene los medios para generar una señal acústica en un rango de frecuencias sinusoidales y la magnitud de las vibraciones mayor al de la magnitud del ruido de la

frecuencia; los medios para tomar una pluralidad de medidas de características de vibraciones del medio sobre la superficie en la cual se halla enterrado el conducto y por lo menos una de estas medidas se hace de forma lateral a la posición estimada del conducto. Sin embargo, el dispositivo divulgado en US 5,412,989A sólo sirve para detectar la posición conductos con un fluido y que se pueda acceder alguno de sus extremos para poder excitar el fluido en su interior para que este pueda ser localizado.

Por otra parte, el documento US 6,545,945B2 divulga tres aparatos y dos métodos. Un aparato para detectar la sustancia de un objeto contenido dentro de un espacio que comprende: un transmisor electromagnético o acústico, un primer receptor electromagnético o acústico, un segundo receptor electromagnético o acústico, un procesador de señal conectado al transmisor electromagnético o acústico y al primer receptor electromagnético o acústico y al segundo receptor electromagnético o acústico para producir una firma del objeto.

La firma del objeto es generada calculando la absorción energética para cada frecuencia y la calculando la rata de cambio de dicha absorción en función de la frecuencia, y medios para comparar esta firma con firmas de objetos conocidos para determinar la sustancia de dicho objeto.

Uno de los métodos divulgados en el documento US 6,545,945B2, comprende los siguientes pasos: aplicar energía electromagnética a un primer lado del espacio y al objeto en el espacio; detectar la energía electromagnética reflejada de la superficie del objeto; detectar la energía electromagnética reflejada o transmitida del objeto, procesar las señales electromagnéticas recibidas para producir una firma del objeto y comparar la firma obtenida con la firma de objetos conocidos para determinar la sustancia de dicho objeto.

Pese a que el dispositivo y método divulgado en US 6,545,945B2 puede determinar la sustancia de objetos contenidos en un recinto no puede determinar posición de estos. Aunque el dispositivo podría utilizarse para detectar la presencia de sustancias enterradas bajo la superficie de la tierra el documento no sustenta como podría hacerlo y se centra en que puede caracterizar la naturaleza de la sustancia contenida en el recinto al cual se le determinó la posición.

El estado de la técnica divulga dispositivos para detección de objetos bajo una superficie sin embargo la superficie debe estar expuesta al contacto físico para poder parametrizarla o enviar señales desde un punto externo para que estas viajen en su interior y poder percibir vibraciones mediante los dispositivos sensores. Se limitan sólo a elementos como conductos o tuberías. Algunos que aunque podrían ser utilizados para la detección no sustentan como lo hacen y están intencionados a determinar la naturaleza del contenido de un recinto que se pueda caracterizar con algún elemento conocido.

Breve descripción de la invención

La invención corresponde a un dispositivo y un método para estimar espesores en capas de fluidos o sólidos en dos capas poco profundas. El dispositivo comprende: un generador de ondas, un parlante conectado al generador de onda, un circuito acondicionador de señales, un
5 medidor de aceleración conectado a un circuito acondicionador de señales y operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido o sólido, debajo y centrado del parlante; una tarjeta de adquisición de datos conectada al circuito de acondicionador de señales y una unidad de cómputo conectada a la tarjeta de adquisición de datos, donde el parlante se dispone operativamente sobre la cara más exterior de las capas de sólido o
10 líquidos, el medidor de aceleración esta operacionalmente dispuesto en la cara más exterior del fluido o sólido, y la unidad de cómputo estima espesores y parámetros de capas de fluidos y solidos homogéneos basado en el análisis de la señal proporcionada por el medidor de aceleración. El método comprende las etapas: a) aplicar test de respuesta en frecuencia al sólido o al fluido bajo análisis; b) seleccionar valores de semilla para los parámetros:
15 espesores, velocidades de propagación de onda longitudinal y densidades de las dos capas de los sólidos o fluidos y almacenarla en un registro de memoria; c) calcular la función de transferencia del sólido o fluido para las respuestas en frecuencia obtenidas en la etapa a y extraer la magnitud de dicha función de transferencia y almacenarla en un registro de memoria; d) calcular la magnitud del error entre las funciones de transferencia teórica y
20 experimental y almacenarlo en un registro de memoria; e) comparar la magnitud del error con una tolerancia dada por un usuario, si la magnitud del error es mayor que la tolerancia entonces se actualiza el valor de los parámetros de la etapa b empleando una función de optimización no lineal, en caso contrario presentar los valores de los parámetros estimados de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de cada una de
25 las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos; f) mostrar los parámetros estimados en un dispositivo para visualización.

Breve descripción de las figuras

- La FIG. 1 enseña un diagrama de conexión de una modalidad de la invención con un sensor de voltaje RMS conectado entre el parlante y la unidad de cómputo.
- 30 • La FIG. 2 enseña un diagrama de conexión de una modalidad de la invención con un sensor de voltaje RMS conectado entre el parlante y la tarjeta de adquisición de datos.
- La FIG. 3 enseña una perspectiva en tres dimensiones de un ejemplo del medidor de aceleración con una jaula de Faraday.
- La FIG. 4 enseña un ejemplo de las frecuencias de resonancia para espesor de una
35 capa de 0.01 m.
- La FIG. 5 enseña un ejemplo de las frecuencias de resonancia para espesor de una capa de 0.10 m.

- La FIG. 6 enseña un ejemplo de las frecuencias de resonancia para espesor de una capa de 0.20 m.
- La FIG. 7 enseña un ejemplo de las frecuencias de resonancia para espesor de una capa de 0.50 m.

5

Descripción detallada

La presente invención corresponde a un dispositivo para estimar espesores y parámetros en capas de fluidos y sólidos homogéneos, de ahora en adelante dispositivo.

Haciendo referencia a la FIG. 1, el dispositivo comprende:

- 10
- un generador de ondas (1);
 - un parlante (2) conectado al generador de ondas (1);
 - un circuito acondicionador de señales (3);

un medidor de aceleración (4) conectado a un circuito acondicionador de señales (3); y operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido y/o sólido, debajo y centrado del parlante (2); una tarjeta de adquisición de datos (5) conectada al circuito de acondicionador de señales (3); una unidad de cómputo (6) conectada a la tarjeta de adquisición de datos (5); donde el parlante (2) se dispone operativamente sobre la cara más exterior de las capas de sólido o líquidos, el medidor de aceleración (4) esta operacionalmente dispuesto en la cara más exterior del fluido o sólido, y la unidad de cómputo (6) estima espesores y parámetros de capas de fluidos y solidos homogéneos basado en el análisis de la señal proporcionada por el medidor de aceleración (4).

15

20

El generador de ondas (1) del dispositivo comprende generadores y circuitos integrados de señales sinusoidales, señales cuadradas, señales triangulares o señales diente de sierra, y otros equivalentes conocidos por una persona medianamente versada en la materia o combinaciones de las anteriores.

25

Haciendo referencia a la FIG. 1 y a la FIG. 2, en un ejemplo de la presente invención el generador de ondas (1) se conecta a un amplificador de audio (7) y el amplificador de audio (7) se conecta al parlante (2) de esta manera la señal del generador de ondas (1) que habitualmente es de baja potencia es amplificada con amplificador de audio (7), este eleva los niveles de potencia al subir el nivel de voltaje y de la corriente que se entrega finalmente al parlante (2).

30

El amplificador de audio (7) se selecciona de amplificadores de audio clase A, clase B, clase AB, clase C y clase D, la modalidad preferida es clase A debido a que la señal amplificada

sigue fielmente la señal del generador de ondas (1), sin embargo las otras clases pueden ser utilizadas teniendo en cuenta que se generan armónicos adicionales que tendrían que ser tratados posteriormente para reconstruir la señal.

En una modalidad de la invención el generador de ondas (1) comprende generadores de onda profesionales y circuitos integrados sintetizadores DDS (por sus siglas en inglés, Direct Digital Synthesizer) / DAC (por sus siglas en inglés, Digital to Analog Conversion), NCO (por sus siglas en inglés, Numerically Controlled Oscillator), arreglos de amplificadores operacionales en configuración de generador de onda, circuitos osciladores biestables y combinaciones de los anteriores. En un ejemplo el generador de ondas (1) es un generador de señales profesional con una interfaz de control conectada a la unidad de cómputo (6) y esta comanda a que el generador de ondas (1) emita señales sinusoidales con frecuencia con valores entre 0 Hz y 250 kHz.

Para la presente invención, en un ejemplo se determina el valor de presión acústica, esta medición se hace directamente con un sonómetro (no ilustrado) operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido y/o sólido, debajo y centrado del parlante (2) o indirectamente con un medidor de aceleración (4) operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido y/o sólido, debajo y centrado del parlante (2).

Así, en un ejemplo, la unidad de cómputo (6) se conecta a un sonómetro (no ilustrado) dispuesto debajo del parlante (2) sobre la superficie de las capas a estudiar, que realizando una medición directa de la presión acústica tiene la capacidad de entregar el valor de presión acústica a la unidad de cómputo (6) y almacenarla en un registro de memoria para posteriormente y utilizando el método de la presente invención, estimar los valores de parámetros de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos

Para el entendimiento de la presente invención, se entenderá que un registro de memoria corresponde a un espacio en memoria volátil o no volátil que puede ser interno o externo a la unidad de cómputo (6).

En otro ejemplo el sonómetro (no ilustrado) cuenta con una salida análoga o digital que es conectada a la tarjeta de adquisición de datos (5) para que dicha tarjeta realice operaciones sobre la señal como por ejemplo desplazar, filtrar, amplificar o reducir, digitalizar, y combinaciones de estas operaciones, y posteriormente dicha tarjeta de adquisición de datos (5) transmita la señal a la unidad de cómputo (6) para posteriormente y utilizando el método de la presente invención, estimar los valores de parámetros de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos. Por ejemplo, en una modalidad de la invención en la que se tiene un sonómetro (no ilustrado) con salida análoga, esta señal se pasa por tres etapas: primero un sumador de voltaje para elevar el nivel de directa de la señal en valores positivos de voltaje,

posteriormente a una etapa dos de filtrado de señal para centrar la señal en el ancho de banda a interés de 0 kHz a 200kHz, la tarjeta de adquisición de datos (5) muestrea la señal a una rata de 20KHz para finalmente pasar a una etapa de amplificación de la señal para utilizar todo el rango de medición disponible de la tarjeta de adquisición, así tener mejor resolución para la señal antes de enviarla a la unidad de cómputo (6) para estimar finalmente los parámetros de sólidos y líquidos que se someten a estudio.

Alternativamente para determinar el valor de la presión acústica de forma indirecta utilizando un medidor de aceleración (4) y calcular el valor de la presión acústica con el método de la presente invención la fuerza de la siguiente forma:

10

$$F_{PICO} = \sqrt{2} P_{RMS} \times S [N]$$

Ecuación 1.

Donde: S es el área efectiva del parlante (2) expresada en m^2 P_{RMS} es la presión media cuadrática (*Root Mean Square*, por sus siglas en inglés, RMS) expresada en Pa calculada con la siguiente expresión:

$$P_{RMS} = 20 \times 10^{-6} \times 10^{\left[\frac{dB_{SPL}}{20}\right]} [Pa]$$

Ecuación 2.

Donde: dB_{SPL} es el nivel de presión de sonido sobre un obstáculo a una distancia d en metros, (las siglas SPL hacen referencia al inglés *Sound Pressure Level*) y se estima con la fórmula:

Ecuación 3.

$$dB_{SPL} = f(d, W_E) = sensibilidad + 10 \log_{10} \left[\frac{W_E}{W_0} \right] + 10 \log_{10} \left[\frac{\left(\frac{d_0}{d} \right)^2 + \frac{16\pi}{D} \frac{1-\alpha}{\alpha S}}{1 + \frac{16\pi}{D} \frac{1-\alpha}{\alpha S}} \right] [dB]$$

Donde: D es la directividad del parlante (2) en unidades y se determina su valor con la siguiente expresión aproximada:

20

$$D \cong \frac{2}{1 - \cos \theta}$$

Ecuación 4.

θ es el ángulo en radianes donde aparece el máximo ensanchamiento del lóbulo principal de radiación del parlante (2).

α es el coeficiente de absorción sonora del obstáculo y puede adoptar valores entre 0 y 1.

sensibilidad es la cantidad de presión acústica relativa en dB que produce un parlante (2) a una distancia $d_0 = 1[m]$ cuando se inyecta una potencia eléctrica promedio $W_0 = 1[W]$.

W_E es la potencia media eléctrica aplicada al parlante(2) en vatios.

5 Las reflexiones múltiples se superponen en la superficie, generando un patrón característico de vibración indicando la presencia de una discontinuidad en el medio.

Haciendo referencia a la FIG. 2, en una modalidad de la invención la tarjeta de adquisición de datos (5) se conecta a un medidor de voltaje RMS (8) que conecta a su vez a la unidad de cómputo (6), posteriormente y utilizando el método de la presente invención, la unidad de cómputo (6) estima los valores de parámetros de velocidades de propagación de onda
10 longitudinal, densidades, espesores de las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos.

En la presente invención el parlante (2) se selecciona del grupo de *woofers*, parlantes de bobina móvil, parlantes de condensador, parlantes de cinta, parlantes de pantalla infinita, parlantes planos, parlante *bass* réflex, parlantes de carga con bocina o combinaciones de los
15 anteriores.

En una modalidad de la presente invención el medidor de aceleración (4) se selecciona del grupo de acelerómetros piezoeléctricos, acelerómetros mecánicos, acelerómetros capacitivos, vibrómetros laser, acelerómetros de fuerza balanceada, acelerómetros micro-electromecánicos o combinaciones de los anteriores, intencionado para tomar la medida de
20 las vibraciones que por efecto físico de las propiedades de ondas de sonido retornan luego de la interacción con las capas de sólidos y fluido.

En una modalidad de la invención el medidor de aceleración (4) es un acelerómetro triaxial con salida analógica o salida digital y dependiendo del tipo de salida se utiliza una tarjeta de adquisición de datos (5), por ejemplo, para una salida analógica se pueden realizar operaciones
25 sobre la señal de: desplazar, filtrar, amplificar o reducir, digitalizar, y combinaciones de estas, para posteriormente transmitir la señal a la unidad de cómputo (6). Por otro lado para otro ejemplo, si se utiliza un acelerómetro triaxial de salida digital (bus de comunicaciones I2C, SPI, QSPI, serial, entre otros buses que sean conocidos por una persona medianamente versada en la materia y combinaciones) y una tarjeta de adquisición de datos (5) mucho
30 menos compleja con una etapa de *pull-ups* de las líneas de comunicación del tipo open collector o incluso prescindir de una tarjeta de adquisición de datos (5) para pasar directamente las señales a la unidad de cómputo (6).

En una modalidad de la presente invención por ejemplo el circuito acondicionador de señales (3) está conformado por una etapa de pre-amplificación y una etapa de filtrado, si la señal
35 proveniente del medidor de aceleración (4) es de naturaleza analógica con rango de variación

de señal inferior al rango permitido por la tarjeta de adquisición de datos (5) la señal se amplifica para aprovechar todo el rango de operación de la tarjeta de adquisición de datos (5), por otro lado en la etapa de filtrado se emplea para atenuar o amplificar frecuencias, por ejemplo es preferible utilizar una etapa de filtro pasa bajos para atenuar señales con frecuencias superiores a los 250kHz esto tienen el efecto técnico de reducir el ruido que implicarían altas frecuencias y sus armónicos que pasen a la tarjeta de adquisición de datos (5), la tarjeta de adquisición de datos (5) discretiza y digitaliza la señal del circuito acondicionador de señales (3). En un ejemplo, la tarjeta de adquisición de datos (5) muestrea con una frecuencia entre 2kHz y 250 kHz, por tanto bien puede utilizarse un filtro pasa banda digital con frecuencia de corte inferior de 2kHz y una frecuencia de corte superior de 250kHz. La tasa de muestreo de la tarjeta de adquisición de datos (5) juega un rol importante respecto a posibles pérdidas de información durante el proceso de recolección de datos, llevando a interpretaciones erróneas del comportamiento del sistema en estudio si no se hace adecuadamente. Las posiciones de los picos de resonancia cambian dependiendo de la composición de la capa en análisis.

El dispositivo de la presente invención es caracterizado porque el medidor de aceleración (4) se aloja al interior de una jaula Faraday (4a), debido a la alta sensibilidad del dispositivo y alta susceptibilidad electromagnética se debe crear una barrera electromagnética que absorba las emisiones electromagnéticas tanto de dispositivos que emiten este tipo de ondas y que son externos al dispositivo de la presente invención como por ejemplo, los propios elementos internos como: el parlante (2), alguna fuente de voltaje conmutada con una unidad de cómputo (6) entre otros elementos con emisiones electromagnéticas conocidos por una persona medianamente versada en el estado del arte.

En una modalidad de la invención, la jaula de Faraday (4a) es un ortoedro conformado por seis paredes, y orientado con dos de sus paredes normales al parlante (2); la primera pared con una cara interna (4f) y la segunda pared con una cara interna (4g), se conecta un primer atenuador acústico (4b) sobre la cara interna (4f); se dispone operativamente un sensor de aceleración (4e) sobre la segunda pared con una cara interna (4g), el sensor de aceleración (4e) está orientado normalmente a la superficie interna de la segunda pared con una cara interna (4g).

En una modalidad de la invención alternativamente se fija la posición del sensor de aceleración (4e) en la segunda pared con cara interna (4g), dichos elementos de sujeción (4d) sobresalen de jaula de Faraday a través de la segunda pared con cara interna (4g) una distancia que va desde 0.01 a 0.20 metros y preferiblemente 0.10 metros para además fijar operativamente la jaula de Faraday (4a) a la superficie de las capas de sólidos.

Haciendo referencia a la FIG. 2 y a la FIG. 3, la jaula de Faraday (4a) es un ortoedro conformado por seis paredes, y orientado con dos de sus paredes normales al parlante (2); la primera pared con una cara interna (4f) y la segunda pared con una cara interna (4g), se

conecta un primer atenuador acústico (4b) sobre la cara interna (4f) y un segundo atenuador acústico (4c) sobre la cara interna (4g); se dispone operacionalmente un sensor de aceleración (4e) sobre el segundo atenuador acústico (4c), el sensor de aceleración (4e) está orientado normalmente a la superficie interna del segundo atenuador acústico (4c).

- 5 En una modalidad de la invención, el segundo atenuador acústico (4c) y la segunda pared tiene perforaciones pasantes. Las perforaciones pasantes tienen un perfil seleccionado entre perfiles circulares, perfiles cuadrados, perfiles elípticos, perfiles triangulares, perfiles regulares y perfiles irregulares. Preferiblemente, las perforaciones pasantes son de perfil circular.
- 10 Se entenderá en la presente invención que una perforación pasante, es una perforación que comunica una cara interna con una cara externa de una superficie.

En una modalidad de la invención, el diámetro del perfil circular se selecciona entre 1mm, 3mm, 5mm, 6mm, 7mm y 10mm. Preferiblemente, el diámetro del perfil circular es de 5mm.

- 15 En una modalidad de la invención alternativamente se fija la posición del segundo atenuador acústico (4c) en la segunda pared con cara interna (4g), dichos elementos de sujeción (4d) sobresalen de jaula de Faraday a través de la segunda pared con cara interna (4g) una distancia que va desde 0.01 a 0.20 metros y preferiblemente 0.10 metros para además fijar operativamente la jaula de Faraday (4a) a la superficie de las capas de sólidos.

- 20 Las paredes de la caja de Faraday pueden estar soldadas entre sí mediante soldadura, por ejemplo, soldadura SMAW (del inglés *Shielded Metal Arc Welding*), GMAW (del inglés *Gas Metal Arc Welding*), GTAW (del inglés *Gas Tungsten Arc Welding*), FCAW (del inglés *Flux Cored Arc Welding*), y otros métodos de soldadura aceptados por la *American Welding Society*, también las paredes de la caja de Faraday pueden fijarse entre sí mediante elementos de sujeción que sean conductores eléctricos, como lo son las cintas metálicas conductoras
- 25 con adhesivos, abrazaderas metálicas, remaches, entre otros sistemas de sujeción que permitan contacto eléctrico entre las paredes de la jaula de Faraday conocidos por una persona medianamente versada en el arte.

- Alternativamente el primer atenuador acústico (4b) y el segundo atenuador acústico (4c) son de un material que se selecciona entre lana de roca, fibra de vidrio, fibras sintéticas, fibras
- 30 naturales, espumas de celda abierta o combinaciones de los anteriores.

En una modalidad de la invención el primer atenuador acústico (4b) tiene un espesor que va desde 10 mm a 30 mm, una densidad de que va desde 30 Kg/m³ a 200 Kg/m³. En un ejemplo, opcionalmente el primer atenuador acústico (4b) tiene un espesor de 5 mm y una densidad de 70Kg/m³.

El primer atenuador acústico (4b) absorbe la onda incidente del parlante (2) sobre la jaula de Faraday (4a) y así el sensor de aceleración (4e) no percibe vibraciones acústicas que interfieran con la medida de las ondas reflejadas que son de interés para la estimación de los parámetros de las dos capas de sólidos y líquidos estudiados.

- 5 En una modalidad de la invención el segundo atenuador acústico (4c) tiene un espesor que va desde 10mm a 30mm, una densidad de que va desde 30Kg/m³ a 200Kg/m³. En un ejemplo, opcionalmente el atenuador el segundo atenuador acústico (4c) tiene un espesor de 5 mm y una densidad de 70Kg/cm³.

- 10 El segundo atenuador acústico (4c) absorbe las ondas reflejadas del parlante (2) sobre la jaula de Faraday (4a) que viajan por el aire entre la segunda pared con cara interna (4g) y la superficie de la primera capa, de esta manera el sensor de aceleración (4e) no percibe vibraciones acústicas que interfieran con la medida de las ondas reflejadas que son de interés para la estimación de los parámetros de las dos capas de sólidos y líquidos estudiados.

- Una jaula de Faraday funciona mejor cuando está conectada a la tierra eléctrica del sistema.
- 15 De esta manera, las señales electromagnéticas externas al sistema que actúan sobre la jaula de Faraday se transportan por las paredes de la jaula a la tierra del sistema sin interferir con los elementos electrónicos internos en la jaula de Faraday (v.gr. sensor acelerómetro), funcionando también de adentro hacia afuera, es decir las emisiones de señales electromagnéticas generadas al interior de la jaula de Faraday son capturadas por las paredes
- 20 de la jaula de Faraday y conducidas a tierra eléctrica. Sin embargo, la jaula de Faraday también puede operar sin conexión a tierra eléctrica pero la efectividad en el blindaje contra señales electromagnéticas es inferior que cuando se una la conexión a tierra. Por ejemplo, preferiblemente la jaula de Faraday (4a) se conecta a un punto de tierra ubicado en el circuito acondicionador de señales (3) para proteger el sensor de aceleración (4e) ubicado en el
- 25 interior de la jaula de Faraday (4a). En un ejemplo, la jaula de Faraday (4a) se conecta al circuito acondicionador de señales (3) a través de un cable apantallado para también evitar que se induzcan señales electromagnéticas desde el exterior al interior del sistema de la presente invención.

- Se entenderá para la presente invención que un cable apantallado es un conductor eléctrico
- 30 recubierto por una malla o tubo metálico que actúa de la misma forma que una jaula de Faraday.

- Las paredes de la jaula de Faraday (4a) son de un material que se selecciona de conductores eléctricos sólidos como plata pura, galio, cobre, cobre endurecido, níquel, aluminio, grafito, zinc puro, bronce con fósforo, bronce, acero, latón, metal galvanizado, hierro, hierro colado,
- 35 oro, y aleaciones estos.

Las paredes de la jaula de Faraday (4a) deben estar acopladas eléctricamente por tanto los elementos de sujeción entre ellas deben estar fabricados en materiales conductores eléctrico que se seleccionan de conductores eléctricos sólidos como plata pura, galio, cobre, cobre endurecido, níquel, aluminio, grafito, zinc puro, tantalio, bronce, acero, latón, metal, galvanizado, hierro, hierro colado, oro, y aleaciones estos, además dichos elementos se seleccionan entre el grupo compuesto por sistemas permanentes de sujeción (v.gr. remaches o soldaduras) o sistemas de sujeción removibles (v. gr. pernos, tornillos, espárragos, sistemas tornillo-tuerca, pasadores y cuñas), y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, los elementos de sujeción (4d) se seleccionan entre el grupo compuesto por sistemas permanentes de sujeción (v.gr. remaches o soldaduras) o sistemas de sujeción removibles (v. gr. pernos, tornillos, espárragos, sistemas tornillo-tuerca, pasadores y cuñas), y combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, los elementos de sujeción (4d) son de un material que se selecciona entre acero al carbono, fundiciones de hierro, hierro galvanizado, aceros al cromo, aceros al cromo-níquel, aceros al cromo-níquel-titanio, aleaciones al cromo-molibdeno, acero inoxidable 301, acero inoxidable 302, acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, acero inoxidable 405, acero inoxidable 410, acero inoxidable 430, acero inoxidable 442, acero aleado con manganeso, aleaciones con níquel y combinaciones de los anteriores.

Usar aleaciones anti desgaste o aceros inoxidables en el proceso de fabricación de los elementos de sujeción (4d) permite que este sea resistente a la corrosión ocasionada por los ácidos o las bases que pueden estar presentes en la superficie de la capa de sólidos o líquidos que además soporten fuerzas longitudinales que alteren la ubicación u orientación del dispositivo de la presente invención.

En una modalidad de la invención, los elementos de sujeción (4d) son de un material plástico termoplástico o termoestable que sea resistente a la corrosión de ácidos y bases que pueden estar presentes en la superficie de la capa de sólidos o líquidos.

En una modalidad de la invención, los elementos de sujeción (4d) son de un material plástico seleccionado entre policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés); de policloruro de vinilo clorado (CPVC, por sus siglas en inglés); polietileno teréftalato (PET, por sus siglas en inglés), poliamidas (PA) (v.g. PA12, PA6, PA66); policlorotrifluoretileno (PCTFE, por sus siglas en inglés); polifluoruro de vinilideno (PVDF, por sus siglas en inglés); politetrafluoruro de etileno (PTFE, por sus siglas en inglés); etileno-clorotrifluoroetileno (ECTFE, por sus siglas en inglés); plásticos (resinas poliéster, vinilester, epóxicas, vinílicas) reforzados con fibras (v.g. de vidrio, aramida, poliéster); o combinaciones de los mismos.

En una modalidad de la invención, los elementos de sujeción (4d) son de un diámetro que va desde 1mm a 10mm y preferiblemente 5mm.

En una modalidad preferida de la invención los elementos de sujeción se fijan a presión, aunque también pueden fijarse por un sistema permanente (como remaches o soldaduras) o removibles como por ejemplo pernos, tornillos, espárragos, sistemas tornillo-tuerca, pasadores y cuñas dependiendo del tipo de sistema de fijación.

5 El método de la presente invención.

Adicionalmente la presente invención también presenta un método para inferir espesores en capas de fluidos y sólidos homogéneos implementado en una unidad de cómputo que comprende las etapas: etapa a) aplicar un test de respuesta en frecuencia al sólido o al fluido bajo análisis; etapa b) seleccionar valores preliminares de semilla para cada uno de los
10 siguientes parámetros: espesores de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos, velocidades de propagación de onda longitudinal y densidades de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos; etapa c) calcular la función de transferencia del sólido o fluido para las respuestas en frecuencia obtenidas en la etapa a y extraer la magnitud de dicha función de transferencia; etapa d) calcular la magnitud del error entre las funciones
15 de transferencia teórica y experimental; etapa e) comparar la magnitud del error con una tolerancia dada por un usuario, si la magnitud del error es mayor que la tolerancia entonces se actualiza el valor de los parámetros de la etapa b empleando una función de optimización no lineal, en caso contrario presentar los valores de los parámetros estimados de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de cada una de las dos capas que
20 conforman las capas de sólidos o fluidos; etapa f) mostrar los parámetros estimados en un dispositivo para visualización.

Se entenderá que un test de frecuencias consiste en aplicar sobre las capas de sólidos o líquidos un barrido en frecuencia desde una frecuencia mínima hasta una frecuencia máxima en incrementos de frecuencia (delta de frecuencia) y registrar cambios en los parámetros en
25 referencia a estas mismas frecuencias.

En un ejemplo la etapa (a) comprende los siguientes pasos: paso 1) seleccionar una frecuencia en un generador de ondas (1) con valores (entre 10Hz hasta 1Khz) con un delta de frecuencia de 1Hz, paso 2) excitar el sólido o fluido mediante un parlante (2) sometido al generador de ondas (1) del paso a, paso 3) medir la amplitud de la aceleración del vector normal de la
30 superficie del fluido o sólido bajo análisis en un punto con un medidor de aceleración (4) y almacenarlo en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6), paso 4) determinar la presión acústica del frente de onda generado por el parlante (2) y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6), paso 5) calcular la fuerza normal aplicada sobre el punto al que se le hizo la amplitud del paso 3 y almacenarla en un registro de memoria de
35 una unidad de cómputo (6), paso 6) calcular la magnitud de la función de transferencia experimental usando las medidas de los pasos 3, 4 y 5 y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6). Donde se repiten los pasos del 1 al 6, un número entero de fijaciones definida por un delta de frecuencia por un usuario, aumentado cada

repetición la frecuencia del generador de ondas (1) del paso 1, y almacenar los resultados de paso 6 en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6).

En otro ejemplo la etapa (a) comprende los siguientes pasos: paso 1) seleccionar una frecuencia en un generador de ondas (1) con valores (entre 10Hz hasta 1Khz) con un delta de frecuencia de 1Hz, paso 2) excitar el sólido o fluido mediante un parlante (2) sometido al amplificador de audio (7) que a la vez se conecta al generador de onda (1) del paso a, paso 3) medir la amplitud de la aceleración del vector normal de la superficie del fluido o sólido bajo análisis en un punto con un medidor de aceleración (4) y almacenarlo en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6), paso 4) determinar la presión acústica del frente de onda generado por el parlante (2) y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6), paso 5) calcular la fuerza normal aplicada sobre el punto al que se le hizo la amplitud del paso 3 y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6), paso 6) calcular la magnitud de la función de transferencia experimental usando las medidas de los pasos 3, 4 y 5 y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6). Donde se repiten los pasos del 1 al 6, un número entero de fijaciones definida por un delta de frecuencia por un usuario, aumentado cada repetición la frecuencia del generador de ondas (1) del paso 1, y almacenar los resultados de paso 6 en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6).

Los valores de delta de frecuencia recomendados dependen de la profundidad que se quiere alcanzar a medir. En la tabla 1 se pueden ver algunos ejemplos. En caso de hacer el barrido y no registrar picos distribuidos de manera regular es necesario disminuir el delta de frecuencia hasta que se comience a registrar picos distribuidos. El delta de frecuencia va desde 0 Hz hasta 100 Hz.

h(m)	Δf(Hz)
0.05	100
0.10	56
0.20	28
0.30	19
0.40	14
0.50	11
0.60	9
0.70	8
0.80	7
0.90	6
1.00	5

Tabla 1.

Haciendo referencia a la FIG. 4, a la FIG. 5, a la FIG. 6 y a la FIG. 7, en una modalidad de la presente invención el delta de frecuencia se ajusta según la relación $\Delta f=5.55/h$ para un h mayor que 0.05m y un Δf igual a 100Hz para un h menor o igual de 0.05m. Para el entendimiento de la presente invención se entenderá que Δf es delta de frecuencia.

Haciendo referencia a la FIG. 4, se alcanza una ganancia normalizada de la función de transferencia de 0.6 alrededor de 200Hz y 1 a 1kHz respectivamente para un delta de frecuencia de 100Hz y un espesor de capa de 0.01m.

Haciendo referencia a la FIG. 5, se presentan tres picos de resonancia con ganancia normalizada de la función de transferencia de 0.5, 0.8 y 1 en 300Hz, 600Hz y 900Hz respectivamente para un delta de frecuencia de 56Hz y un espesor de capa de 0.10m.

Haciendo referencia a la FIG. 6, se presentan seis picos de resonancia con ganancia normalizada de la función de transferencia de 0.24, 0.5, 0.7, 0.8, 0.9 y 1 en 150Hz, 300Hz, 450Hz, 600Hz, 750Hz y 900Hz respectivamente para un delta de frecuencia de 28 y un espesor de capa de 0.20m.

Haciendo referencia a las FIG. 7, se presentan 16 picos de resonancia con ganancia normalizada de la función de transferencia de 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.75, 0.8, 0.82, 0.85, 0.89, 0.92, 0.95, 0.98, y 1.00 en 60Hz, 120Hz, 180Hz, 240Hz, 300Hz, 360Hz, 420Hz, 480Hz, 540Hz, 600Hz, 660Hz, 720Hz, 780Hz, 840Hz, 900Hz y 960Hz respectivamente para un delta de frecuencia de 11Hz y un espesor de capa de 0.50m.

Alternativamente los valores de semilla de la etapa b se seleccionan de características geofísicas, por ejemplo ser consultado por entes gubernamentales como Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Opcionalmente los valores de semilla de la etapa b son generados aleatoriamente de un intervalo para cada parámetro así: velocidades de propagación de onda longitudinal para las capas entre 100 m/s y 7000 m/s; densidades de las capas entre 400 kg/m³ y 4000 kg/m³; alturas de las capas entre 0.01 m y 10 m, con el fin de automatizar el proceso de estimación de los parámetro de las capas de sólidos y líquidos a estudiar.

Alternativamente los valores de semilla de la etapa b se selecciona a criterio de usuario de un intervalo definido para cada parámetro, un usuario experto puede seleccionar los valores de las semillas de acuerdo a su conocimiento del terreno a estudiar para reducir los costos en tiempo en la ejecución del método y llegar rápidamente a la estimación de los parámetros de las capas de sólidos y líquidos en estudio

En la presente invención el método alternativamente en la etapa c el cálculo de la función de transferencia se realiza usando la siguiente relación:

$$G = \frac{mag[a]}{mag[F]} \Big|_{y=0} = \frac{2\pi f mag[u(y=0)]}{A_0 c_0 \rho_0 A_{subw}}. \tag{Ecuación 5.}$$

5 G es función de $c_0, \rho_0, c_1, \rho_1, c_2, \rho_2, \alpha_1, \alpha_2, f, h, d, A_{subw}$ y A_0 . Aquí se toma conocido los parámetros que dependen del aire y del parlante (2) tal como se definen en la tabla 2. El valor de la frecuencia f es controlado por el generador de ondas (1). Los valores para la atenuación de α_1 y de α_2 se seleccionan con un valor igual a cero debido a que se trabaja sobre capas

$A_0[m]$	$\rho_0[kg/m^3]$	$c_0[m/s]$	$R_{subw}[m]$
1	1	343	0.195

Tabla 2.

10 Alternativamente en el método de la presente invención en la etapa f de la función de optimización se selecciona del grupo conformado por descenso del gradiente, Newton, Levenberg-Marquardt, algoritmo genético, red neuronal y combinaciones de las anteriores. Para estimar estos parámetros de velocidades de propagación de onda longitudinal para las capas, densidades de las capas y espesores de las capas, se debe minimizar Ecuación 6.

15 la diferencia entre las ganancias teórica de la ecuación 1 y experimental de la tabla 1. Suponiendo parámetros son aproximadamente constantes en el rango de frecuencia de trabajo, por lo que estos datos experimentales a estas frecuencias se utilizan para estimar estas propiedades de las capas de suelo junto a la profundidad y espesor de las capas superficiales en base a la ecuación 1. Así, la suma de cuadrados de las diferencias entre las

20 ganancias teórica y experimental es usada como función de costos para el proceso de optimización:

$$FC(X) = \sum_{v=1}^T |G_v^{th}(X, f_v) - G_v^{exp}(f_v)|^2$$

donde T es el número total de frecuencias tomadas en la experimentación y X es el vector que contiene los parámetros a estimar y se define como:

25

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\} = \{c_1, \rho_1, c_2, \rho_2, h, d\}$$

Ecuación 6

- c_1 es la velocidad de propagación de onda longitudinal de la capa 1
- c_2 es la velocidad de propagación de onda longitudinal de la capa 2
- ρ_1 es la densidad de la capa 1
- ρ_2 es la densidad de la capa 2
- h es el espesor de la capa 1
- d es el espesor de la capa 2

Haciendo referencia a la FIG. 1 y a la FIG. 2, el parámetro L es la distancia entre el parlante (2) y la superficie de la capa 1 y se recomienda tomar valores entre 0.10 m y 0.20 m.

Haciendo referencia a la FIG. 1 y a la FIG. 2, h es el espesor de la capa 1 y d es el espesor de la capa 2.

- 5 Los seis parámetros son cantidad con sentido físico, y por tanto sus valores se limitan a valores físicamente factibles. De esta manera un número de restricciones son introducidas en el proceso de optimización, por ejemplo, para c_1 y c_2 las velocidades de propagación de onda longitudinal para las capas entre 100 m/s y 7000 m/s; densidades de las capas entre 400 kg/m³ y 4000 kg/m³; alturas de las capas entre 0.01 m y 10 m.
- 10 En el proceso de medición, se puede utilizar un sonómetro (no ilustrado) para medir los niveles de presión de sonido y graficados versus la frecuencia de la señal eléctrica. Así, la fuerza acústica en la superficie del suelo se estima para obtener experimentalmente la ganancia del sistema, también conocida como la función de transferencia del sistema.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para estimar espesores y parámetros de capas de fluidos y solidos homogéneos que comprende:

un generador de ondas (1);

5 un parlante (2) conectado al generador de ondas (1);

un circuito acondicionador de señales (3);

un medidor de aceleración (4) conectado a un circuito acondicionador de señales (3);
y operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido y/o sólido, debajo y
centrado del parlante (2);

10 una tarjeta de adquisición de datos (5) conectada al circuito de acondicionador de
señales (3);

una unidad de cómputo (6) conectada a la tarjeta de adquisición de datos (5);

donde el parlante (2) se dispone operativamente sobre la cara más exterior de las
capas de sólido o líquidos, el medidor de aceleración (4) esta operacionalmente
15 dispuesto en la cara más exterior del fluido o sólido, y la unidad de cómputo (6) estima
espesores y parámetros de capas de fluidos y solidos homogéneos basado en el
análisis de la señal proporcionada por el medidor de aceleración (4).

2. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el generador de ondas (1) se conecta a
un amplificador de audio (7) y el amplificador de audio (7) se conecta al parlante (2).

20 3. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el generador de ondas (1) se selecciona
entre generadores de onda y circuitos integrados sintetizadores DDS/DAC, NCOs, arreglos
de amplificadores operacionales en configuración de generador de onda, circuitos osciladores
biestables y combinaciones de los anteriores.

4. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde a la unidad de cómputo (6) está
25 conectada a un sonómetro.

5. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la tarjeta de adquisición de datos (5) se
conecta a un medidor de voltaje RMS (8).

6. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el parlante (2) se selecciona del grupo
de woofers, parlantes de bobina móvil, parlantes de condensador, parlantes de cinta, parlantes
30 de pantalla infinita, parlantes planos, parlante bass réflex, parlantes de carga con bocina o
combinaciones de los anteriores.

7. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el medidor de aceleración (4) se selecciona del grupo de acelerómetros piezoeléctricos, acelerómetros mecánicos, acelerómetros capacitivos, vibrómetros laser, acelerómetros de fuerza balanceada, acelerómetros micro-electromecánicos o combinaciones de los anteriores.
- 5 8. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el medidor de aceleración (4) es un acelerómetro triaxial con salida analógica o salida digital.
9. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde el circuito acondicionador de señales (3) está conformado por una etapa de pre-amplificación y una etapa de filtrado.
10. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la tarjeta de adquisición de datos (5) discretiza y digitaliza la señal del circuito acondicionador de señales (3).
- 10 11. El dispositivo de la Reivindicación 1, donde la tarjeta de adquisición de datos (5) muestrea con una frecuencia entre 2kHz y 250 kHz.
12. El dispositivo de la Reivindicación 1, caracterizado porque el medidor de aceleración (4) se aloja al interior de una jaula Faraday (4).
- 15 13. El dispositivo de la Reivindicación 12, caracterizado porque la jaula de Faraday (4a) es un ortoedro conformado por seis paredes, y orientado con dos de sus paredes normales al parlante (2); la primera pared con una cara interna (4f) y la segunda pared con una cara interna (4g), se conecta un primer atenuador acústico (4b) sobre la cara interna (4f) y un segundo atenuador acústico (4c) sobre la cara interna (4g); se dispone operacionalmente un sensor de
- 20 aceleración (4e) sobre el segundo atenuador acústico (4c), el sensor de aceleración (4e) está orientado normalmente a la superficie interna del segundo atenuador acústico (4c).
14. El dispositivo de la Reivindicación 13, donde el primer atenuador acústico (4b) y el segundo atenuador acústico (4c) son de un material que se selecciona entre lana de roca, fibra de vidrio, fibras sintéticas, fibras naturales, espumas de celda abierta o combinaciones de los
- 25 anteriores.
15. Un método para inferir espesores en capas de fluidos y solidos homogéneos implementado en una unidad de cómputo (6) que comprende las etapas:
- a: aplicar un test de respuesta en frecuencia al solido o al fluido bajo análisis;
- b: seleccionar valores preliminares de semilla para cada uno de los siguientes
- 30 parámetros: espesores de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos, velocidades de propagación de onda longitudinal y densidades de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos y almacenarlos en un registro de memoria de la unidad de cómputo (6);

- c: calcular la función de transferencia del sólido o fluido para las respuestas en frecuencia obtenidas en la etapa a y extraer la magnitud de dicha función de transferencia y almacenarla en un registro de memoria de la unidad de cómputo (6);
- d: calcular la magnitud del error entre las funciones de transferencia teórica y experimental y almacenarla en un registro de memoria de la unidad de cómputo (6);
- e: comparar la magnitud del error con una tolerancia dada por un usuario, si la magnitud del error es mayor que la tolerancia entonces se actualiza el valor de los parámetros de la etapa b empleando una función de optimización no lineal, en caso contrario presentar los valores de los parámetros estimados de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de cada una de las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos;
- f: mostrar los parámetros estimados en un dispositivo para visualización.
16. El método de la Reivindicación 15, donde la etapa a comprender los siguientes pasos:
1. seleccionar una frecuencia en un generador de ondas (1) con valores (entre 10Hz hasta 1Khz) con un delta de frecuencia de 1Hz;
 2. excitar el sólido o fluido mediante un parlante (2) sometido al generador de ondas (1) del paso a;
 3. medir la amplitud de la aceleración del vector normal de la superficie del fluido o sólido bajo análisis en un punto con un medidor de aceleración (4) y almacenarlo en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6);
 4. determinar la presión acústica del frente de onda generado por el parlante (2) y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6);
 5. calcular la fuerza normal aplicada sobre el punto al que se le hizo la amplitud del paso 3 y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6);
 6. calcular la magnitud de la función de transferencia experimental usando las medidas de los pasos 3, 4 y 5 y almacenarla en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6);
17. El método de la Reivindicación 16, donde se repiten los pasos del 1 al 6, un número entero de fijaciones definida por un delta de frecuencia por un usuario, aumentado cada repetición la frecuencia del generador de ondas (1) del paso 1, y almacenar los resultados de paso 6 en un registro de memoria de una unidad de cómputo (6).

18. El método de la Reivindicación 17, donde el delta de frecuencia se ajusta según la relación $\Delta f = 5.55/h$ para un h mayor que 0.05m y un Δf igual a 100Hz para un h menor o igual de 0.05m.
19. El método de la Reivindicación 17, donde los valores de semilla de la etapa b se selecciona de características geofísicas.
20. El método de la Reivindicación 17, donde los valores de semilla de la etapa b son generados aleatoriamente de un intervalo para cada parámetro así: velocidades de propagación de onda longitudinal para las capas entre 100 m/s y 7000 m/s, densidades de las capas entre 400 kg/m³ y 4000 kg/m³ y espesores de las capas entre 0.01 m y 10 m.
21. El método de la Reivindicación 15, donde en la etapa c el cálculo de la función de transferencia se realiza usando la siguiente relación:

$$G = \frac{mag[a]}{mag[F]} \Big|_{y=0} = \frac{2\pi f mag[u(y=0)]}{A_0 c_0 \rho_0 A_{subw}}.$$

RESUMEN

La presente invención corresponde a un dispositivo y un método para estimar espesores en capas de fluidos o sólidos en capas poco profundas. El dispositivo de la invención comprende: un generador de ondas, un parlante conectado al generador de ondas, un circuito acondicionador de señales, un medidor de aceleración conectado a un circuito acondicionador de señales y operacionalmente dispuesto con la superficie del fluido y/o sólido, debajo y centrado del parlante . Una tarjeta de adquisición de datos conectada al circuito de acondicionador de señales y una unidad de cómputo conectada a la tarjeta de adquisición de datos. Y el método con las etapas: a) aplicar un test de respuesta en frecuencia al solido o al fluido bajo análisis; b) seleccionar valores preliminares de semilla para cada uno de los siguientes parámetros: espesores de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos, velocidades de propagación de onda longitudinal y densidades de cada una de las capas que conforman los sólidos o fluidos; c) calcular la función de transferencia del sólido o fluido para las respuestas en frecuencia obtenidas en la etapa a y extraer la magnitud de dicha función de transferencia; d) calcular la magnitud del error entre las funciones de transferencia teórica y experimental; e) comparar la magnitud del error con una tolerancia dada por un usuario, si la magnitud del error es mayor que la tolerancia entonces se actualiza el valor de los parámetros de la etapa b empleando una función de optimización no lineal, en caso contrario presentar los valores de los parámetros estimados de velocidades de propagación de onda longitudinal, densidades, espesores de cada una de las dos capas que conforman las capas de sólidos o fluidos; f) mostrar los parámetros estimados en un dispositivo para visualización.

FIGURAS

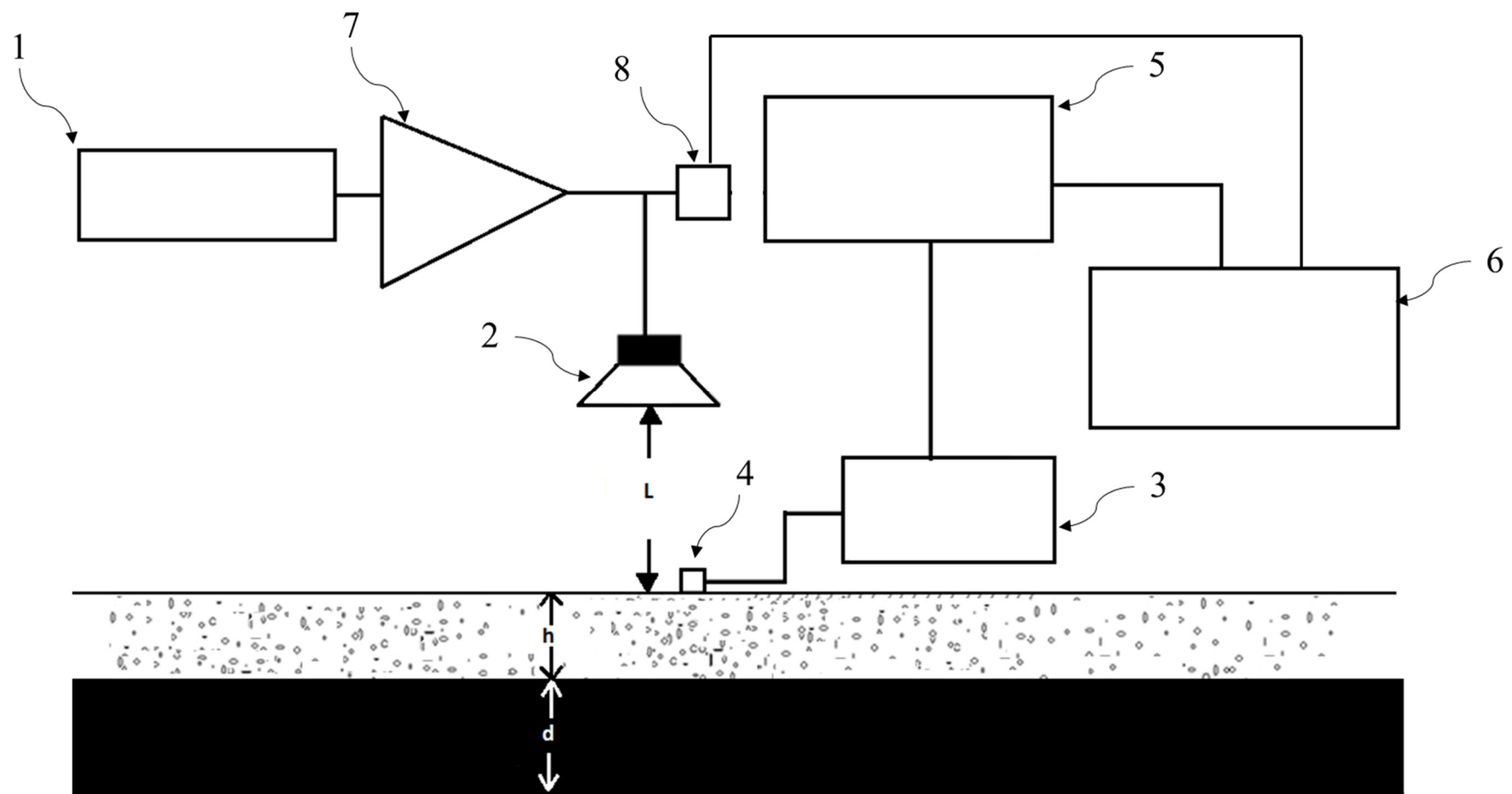


FIG. 1

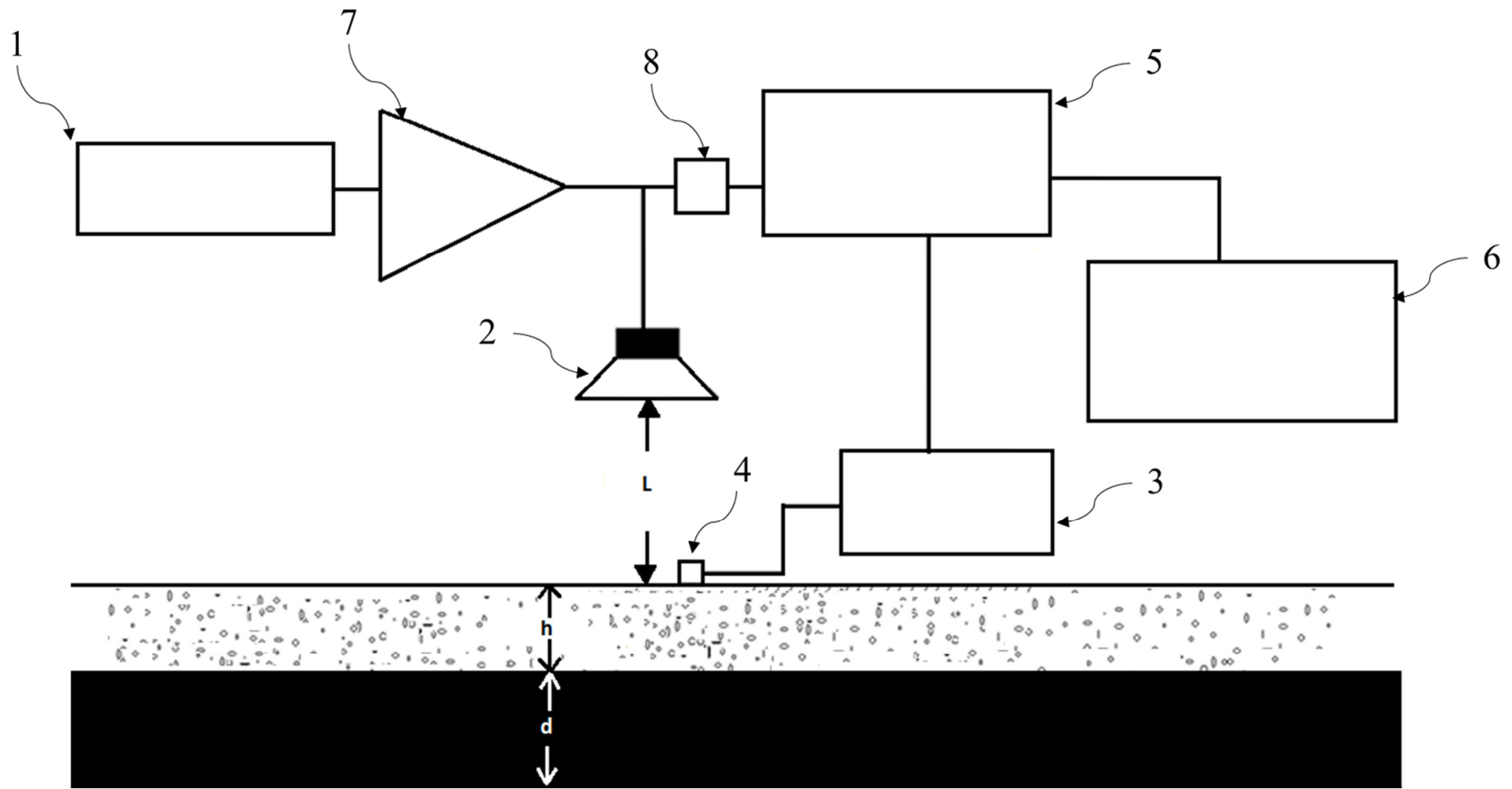


FIG. 2

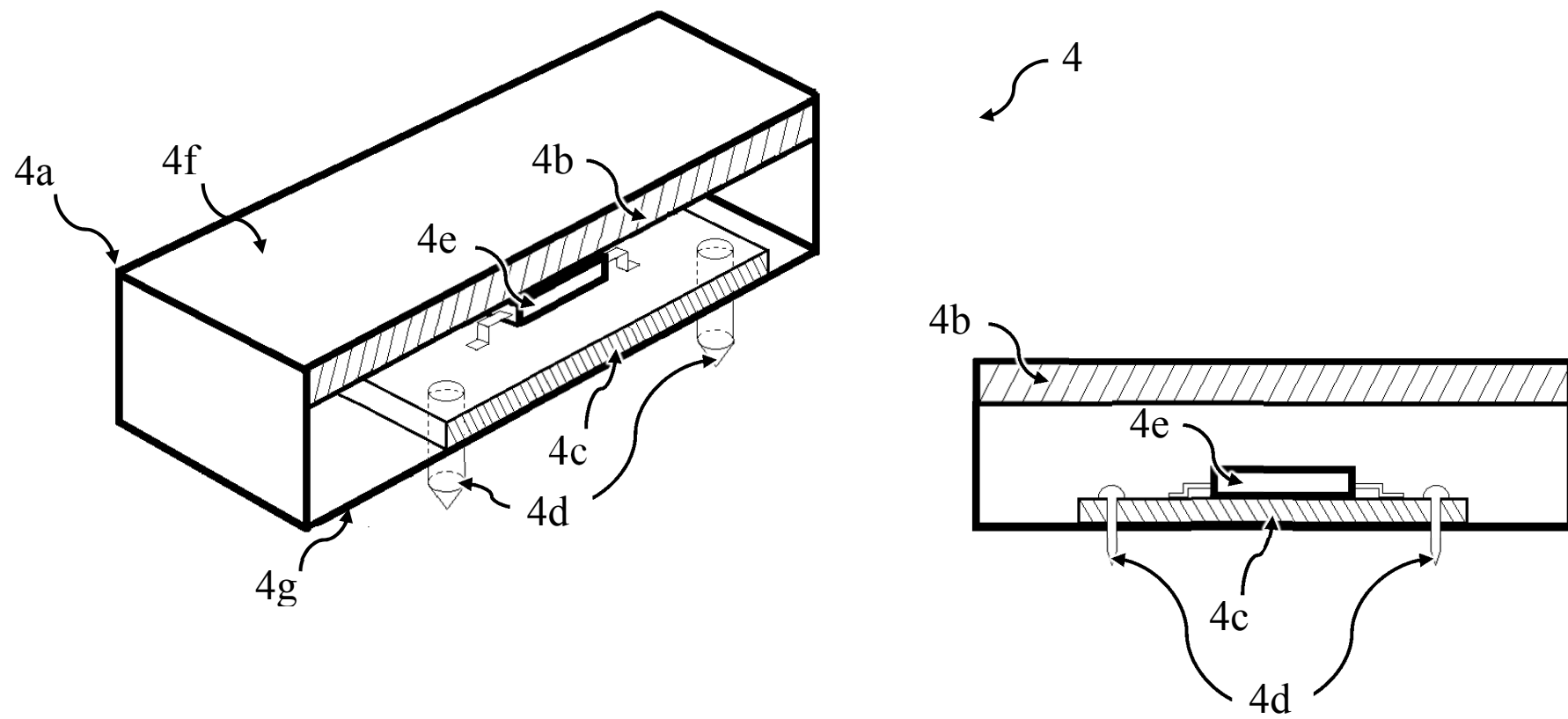


FIG. 3

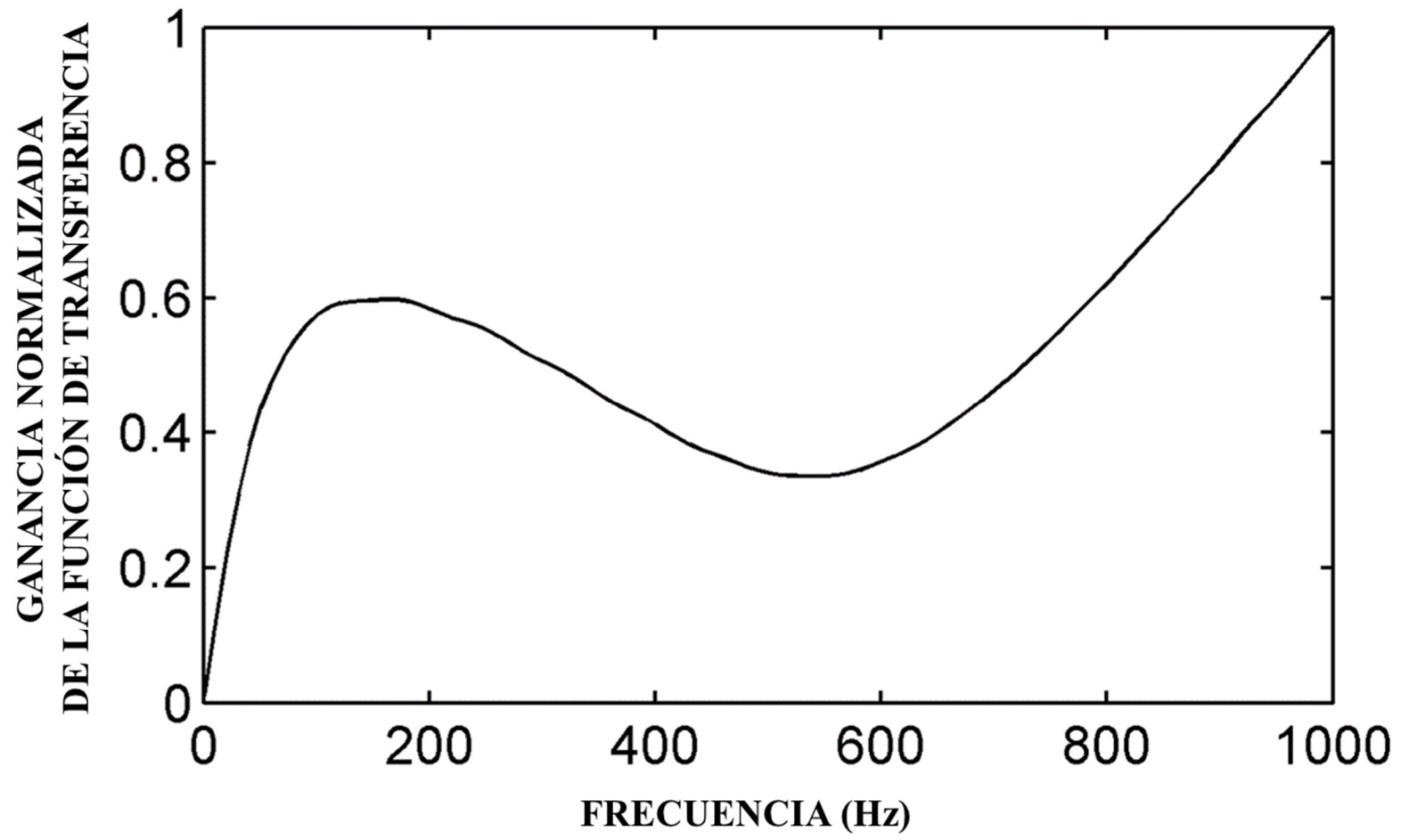


FIG. 4

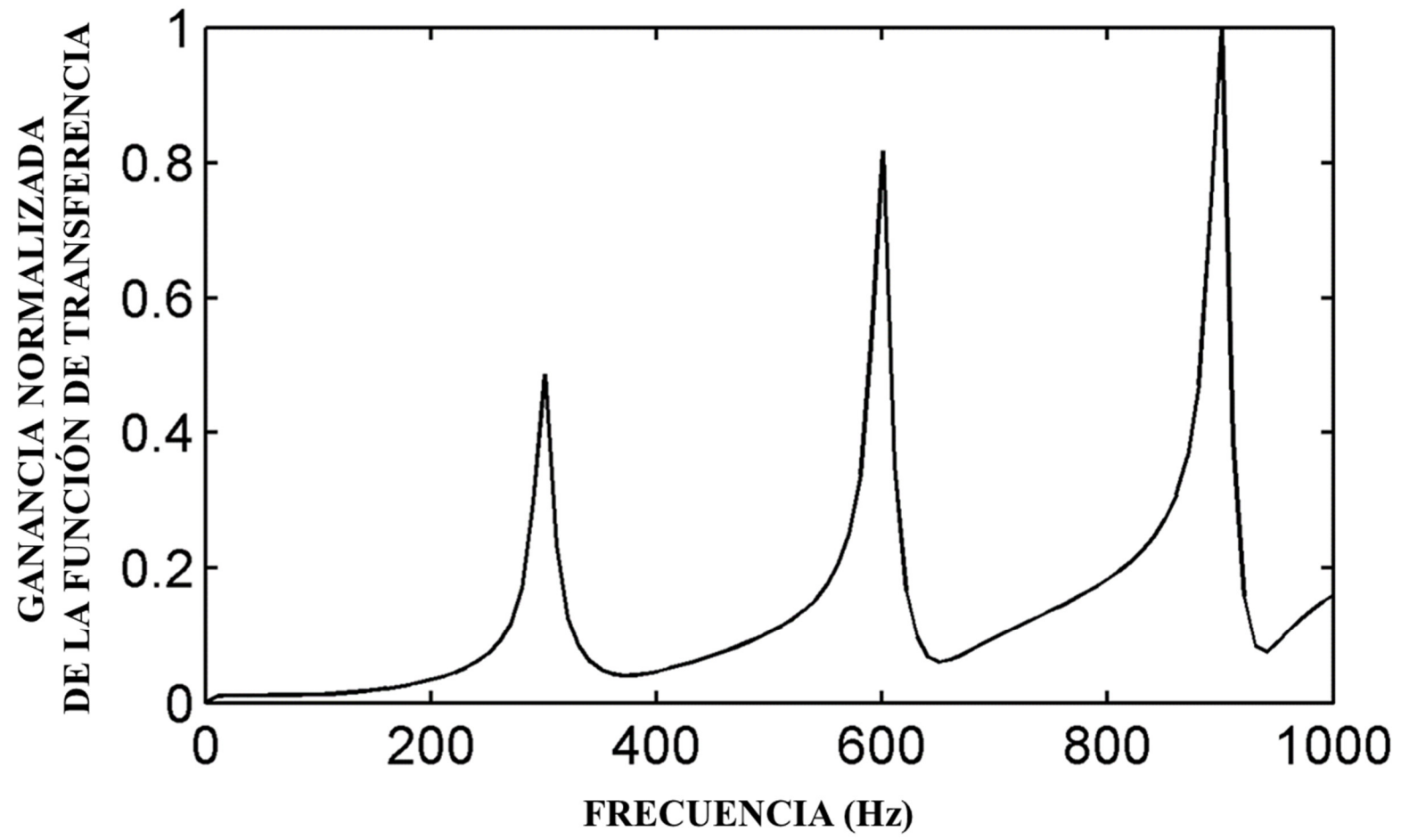


FIG. 5

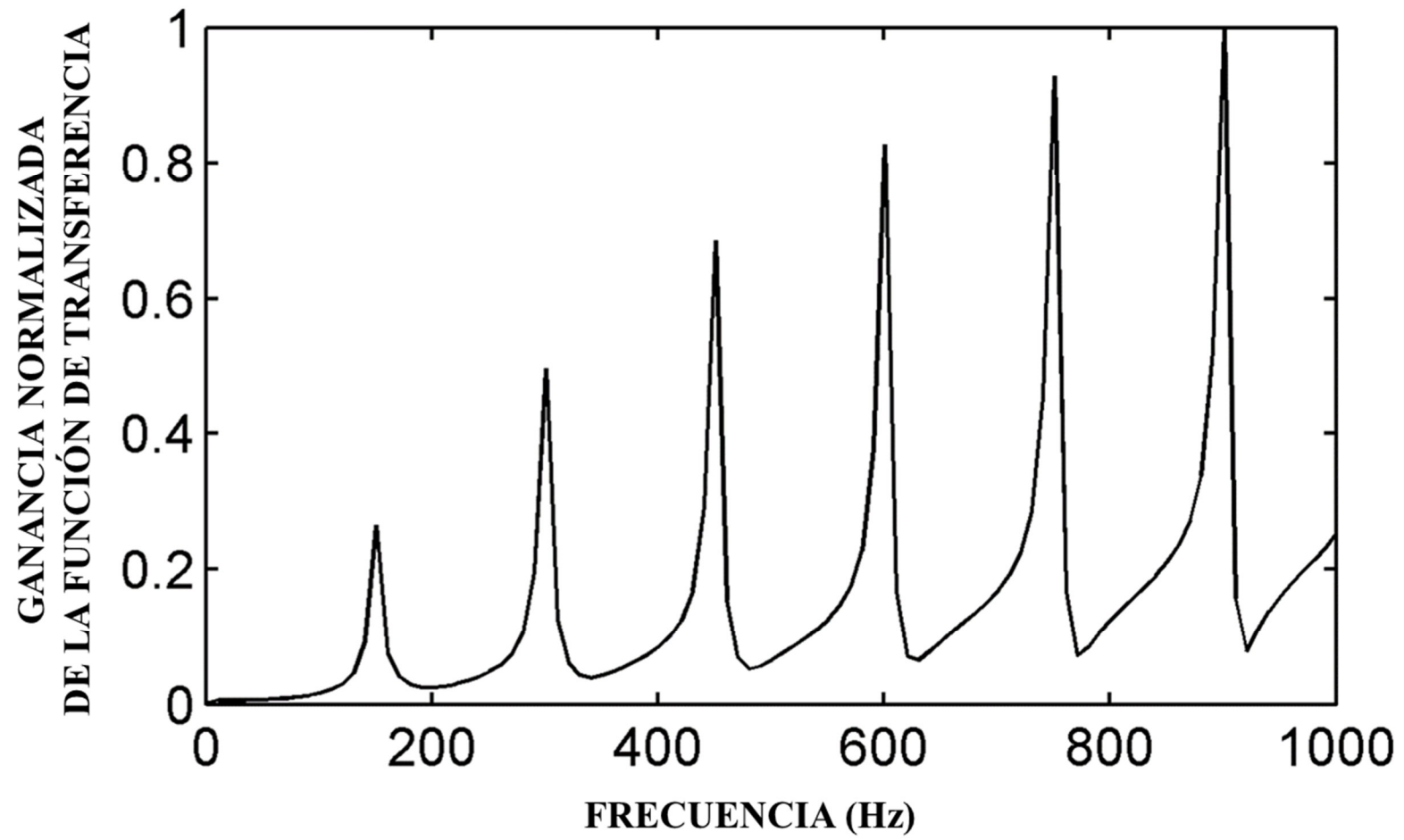


FIG. 6

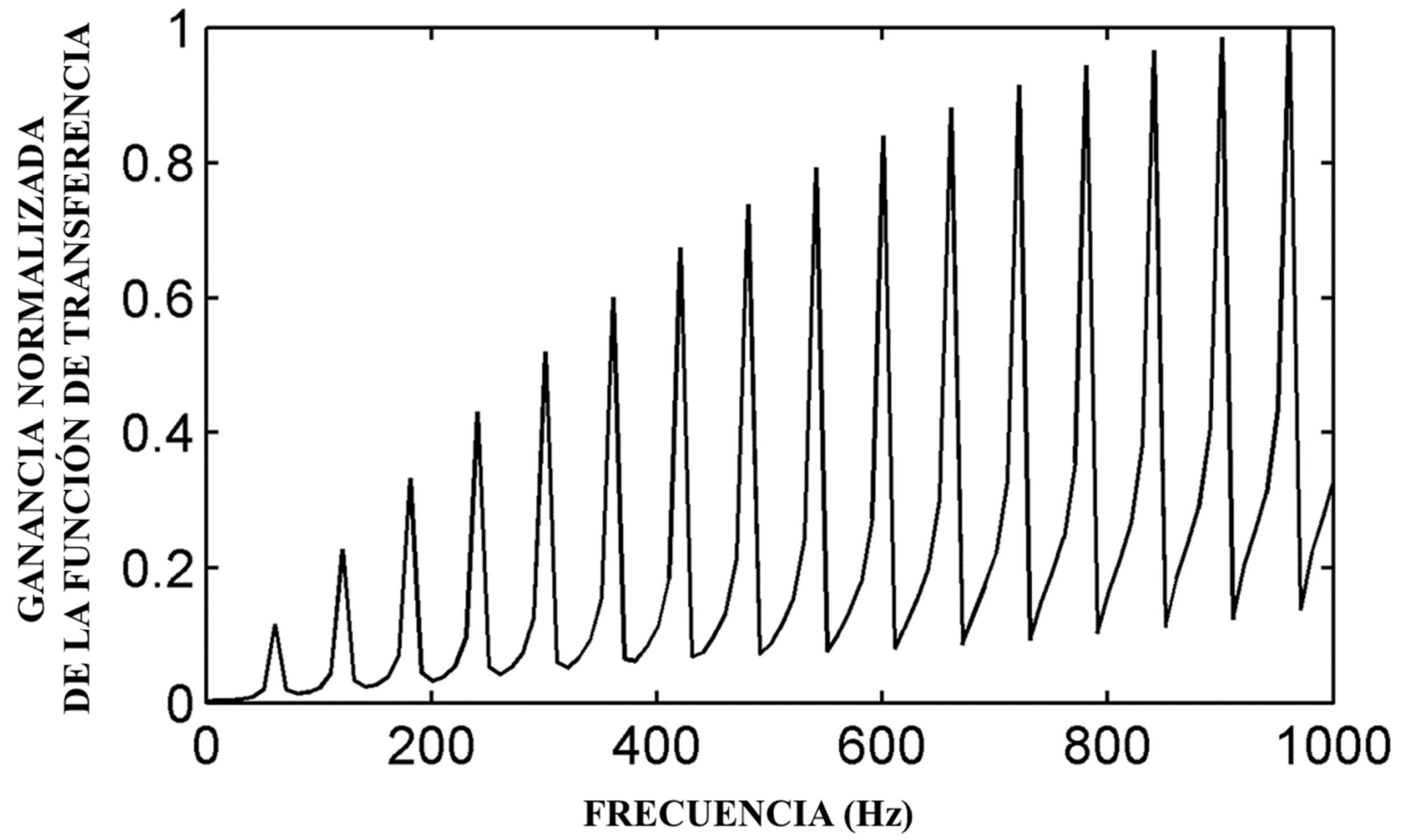


FIG. 7