

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 786**

51 Int. Cl.:

H04R 1/40 (2006.01)

G01H 5/00 (2006.01)

G01S 3/86 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2013 PCT/US2013/041129**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14025436**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2013 E 13827204 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2856183**

54 Título: **Sistemas y métodos para detectar señales acústicas transitorias**

30 Prioridad:

31.05.2012 US 201261653800 P

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

18.10.2019

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF MISSISSIPPI (100.0%)
100 Barr Hall
University, MS 38677, US**

72 Inventor/es:

FRAZIER, WILLIAM GARTH

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 727 786 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

5 Sistemas y métodos para detectar señales acústicas transitorias

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica prioridad con respecto a la solicitud provisional de Estados Unidos n.º 61/653.800, presentada el 31 de mayo de 2012.

Declaración sobre la investigación y el desarrollo patrocinados por el gobierno federal

Esta invención se realizó con el apoyo del Gobierno [de Estados Unidos], en virtud del contrato n.º W15QKN-09-C-0131 otorgado por el Departamento de Defensa. El Gobierno posee determinados derechos en esta invención.

Campo de la divulgación

La presente divulgación se refiere en general a la detección de señales acústicas transitorias en presencia de ruido de viento.

Antecedentes

El ruido de viento es un problema bien conocido que con frecuencia se experimenta cuando se intentan estimar los parámetros de señales acústicas, como por ejemplo las direcciones de llegada y las formas de onda. A menudo se obtienen mejoras significativas en la relación señal/ruido (S/R) mediante el uso de parabrisas mecánicos, y se ha investigado el rendimiento de varios tipos y formas de parabrisas a lo largo de los años. En algunas aplicaciones, los parabrisas mecánicos pueden ser adecuados para reducir el nivel global medido de las fluctuaciones de presión debidas al ruido de viento sin distorsionar significativamente la energía acústica. Sin embargo, en otras aplicaciones estas técnicas pueden no ser adecuadas, y la correlación entre las fluctuaciones debidas al ruido de viento puede sesgar las estimaciones de la dirección de llegada de la energía acústica y la forma de onda correspondiente.

Cuando las señales de onda continua (CW por sus siglas en inglés, *continuous wave*) están presentes, se pueden lograr ganancias en la S/R determinando la media de tiempo para mejorar las capacidades de detección. Asimismo, cuando es importante la detección de la dirección de llegada, se pueden utilizar matrices de sensores para mejorar la S/R mediante la determinación de una media espacial a través de la conformación de haces (en inglés, *beamforming*). En la determinación de la media espacial, a menudo se asume que los sensores están lo suficientemente separados como para que el ruido de viento no esté correlacionado de un sensor a otro. Si este supuesto no se cumple, se producirán estimaciones sesgadas de los parámetros de la señal.

Sin embargo, en aplicaciones que implican la detección de señales acústicas transitorias, la determinación de la media de tiempo no resulta generalmente eficaz para mejorar la S/R. En tales casos, generalmente se utilizan parabrisas mecánicos y la determinación de medias espaciales. Para lograr el rendimiento de estimación deseado, se utiliza un número apropiado y una configuración espacial de los sensores. Al igual que en la detección de la señal de onda continua, para al menos algunos sistemas conocidos de conformación de haces, es importante que los sensores estén lo suficientemente separados para evitar una correlación significativa del ruido de viento. Incidentalmente, si el ruido de viento está correlacionado y su estructura de correlación se conoce en el momento en que se adquiere la señal acústica transitoria, se pueden utilizar técnicas modificadas de conformación de haces para reducir el sesgo. Sin embargo, el ruido de viento con frecuencia es altamente no estacionario (racheado) y, por lo tanto, en al menos algunos sistemas de detección acústica conocidos, resulta relativamente difícil determinar la estructura de correlación del ruido de viento antes de adquirir los datos.

Además, los problemas de ruido de viento a menudo se exacerban en frecuencias infrasónicas y/o en frecuencias audibles en plataformas móviles, incluidos los vehículos terrestres y los vehículos aéreos no tripulados. Es decir, al menos algunos sistemas conocidos de micrófono acústico que funcionan en vehículos móviles sufren de ruido de flujo en el rango audible cuando los vehículos se mueven a velocidades de operación típicas. En estas aplicaciones, los parabrisas mecánicos pueden proporcionar únicamente beneficios limitados. En US 2002/191802 y US 2010/280824 se describen el procesamiento de señales de ruido de viento y señales acústicas, respectivamente, al llevar a cabo una correlación entre las señales de micrófono o entre las señales de micrófono y una señal de hilo caliente.

Sumario

- 5 En una realización opcional, una matriz de dos escalas para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas incluye una pluralidad de submatrices, cada una de las cuales incluye una pluralidad de micrófonos. Las submatrices están separadas entre sí, de modo que las submatrices están configuradas para detectar señales acústicas, y la pluralidad de micrófonos en cada submatriz están ubicados lo suficientemente cerca los unos de los otros como para que las señales de ruido de viento estén sustancialmente correlacionadas entre los micrófonos en cada submatriz.
- 10 En otra realización, un dispositivo informático para procesar señales de ruido de viento y señales acústicas incluye las características de la reivindicación 1, lo que comprende una interfaz de comunicación configurada para recibir datos de pulso de presión de una pluralidad de micrófonos. El dispositivo informático también incluye un dispositivo de memoria configurado para almacenar los datos recibidos de pulso de presión y un procesador configurado para ajustar los datos de pulso de presión procedentes de cada micrófono a un modelo paramétrico que incluye un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales de ruido de viento y un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales acústicas. El procesador también está configurado para estimar, basándose en el ajuste de los datos de pulso de presión, una presión y una velocidad de al menos una señal de ruido de viento en los datos de pulso de presión y una presión y una velocidad de al menos una señal acústica en los datos de pulso de presión.
- 15 En otra realización adicional, un método para procesar señales acústicas de ruido de viento y señales acústicas incluye las características de la reivindicación 6, lo que comprende la recepción en un procesador de datos de pulso de presión procedentes de una pluralidad de micrófonos. El método incluye también el ajuste, mediante el uso del procesador, de los datos de pulso de presión procedentes de cada micrófono a un modelo paramétrico que incluye un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales de ruido de viento y un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales acústicas, y la estimación, mediante el uso del procesador y basándose en el ajuste de los datos de pulso de presión, de una presión y una velocidad de al menos una señal de ruido de viento en los datos de pulso de presión y una presión y velocidad de al menos una señal acústica en los datos de pulso de presión.
- 20 **Breve descripción de los dibujos**
- 25 La Figura 1 es una vista en planta esquemática de una realización de un sistema para la detección de señales de ruido de viento y señales acústicas;
- 30 La Figura 2 es una vista lateral esquemática del sistema mostrado en la Figura 1;
- La Figura 3 es un gráfico de las señales de ruido de viento registradas utilizando el sistema que se muestra en las Figuras 1 y 2;
- 35 La Figura 4 es un gráfico de coherencia de las señales de ruido de viento registradas usando el sistema mostrado en las Figuras 1 y 2;
- La Figura 5 es un diagrama esquemático en el que se ilustra un modelo matemático de ruido de viento bidimensional.
- 40 La Figura 6 es un diagrama esquemático de una realización de una matriz de dos escalas para la detección de señales de ruido de viento y señales acústicas;
- 45 La Figura 7 es un diagrama de bloques de una realización de un dispositivo informático que se puede utilizar para procesar los datos adquiridos por la matriz de dos escalas que se muestra en la Figura 6;
- 50 Las Figuras 8A y 8B son gráficos de presión en cuatro micrófonos en una submatriz;
- La Figura 9 es un gráfico de la relación señal-ruido para micrófonos en la matriz de dos escalas que se muestra en la Figura 6;
- 55 La Figura 10 es un gráfico en el que se compara un pulso sintético real con un pulso sintético estimado utilizando la matriz de dos escalas que se muestra en la Figura 6; y
- 60 La Figura 11 es un gráfico en el que se compara un pulso sintético real con un pulso sintético estimado utilizando un sistema de conformación de haces de banda ancha.
- Se utilizan caracteres de referencia correspondientes para referirse a partes correspondientes en los dibujos.
- 65 **Descripción detallada de los dibujos**

Los sistemas y métodos descritos en el presente se sirven de un modelo matemático para determinar la correlación del ruido de viento sin conocer o estimar directamente la correlación del ruido de viento antes de adquirir datos. El modelo matemático incluye términos que representan las señales de ruido de viento y términos que representan las señales acústicas. Al ajustar los datos adquiridos al modelo matemático, las señales de ruido de viento y las señales acústicas se separan las unas de las otras y se produce una estimación de cualquier señal acústica. En particular, en lugar de tratar de evitar la correlación del ruido de viento mediante el aumento del espacio entre los micrófonos, los sistemas y métodos descritos en el presente mejoran la S/R al reducir la separación entre los micrófonos, de modo que la correlación del ruido de viento en realidad se incrementa. Asimismo, los sistemas y métodos descritos en el presente pueden implementarse en plataformas móviles, como por ejemplo vehículos.

Por lo que respecta ahora a los dibujos y, en particular, a las Figuras 1 y 2, se indica generalmente en (100) una realización de un sistema para detectar ruido de viento y señales acústicas. La Figura 1 es una vista en planta del sistema (100) y la Figura 2 es una vista lateral del sistema (100). En la realización mostrada en las Figuras 1 y 2, el sistema (100) incluye una matriz (102) de cuatro micrófonos (104). Específicamente, la matriz (102) incluye un primer micrófono (106), un segundo micrófono (108), un tercer micrófono (110) y un cuarto micrófono (112).

En la realización mostrada en las Figuras 1 y 2, los micrófonos (104) están dispuestos en la matriz (102) de tal manera que cada micrófono (104) está ubicado en una esquina de una cuadrícula cuadrada que tiene dimensiones de 1,5 centímetros (cm) x 1,5 cm. En particular, los micrófonos (104) están ubicados lo suficientemente cerca entre sí para que el ruido de viento esté relativamente bien correlacionado entre ellos.

Como se muestra en la Figura 2, cada micrófono (104) se coloca casi al ras del suelo, y se coloca un parabrisas (120) encima de los micrófonos (104). Cada micrófono (104) mide los pulsos de presión para detectar las señales acústicas y el ruido de viento. En la realización mostrada en las Figuras 1 y 2, los micrófonos (104) están altamente filtrados a 20 hercios (Hz) con una frecuencia de muestreo de 5988 Hz. Alternativamente, los micrófonos (104) tienen cualquier frecuencia de filtrado y/o muestreo apropiada que permite al sistema (100) funcionar como se describe en el presente. Se utilizan las realizaciones descritas específicamente en el presente para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas que viajan a través del aire. Sin embargo, los sistemas y métodos descritos en el presente pueden utilizarse para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas en cualquier medio fluido. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se utilizan los sistemas y métodos descritos en el presente para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas que viajan a través del agua.

De acuerdo con la aproximación de turbulencia congelada de Taylor, se asume que en escalas de tiempo suficientemente cortas en relación con la frecuencia armónica, la distribución espacial de la turbulencia (y, por consiguiente, su distribución de presiones) permanece constante cuando se transporta a una fase posterior a una velocidad media. Además, la aproximación de turbulencia congelada de Taylor predice que, en longitudes de onda más largas, la turbulencia estará relativamente bien correlacionada tanto a lo largo del flujo como de manera transversal al flujo, mientras que en longitudes de onda más cortas, la turbulencia estará relativamente bien correlacionada solo a lo largo del flujo.

Para modelar matemáticamente el ruido de viento correlacionado, se puede aplicar la aproximación de turbulencia congelada de Taylor a las señales de ruido de viento medidas por el sistema (100). Es decir, de acuerdo con la aproximación de turbulencia congelada de Taylor, si el viento se desplaza a lo largo de la dirección media del viento mostrada en la Figura 1, los mismos pulsos de presión debidos al ruido de viento medido en el primer micrófono (106) se medirán en el tercer micrófono (110) después de un período de retraso igual al tiempo que tarda un impulso específico de viento en desplazarse desde el primer micrófono (106) en dirección a una fase posterior hasta el tercer micrófono (110). Puesto que los micrófonos (104) están ubicados lo suficientemente cerca los unos de los otros, la aproximación de turbulencia congelada de Taylor es relativamente exacta.

La Figura 3 es un gráfico (300) de señales de ruido de viento registradas utilizando el sistema (100) mostrado en las Figuras 1 y 2. El gráfico (300) representa el tiempo en segundos (s) y lo compara con la presión en pascales (Pa). Los canales 1, 2, 3 y 4 corresponden al primer micrófono (106), al segundo micrófono (108), al tercer micrófono (110) y al cuarto micrófono (112), respectivamente. De forma coherente con la aproximación de Taylor, en longitudes de onda más largas, los cuatro micrófonos (104) en la matriz (102) están relativamente bien correlacionados. Además, en longitudes de onda más cortas, las fluctuaciones de longitud de onda están menos correlacionadas perpendicularmente al flujo (es decir, entre el primer micrófono (106) y el segundo micrófono (108), y entre el tercer micrófono (110) y el cuarto micrófono (112), pero siguen estando correlacionadas a lo largo del flujo (es decir, entre el primer micrófono (106) y el tercer micrófono (110), y entre el segundo micrófono (108) y el cuarto micrófono (112)).

La Figura 4 es un gráfico (400) en el que se ilustra la coherencia del ruido de viento registrado durante un período de tiempo de 1,37 segundos utilizando el sistema (100) mostrado en las Figuras 1 y 2. Específicamente, el gráfico (400) representa la frecuencia en Hz en comparación con la coherencia. Como se muestra en la Figura 4, y como se ha explicado anteriormente, en longitudes de onda más largas (es decir, frecuencias más bajas), el ruido de viento medido está bien correlacionado entre pares de micrófonos (104) orientados a lo largo del flujo y entre pares de micrófonos (104) orientados transversalmente al flujo. Además, en longitudes de onda más cortas (es decir,

frecuencias más altas), el ruido de viento medido se correlaciona mejor entre los pares de micrófonos orientados a lo largo del flujo que entre los pares de micrófonos orientados transversalmente al flujo.

5 Para modelar matemáticamente el ruido de viento correlacionado, las realizaciones descritas en el presente utilizan un modelo similar a una onda plana basado en la aproximación de turbulencia congelada de Taylor, en el cual un plano normal a la dirección del flujo medio tiene una distribución de presión variable. El modelo tiene en cuenta no solo las fluctuaciones de presión en el tiempo a lo largo del flujo, sino también las fluctuaciones de presión transversales al flujo.

10 La Figura 5 es un diagrama esquemático 500 que ilustra un modelo matemático bidimensional utilizado en las realizaciones descritas en el presente documento. En el diagrama (500), v_w es un vector que designa la dirección y velocidad medias del viento, $p_{w1}(t)$ es una señal de presión en el radio de una unidad (en -1) desde el origen que se encuentra en una línea perpendicular al flujo, $p_{w2}(t)$ es una señal de presión en el radio de una unidad (en 1) desde el origen que se encuentra en una línea perpendicular al flujo, y a_m es el vector de posición de un micrófono m .

15 La fluctuación de la presión debida al viento en cualquier lugar a lo largo de la línea perpendicular al flujo se puede expresar como en la Ecuación 1:

$$20 \quad p_{wm}(t, \alpha) = \left(\frac{1-\alpha}{2}\right)p_{w1}(t-\xi) + \left(\frac{1+\alpha}{2}\right)p_{w2}(t-\xi) \quad (1)$$

donde $\alpha = u^T R a_m$, $u = \frac{v_w}{\|v_w\|_2}$ es un vector unitario en la dirección del flujo medio, u^T es la transposición del vector u , $R = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$, y $\xi = \frac{v_w^T a_m}{v_w^T v_w}$ es un tiempo de retraso (en relación con el origen) de la llegada del flujo medio al micrófono.

25 Por consiguiente, el modelo permite la variación perpendicular al flujo, así como a lo largo del flujo. Aunque el modelo bidimensional ilustrado en la Figura 5 utiliza un elemento finito lineal de dos nodos, el uso de más elementos finitos puede proporcionar más flexibilidad, pero también puede suponer un riesgo de sobreparametrización del ruido de viento. Además, los sistemas y métodos descritos en el presente pueden implementarse utilizando modelos matemáticos distintos a los de la Ecuación 1 para modelar las fluctuaciones de presión del ruido de viento.

30 Para detectar con exactitud las señales acústicas, se puede combinar la representación matemática del ruido de viento en la Ecuación 1 con una representación matemática de señales acústicas para formar un modelo matemático que se puede utilizar para separar las señales de viento correlacionadas localmente de las señales acústicas medidas. Suponiendo que las señales acústicas medidas son el resultado de la presencia de ondas planas, los pulsos de presión debido a las señales acústicas se pueden expresar como en la Ecuación 2:

$$35 \quad p_{aim}(t) = p_{ai}(t - \tau_{im}) \quad (2)$$

40 donde $p_{aim}(t)$ es la presión debida a la señal acústica i medida en el vector de posición a_m en el micrófono m , $\tau_{im} = \frac{a_m^T v_{ai}}{v_{ai}^T v_{ai}}$ es el retraso de tiempo de la señal acústica i en el micrófono m con respecto al origen, y v_{ai} es un vector que apunta en la dirección de desplazamiento de la onda plana con una longitud igual a la velocidad local del sonido. Se pueden representar las ondas esféricas de manera similar si la aplicación lo justifica.

45 Asumiendo que la presión medida en cada micrófono es debida a una suma de los pulsos de presión de ruido de viento correlacionados (como se expresa en la Ecuación 1), los pulsos de presión acústicos (como se expresan en la Ecuación 2) y el ruido aditivo no correlacionado ε_m , el modelo paramétrico completo para la presión medida \tilde{p}_m en el micrófono m se puede expresar como en la ecuación 3:

$$50 \quad \tilde{p}_m(t) = p_{wm}(t, \alpha) + \sum_{i=1}^N p_{ai}(t - \tau_{im}) + \varepsilon_m(t) \quad (3)$$

donde el número de ondas planas acústicas presentes es igual a N .

55 Por consiguiente, utilizando el modelo paramétrico de la Ecuación 3, se puede usar un dispositivo de procesamiento para separar las señales de ruido de viento correlacionadas de las señales acústicas y, por lo tanto, detectar con exactitud las señales acústicas. Aunque los sistemas y métodos descritos en el presente utilizan el modelo de ruido

de viento ilustrado en la Figura 5 [de] una realización, se apreciará que los sistemas y métodos descritos en el presente pueden implementarse utilizando otros modelos matemáticos de ruido de viento.

La Figura 6 es un diagrama esquemático de una realización de una matriz (600) para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas. La matriz (600) incluye cuatro submatrices (602). Cada submatriz (602) incluye cuatro micrófonos (104) en la configuración que se muestra en la Figura 1. Por consiguiente, la matriz (600) incluye dieciséis micrófonos (104), cada uno de los cuales detecta y mide pulsos de presión en uno de los dieciséis canales respectivos.

En la realización mostrada en la Figura 6, las submatrices (602) están espaciadas a intervalos regulares a lo largo de la circunferencia de un círculo (604). Alternativamente, las submatrices (602) pueden estar en cualquier configuración que permite que la matriz (600) funcione como se describe en el presente. En la realización mostrada en la Figura 6, el círculo (604) tiene un radio de 2 metros (m). Alternativamente, el círculo (604) puede tener cualquier radio que permita que la matriz (600) funcione como se describe en el presente.

En particular, en la matriz (600), los micrófonos (104) en cada submatriz (602) están ubicados lo suficientemente cerca los unos de los otros como para que las señales de ruido de viento estén bien correlacionadas entre los micrófonos (104). Sin embargo, para las señales acústicas que tienen una longitud de onda en el rango audible y/o infrasónico, la escala de cada submatriz (602) es en general demasiado pequeña para detectar con precisión dichas señales acústicas. Por consiguiente, las submatrices (602) están ubicadas lo suficientemente alejadas las unas de las otras como para detectar adecuadamente las señales acústicas. Por consiguiente, como se muestra en la Figura 6, la matriz (600) es una matriz de dos escalas, en la que la separación entre los micrófonos (104) en cada submatriz (602) es adecuada para medir señales de ruido de viento correlacionadas, y la separación entre submatrices (602) es adecuada para medir las señales acústicas.

La Figura 7 es un diagrama de bloques de una realización de un dispositivo informático (700) que se puede utilizar para procesar los datos adquiridos por los micrófonos (104) en la matriz (600) (ambos mostrados en la Figura 6). El dispositivo informático (700) incluye al menos un dispositivo de memoria (710) y un procesador (715) que está acoplado al dispositivo de memoria (710) para ejecutar instrucciones. En algunas realizaciones, las instrucciones ejecutables se almacenan en el dispositivo de memoria (710). El dispositivo informático (700) realiza una o más operaciones descritas en el presente mediante la programación del procesador (715). Por ejemplo, el procesador (715) puede programarse codificando una operación como una o varias instrucciones ejecutables y proporcionando las instrucciones ejecutables en el dispositivo de memoria (710).

El procesador (715) puede incluir una o varias unidades de procesamiento (por ejemplo, en una configuración multinúcleo). Además, el procesador (715) puede implementarse utilizando uno o varios sistemas procesadores heterogéneos en los que está presente un procesador principal con procesadores secundarios en un solo chip. Como otro ejemplo ilustrativo, el procesador (715) puede ser un sistema de multiprocesador simétrico que contiene múltiples procesadores del mismo tipo. Además, el procesador (715) puede implementarse utilizando cualquier circuito programable adecuado que incluye uno o varios sistemas y microcontroladores, microprocesadores, circuitos con conjunto de instrucciones reducidas (RISC por sus siglas en inglés, *Reduced Instruction Set Computer*), circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC por sus siglas en inglés, *Application-Specific Integrated Circuits*), circuitos lógicos programables, matrices de puertas programables (FPGA por sus siglas en inglés, *Field-Programmable Gate Arrays*) y cualquier otro circuito capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente.

El dispositivo de memoria (710) consiste en uno o varios dispositivos que permiten almacenar y recuperar información, como por ejemplo instrucciones ejecutables y/u otros datos. El dispositivo de memoria (710) puede incluir uno o varios medios legibles por ordenador, como por ejemplo –sin estar limitados a los mismos– una memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM), una memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), un disco de estado sólido y/o un disco duro. El dispositivo de memoria (710) puede configurarse para almacenar –sin estar limitados a los mismos– el código fuente de la aplicación, el código objeto de la aplicación, las partes de interés del código fuente, las partes de interés del código objeto, los datos de configuración, los eventos de ejecución y/o cualquier otro tipo de datos. Por ejemplo, en una realización, el dispositivo de memoria (210) almacena datos que incluyen los pulsos de presión medidos por los micrófonos (104) en la matriz (600).

El dispositivo informático (700) incluye una interfaz de presentación (720) que está acoplada al procesador (715). La interfaz de presentación (720) presenta información a un usuario (725). Por ejemplo, la interfaz de presentación (720) puede incluir un adaptador de pantalla (no mostrado) que se puede acoplar a un dispositivo de pantalla, como por ejemplo un tubo de rayos catódicos (CRT por sus siglas en inglés, *Cathode Ray Tube*), una pantalla de cristal líquido (LCD por sus siglas en inglés, *Liquid Crystal Display*), una pantalla de LED orgánico (OLED) y/o una pantalla de “tinta electrónica”. En algunas realizaciones, la interfaz de presentación (720) incluye uno o varios dispositivos de visualización.

En la realización mostrada en la Figura 7, el dispositivo informático (700) incluye una interfaz de entrada de usuario (735). En el ejemplo de realización, la interfaz de entrada de usuario (735) está acoplada al procesador (715) y recibe entradas del usuario (725). La interfaz de entrada de usuario (735) puede incluir, por ejemplo, un teclado, un

dispositivo señalador, un ratón, un lápiz óptico, un panel sensible al tacto (por ejemplo, un panel táctil o una pantalla táctil), un giroscopio, un acelerómetro, un detector de posición y/o una interfaz de entrada de usuario de audio. Un solo componente, como por ejemplo una pantalla táctil, puede servir de dispositivo de visualización de la interfaz de presentación (720) y de interfaz de entrada de usuario (735).

El dispositivo informático (700) incluye una interfaz de comunicación (740) acoplada al procesador (715) en el ejemplo de realización. La interfaz de comunicación (740) se comunica con uno o varios dispositivos remotos, como por ejemplo los micrófonos (104) en la matriz de dos escalas (600). Para comunicarse con dispositivos remotos, la interfaz de comunicación (740) puede incluir, por ejemplo, un adaptador de red cableado, un adaptador de red inalámbrica y/o un adaptador de telecomunicaciones móviles.

En una realización, los datos de pulso de presión se reciben desde los micrófonos (104) en la matriz (600) mediante la interfaz de comunicación (740) y se almacenan en el dispositivo de memoria (710). El procesador (715) procesa los datos del pulso de presión como se describe en el presente.

Usando el dispositivo informático (700), la Ecuación 3 se ajusta a los datos adquiridos de cada uno de los dieciséis micrófonos (104). En una realización, el procesador (715) ajusta los dieciséis conjuntos de datos de presión (uno procedente de cada micrófono (104)) a dieciséis instancias de la Ecuación 3 (una para cada micrófono (104)) a la vez para calcular los diversos parámetros de la Ecuación 3. Alternativamente, el procesador (715) puede ajustar los datos para cada submatriz (602) por separado y posteriormente combinar (por ejemplo, estableciendo la media) los resultados para cada submatriz (602) para determinar los valores estimativos para los distintos parámetros.

En particular, si se asume que las señales de ruido aditivo no correlativo ϵ_m en la Ecuación 3 se distribuyen normalmente en la matriz (600), así como ruido blanco y no correlacionado, la minimización del error por mínimos cuadrados sobre los parámetros del modelo aportado por la Ecuación 3 es equivalente a la estimación de máxima verosimilitud.

En la Ecuación 3, los parámetros que se determinarán al ajustar los datos son los vectores de velocidad para el ruido de viento y cada señal acústica $\{v_w; v_{ai}, i = 1, \dots, N\}$ y las señales de presión para el ruido de viento y cada señal acústica $\{p_{w1}, p_{w2}; p_{ai}, i = 1, \dots, N\}$. Al suministrar la señal medida desde cada micrófono (104) al dispositivo informático (700), el procesador (715) puede ajustar la Ecuación 3 a los datos para calcular los vectores de velocidad y las señales de presión para el ruido de viento y cada señal acústica.

En al menos algunas realizaciones, al utilizar el procesador (715), los datos de presión medidos por los micrófonos (104) en la matriz (600) se introducen en ventanas, rellenan con ceros y se transforman mediante una transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés, *Fast Fourier Transform*) en el dominio de la frecuencia antes de ajustar los datos. En consecuencia, para ajustar los datos en el dominio de frecuencia, la Ecuación 3 se convierte en la Ecuación 4 en el dominio de frecuencia:

$$\tilde{P}_m(f) = P_{wm}(f) + \sum_{i=1}^N P_{ai}(f) \exp(j2\pi f \tau_{im}) + E_m(f) \quad (4)$$

En general, el número y la magnitud de las fuentes acústicas transitorias presentes y la magnitud del ruido de viento presente no se conocen antes de adquirir datos con la matriz (600). Por lo tanto, se puede realizar la estimación de los parámetros (es decir, los vectores de velocidad y las señales de presión) llevando a cabo varios métodos estadísticos y después seleccionando el método que tiene la mejor medida de comparación de modelo, como por ejemplo el criterio de información de Akaike. Por ejemplo, los métodos de proyección variable pueden mejorar la tasa de convergencia para determinar los valores óptimos estimados de los parámetros.

Además, en al menos algunas realizaciones, los valores de las señales de presión estimadas no necesitan ser retenidos durante el proceso de estimación, reduciendo el número de incógnitas en el modelo. El resultado final del proceso de estimación realizado por el procesador (715) es una determinación del vector de viento medio y la dirección de los vectores de trayectoria (incluida la velocidad) de todas las señales acústicas. El procesador (715) también determina las estimaciones de las señales acústicas presentes en toda la matriz y las señales de presión (como se proporcionan en la Ecuación 1) asociadas con el ruido de viento medio local en cada una de las submatrices (602).

Con el fin de poner a prueba la capacidad de la matriz (600) para detectar con precisión las señales de ruido de viento y las señales acústicas, se recopilaron datos utilizando una submatriz (602) de micrófonos (104). Para simular la matriz de dos escalas (600), se extrajeron diferentes segmentos de tiempo breves del ruido de viento registrado de una grabación de un minuto y la matriz global (600) se configuró para que apareciera como se muestra en la Figura 6, con la señal de ruido de viento sintética procedente de la dirección indicada en la Figura 6. Se añadió un pulso sintético de un ciclo acústico de una onda sinusoidal de 40 Hz a la totalidad de los dieciséis canales y se retrasó adecuadamente para que apareciera como una onda plana acústica que viajaba en la dirección indicada en la Figura 6.

La Figura 8A es un gráfico (800) en el que se ilustra la presión en cuatro micrófonos (104) en una submatriz (602) sin la señal acústica sintética (es decir, el pulso de 40 Hz), y la Figura 8B es un gráfico (802) en el que se ilustra la presión en cuatro micrófonos (104) en una submatriz (602) con la señal acústica sintética. Ambos gráficos (800 y 802) representan la presión en comparación con el tiempo. Como se demuestra al comparar la Figura 8A con la Figura 8B, a partir de los datos en bruto adquiridos por los micrófonos (104), la presencia de la señal acústica de 40 Hz no es obvia.

La Figura 9 es un gráfico (900) de la S/R para cada uno de los dieciséis micrófonos (104). Específicamente, el gráfico (900) representa la S/R en decibelios (dB) en comparación con el índice del micrófono. Para el experimento, el procesador (715) fue programado para buscar señales acústicas en el rango de 20 Hz a 200 Hz, pero no se hicieron suposiciones con respecto al número, la duración o las formas de las señales acústicas que se iban a detectar. Además, la velocidad media del viento se limitó a menos de 10 metros por segundo (m/s) y la velocidad local del sonido se limitó a entre 330 m/s y 350 m/s. Usando esta configuración, los micrófonos (104) adquirieron los datos del pulso de presión, los transmitieron al dispositivo informático (700) y los procesaron utilizando el procesador (715), como se ha descrito anteriormente. En consecuencia, el procesador (715) ajustó los datos de pulso de presión recibidos a la Ecuación 4 para determinar las estimaciones de los vectores de velocidad y las señales de presión para el ruido de viento y las señales acústicas.

La Figura 10 es un gráfico (1000) en el que se compara el pulso acústico sintético real y el pulso acústico estimado utilizando la matriz (600) y el dispositivo informático (700). El gráfico (1000) representa la presión en Pa en comparación con el tiempo. Como demuestra el gráfico (1000), la estimación determinada por el procesador (715) es relativamente cercana a la señal acústica sintética real. En particular, un pico de correlación cruzada de los residuos filtrados (20 Hz a 200 Hz) fue inferior a 0,2 para todos los pares, y el máximo de autocorrelaciones normalizadas (excepto el retardo en 0) fue 0,1. Esto indica que la mayor parte de la energía correlacionada (es decir, el ruido del viento) fue eliminada de los datos medidos y que la parte del ruido de viento no eliminada es casi ruido blanco.

Con fines comparativos, se usó un sistema conocido de conformador de haces de banda ancha (no mostrado) para adquirir los mismos datos acústicos en condiciones similares. Específicamente, se configuró el sistema de conformador de haces de banda ancha para adquirir datos en el mismo rango de frecuencias utilizando una matriz cuadrada. Además, las S/R eran aproximadamente las mismas que en la matriz (600), y los micrófonos en el sistema de conformador de haces de banda ancha se colocaron lo suficientemente separados como para asegurar que el ruido de viento no estuviera correlacionado entre los canales respectivos. Se procesaron los datos adquiridos por el sistema de conformador de haces de banda ancha utilizando métodos conocidos para producir una señal acústica estimada.

La Figura 11 es un gráfico (1100) en el que se compara el pulso acústico sintético real con el pulso acústico estimado producido por un sistema conocido de conformador de haces de banda ancha. El gráfico (1100) representa la presión en Pa en comparación con el tiempo. Al comparar las Figuras 10 y 11, es evidente que la señal acústica estimada producida de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente es más precisa que la señal acústica estimada producida por el sistema conocido de conformador de haces de banda ancha. Por consiguiente, los métodos y sistemas descritos en el presente son capaces de estimar con mayor precisión las señales acústicas en presencia de ruido de viento.

Se puede proporcionar un kit de ensamblaje para ensamblar un sistema de detección de señales de ruido de viento y señales acústicas. El kit de ensamblaje incluye una pluralidad de micrófonos, como por ejemplo los micrófonos (104) (mostrados en las Figuras 1 y 6) y un dispositivo de procesamiento, como por ejemplo el procesador (715) y/o el dispositivo informático (700) (ambos mostrados en la Figura 7). El kit de ensamblaje también incluye una guía con instrucciones sobre cómo ensamblar el sistema. Por ejemplo, la guía puede incluir instrucciones para colocar los micrófonos en una matriz, por ejemplo la matriz de dos escalas (600) (mostrada en la Figura 6). La guía puede ser un manual y/o un folleto impresos, una guía de audio y/o visual, una guía electrónica accesible mediante el uso de un dispositivo informático y/o cualquier otro elemento adecuado para proporcionar instrucciones a un usuario. Por consiguiente, utilizando los componentes provistos en el kit de montaje, el usuario puede ensamblar un sistema para detectar señales de ruido de viento y señales acústicas.

Las realizaciones descritas en el presente utilizan un modelo matemático para determinar la correlación de ruido de viento sin conocer o estimar directamente la correlación de ruido de viento antes de adquirir datos. El modelo matemático incluye términos que representan señales de ruido de viento y términos que representan señales acústicas. Al ajustar los datos adquiridos al modelo matemático, las señales de ruido de viento y las señales acústicas se separan entre sí y se produce una estimación de las señales acústicas. En particular, en lugar de tratar de evitar la correlación de ruido de viento mediante el incremento del espacio entre los micrófonos, los sistemas y métodos descritos en el presente mejoran la S/R al reducir la separación entre los micrófonos, de modo que la correlación de ruido de viento aumenta. Además, los sistemas y métodos descritos en el presente pueden implementarse en plataformas móviles, como por ejemplo vehículos.

Un efecto técnico de los sistemas y métodos descritos en el presente incluye al menos uno de los siguientes elementos:
5 (a) la recepción de datos de pulso de presión procedentes de una pluralidad de micrófonos; (b) el ajuste de los datos de pulso de presión de cada micrófono a un modelo paramétrico que incluye un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales de ruido de viento y un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales acústicas; y (c) la estimación, basándose en el ajuste de los datos del pulso de presión, una presión y una velocidad de al menos una señal de ruido de viento en los datos de pulso de presión y una presión y una velocidad de al menos una señal acústica en los datos de pulso de presión.

10 Cuando se introducen elementos de la presente invención o realizaciones preferidas de la misma, los artículos “un”, “una”, “el”, “la”, “dicho/a” y “mencionado/a” dan a entender que existen uno o varios de los elementos. Las expresiones “que comprende”, “que incluye” y “que tiene” tienen como objetivo ser inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales distintos a los elementos enumerados.

15 Puesto que es posible realizar diversos cambios en las construcciones y métodos anteriores sin abandonar el alcance de la invención, todos los elementos contenidos en la descripción anterior y mostrados en los dibujos adjuntos se interpretarán en un sentido ilustrativo y no limitador.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo informático (700) para procesar señales de ruido de viento y señales acústicas, comprendiendo este dispositivo informático:
una interfaz de comunicación (740) configurada para recibir datos de pulso de presión de una pluralidad de micrófonos (104);
un dispositivo de memoria (710) configurado para almacenar los datos recibidos de pulso de presión; y
un procesador (715) que se caracteriza porque el procesador (715) está configurado para:
10 ajustar los datos de pulso de presión procedentes de cada micrófono (104) a un modelo paramétrico que incluye un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales de ruido de viento y un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales acústicas mediante el ajuste de un conjunto de datos de pulso de presión de cada micrófono (104) de la pluralidad de micrófonos a una instancia respectiva del modelo paramétrico; y
15 estimar, basándose en el ajuste de los datos de pulso de presión, una presión y una velocidad de al menos una señal de ruido de viento en los datos de pulso de presión y una presión y una velocidad de al menos una señal acústica en los datos de pulso de presión mediante la realización de varios métodos estadísticos y la selección de un método estadístico que tiene como resultado una medición de comparación de modelo óptima.
- 20 2. Un dispositivo informático (700), de conformidad con la reivindicación 1, en el que el procesador (715) también está configurado para transformar los datos de pulso de presión desde el dominio de tiempo al dominio de frecuencia antes de ajustar los datos de pulso de presión.
- 25 3. Un dispositivo informático (700), de conformidad con la reivindicación 1, en el que el procesador (715) está configurado para ajustar los datos de pulso de presión procedentes de cada micrófono (104) a un modelo paramétrico que tiene en cuenta las fluctuaciones de presión en el ruido de viento a lo largo de una dirección del flujo de viento y transversalmente a la dirección del flujo de viento.
- 30 4. Un dispositivo informático (700), de conformidad con la reivindicación 1, en el que la interfaz de comunicación (740) está configurada para recibir datos de pulso de presión desde la pluralidad de micrófonos (104) en una matriz que incluye una pluralidad de submatrices (602) de micrófonos (104), en la que las submatrices (602) están separadas entre sí, de modo que las submatrices (602) están configuradas para detectar señales acústicas, y en el que los micrófonos (104) en cada submatriz (602) están ubicados lo suficientemente cerca los unos de los otros como para que las señales de ruido de viento estén correlacionadas entre los micrófonos (104) en cada submatriz (602).
- 35 5. Un dispositivo informático (700), de conformidad con la reivindicación 1, en el que la interfaz de comunicación (740) está configurada para recibir datos de pulso de presión procedentes de cuatro submatrices (602), cada una de las cuales incluye cuatro micrófonos (104).
- 40 6. Un método para procesar señales de ruido de viento y señales acústicas, comprendiendo este método:
la recepción, en un procesador, de datos de pulso de presión procedentes de una pluralidad de micrófonos, que se caracteriza por;
el ajuste, usando el procesador, de los datos de pulso de presión de cada micrófono a un modelo paramétrico
45 que incluye un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales de ruido de viento y un término que representa los pulsos de presión debidos a las señales acústicas mediante el ajuste de un conjunto de datos de pulso de presión de cada micrófono de la pluralidad de micrófonos a una instancia respectiva del modelo paramétrico; y
la estimación, usando el procesador y basándose en el ajuste de los datos del pulso de presión, de una presión y una velocidad de al menos una señal de ruido de viento en los datos de pulso de presión y una presión y una velocidad de al menos una señal acústica en los datos de pulso de presión mediante la realización de varios métodos estadísticos y la selección de un método estadístico que tiene como resultado una medición de comparación de modelo óptima.
- 50 7. Un método, de conformidad con la reivindicación 6, que además comprende la transformación de los datos de pulso de presión desde el dominio de tiempo al dominio de frecuencia antes del ajuste de los datos de pulso de presión al modelo paramétrico.
- 55 8. Un método, de conformidad con la reivindicación 6, en el que el ajuste de los datos de pulso de presión comprende el ajuste de los datos de pulso de presión a un modelo paramétrico que tiene en cuenta las fluctuaciones de presión en el ruido de viento a lo largo de una dirección del flujo de viento y transversalmente a la dirección del flujo de viento.
- 60 9. Un método, de conformidad con la reivindicación 6, en el que la recepción de los datos de pulso de presión comprende la recepción de los datos de pulso de presión de una pluralidad de micrófonos en una matriz que
- 65

incluye una pluralidad de submatrices de micrófonos, en el que las submatrices están separadas entre sí, de modo que las submatrices están configuradas para detectar señales acústicas, y en el que los micrófonos en cada submatriz están ubicados lo suficientemente cerca los unos de los otros como para que las señales de ruido de viento estén correlacionadas entre los micrófonos en cada submatriz.

- 5
10. Un método, de conformidad con la reivindicación 6, en el que la recepción de datos de pulso de presión comprende la recepción de datos de pulso de presión de cuatro submatrices, cada una de las cuales incluye cuatro micrófonos.

FIG. 1

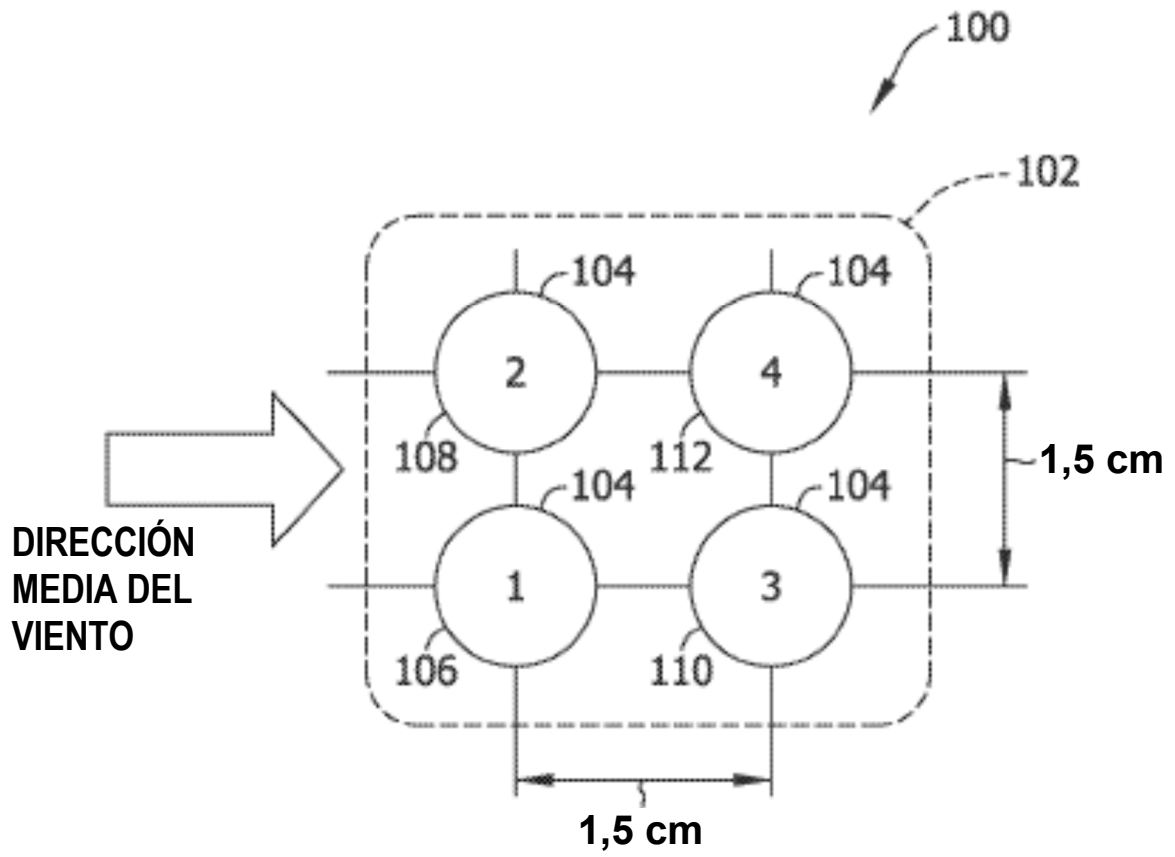
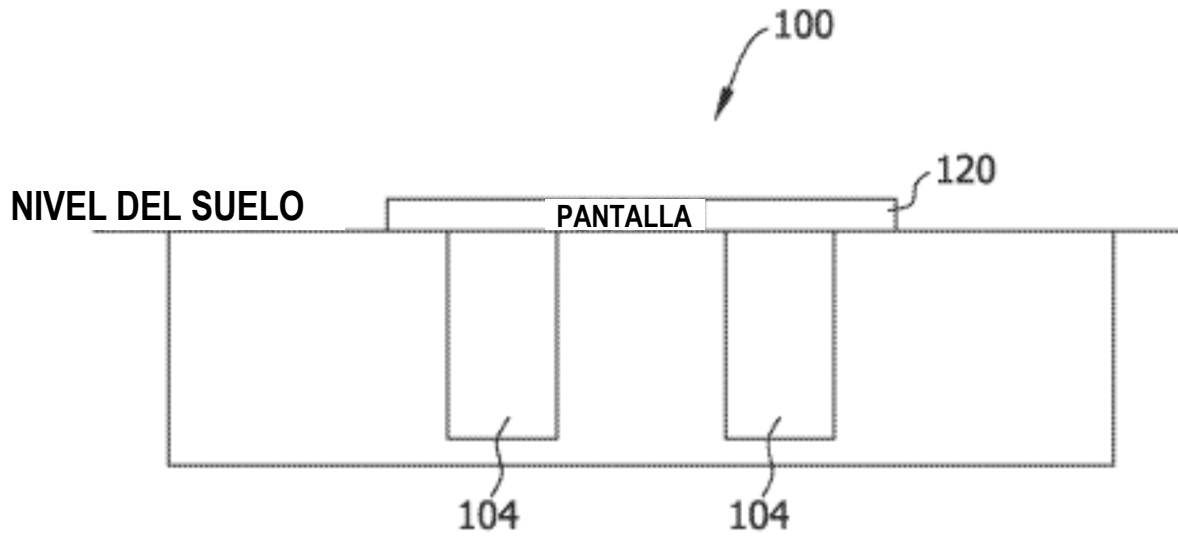


FIG. 2



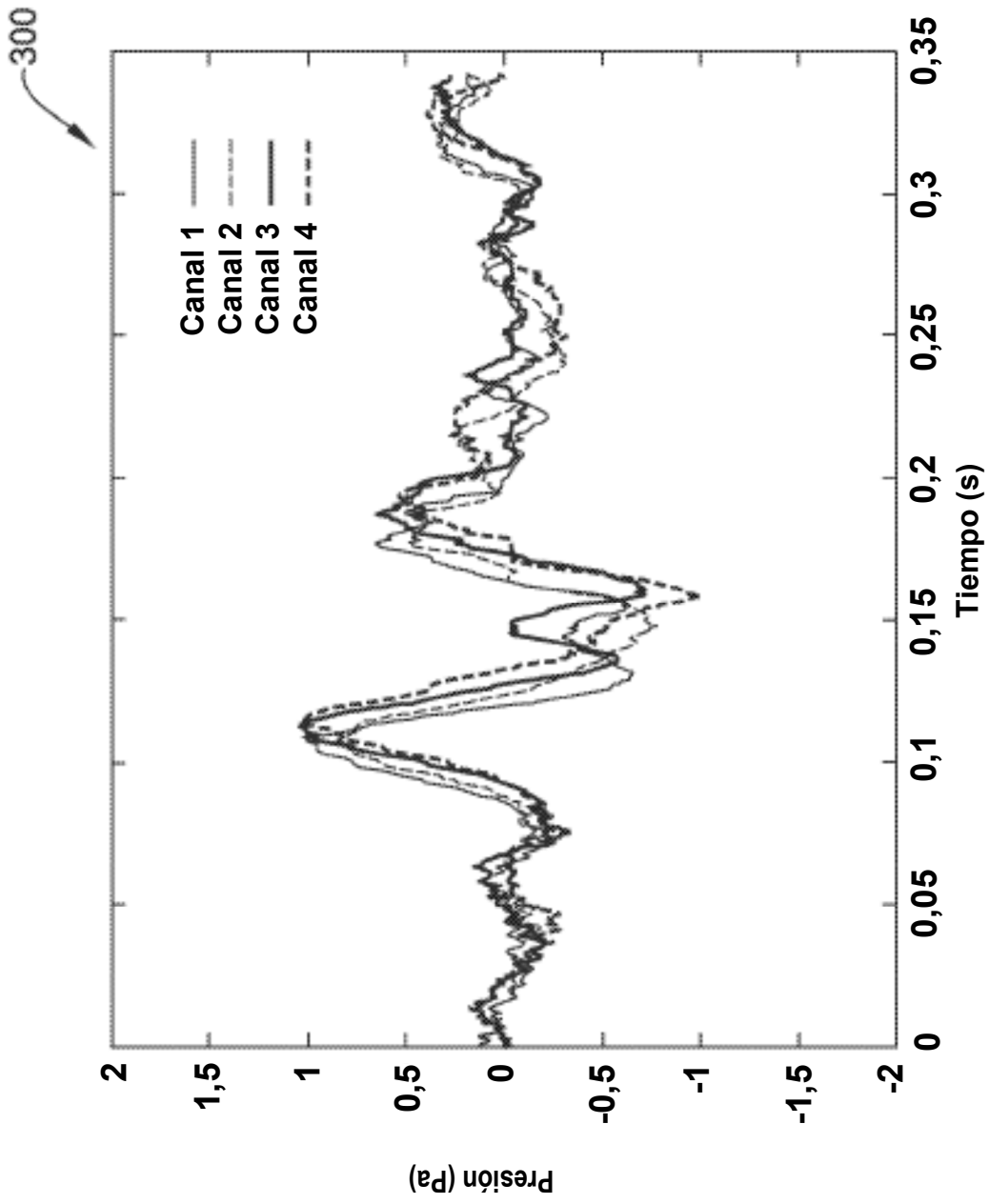


FIG. 3

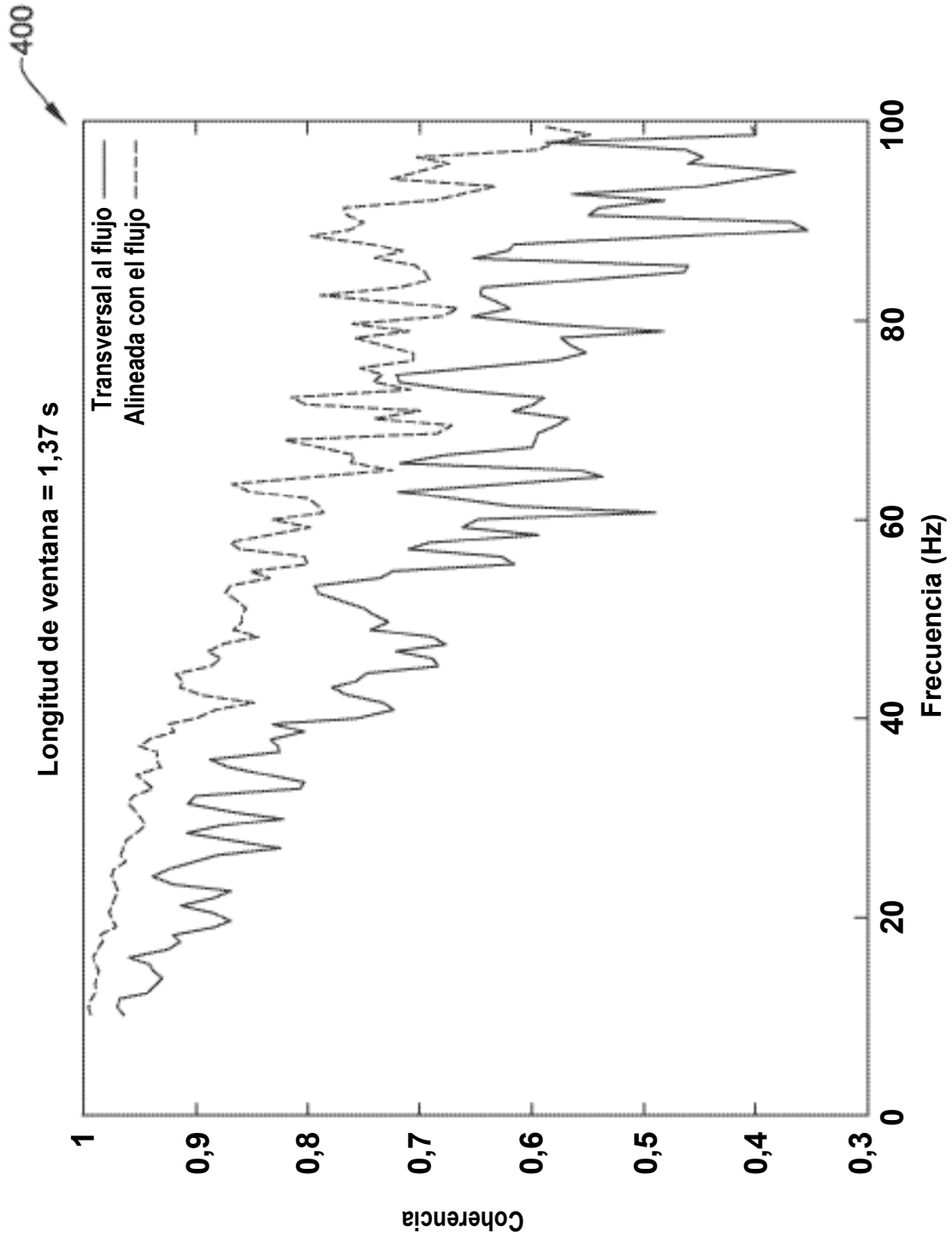
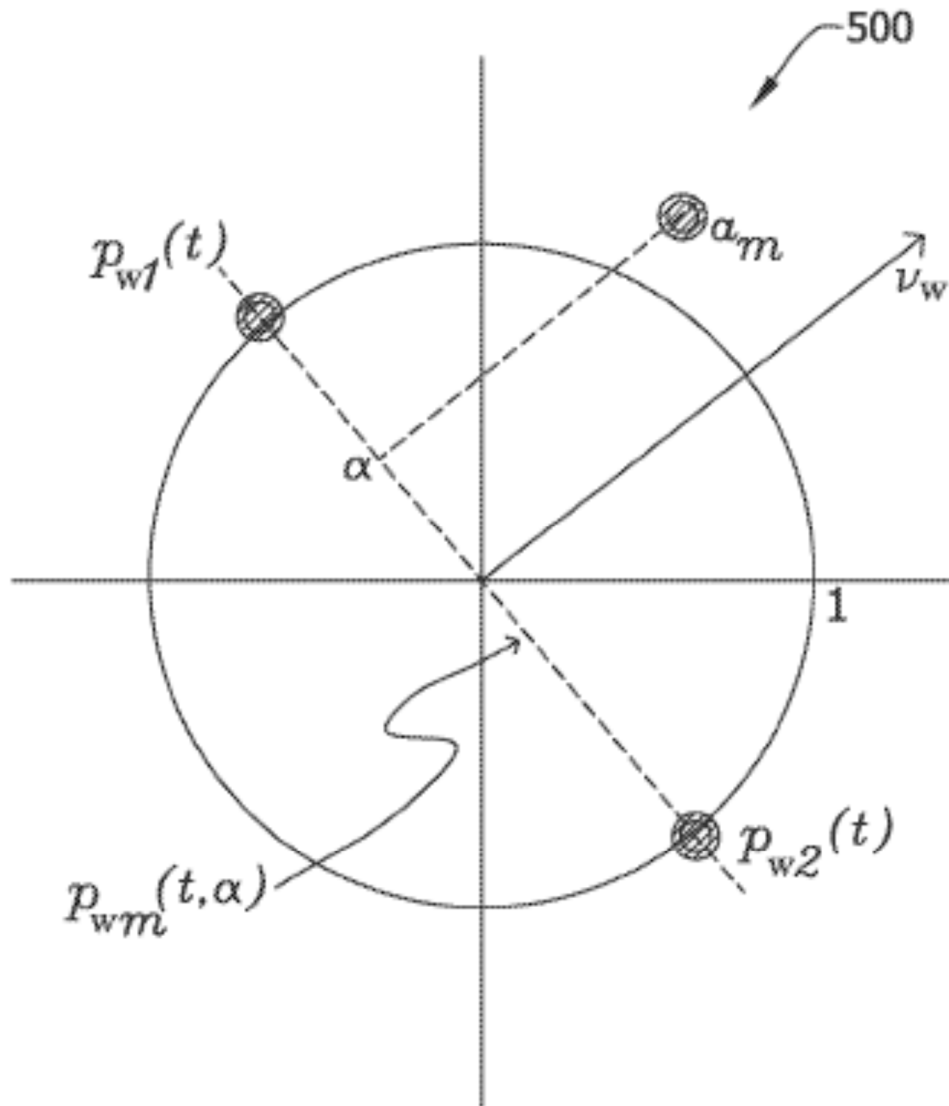


FIG. 4

FIG. 5



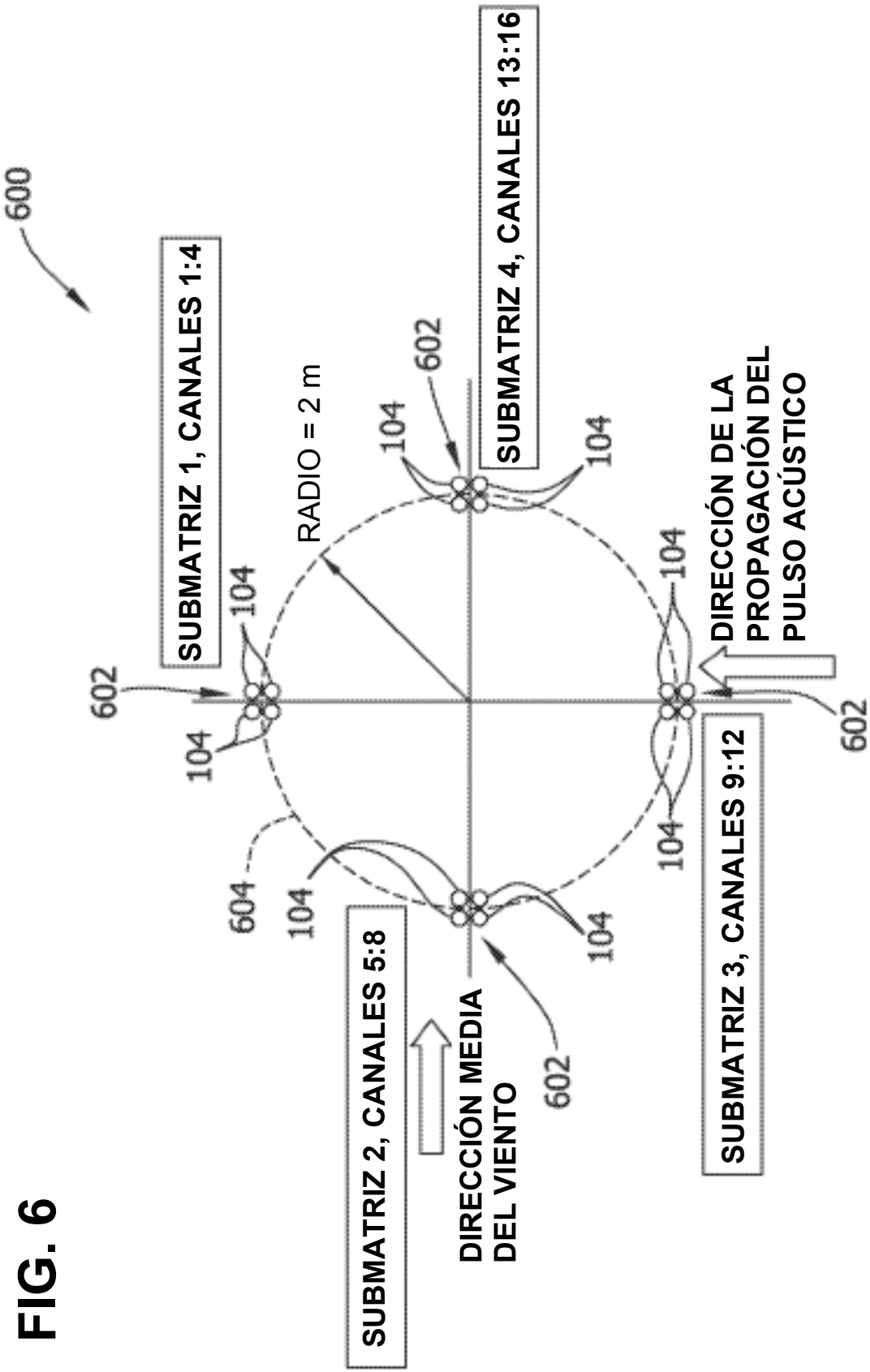
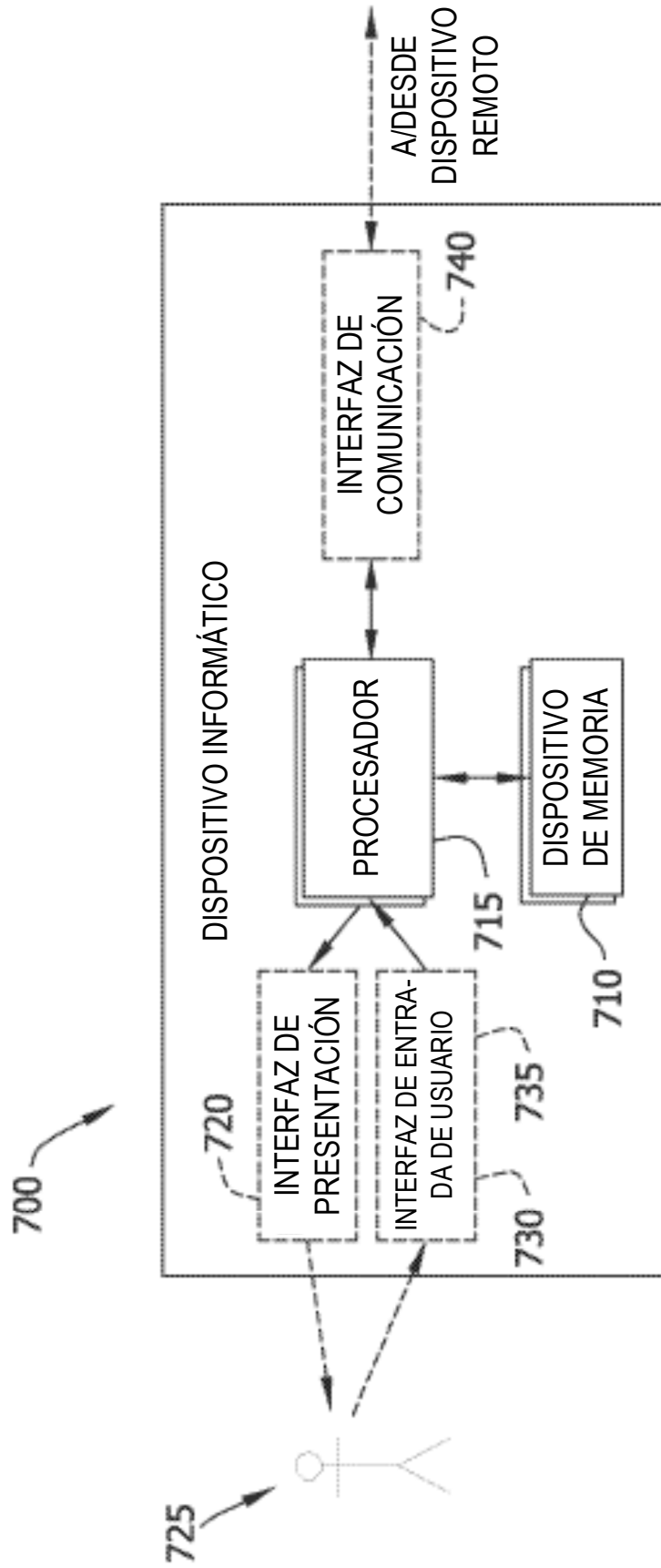


FIG. 6

FIG. 7



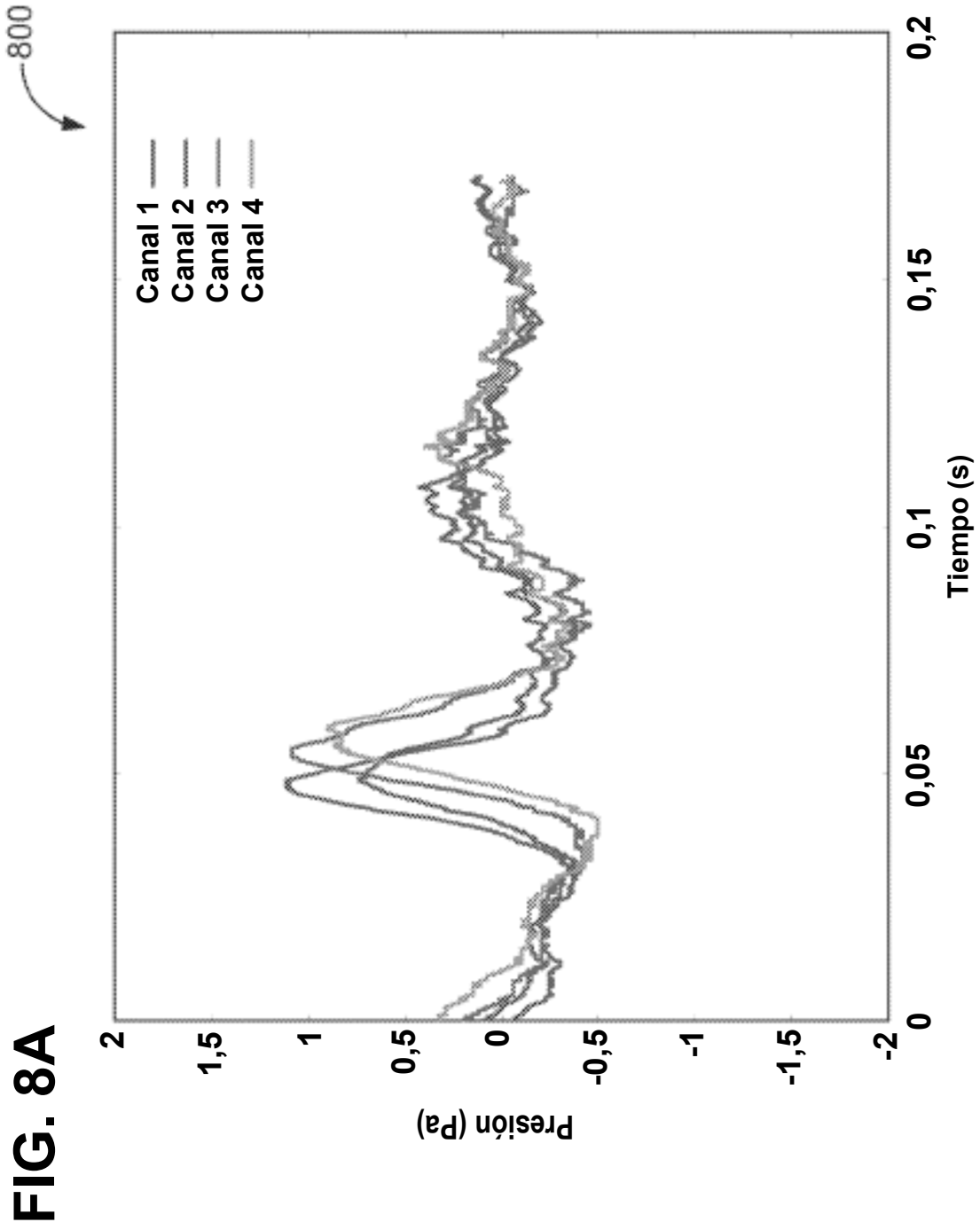


FIG. 8B

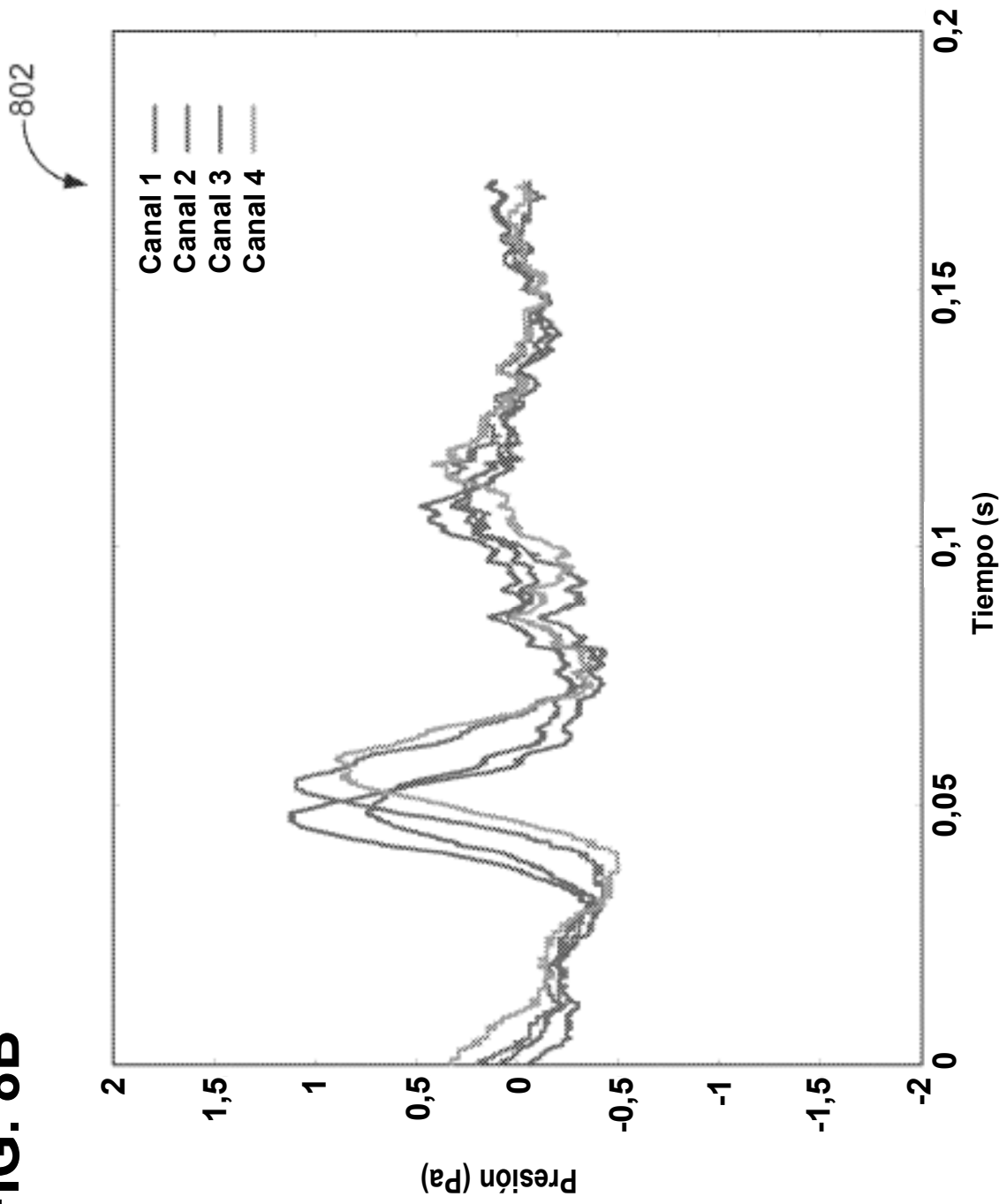
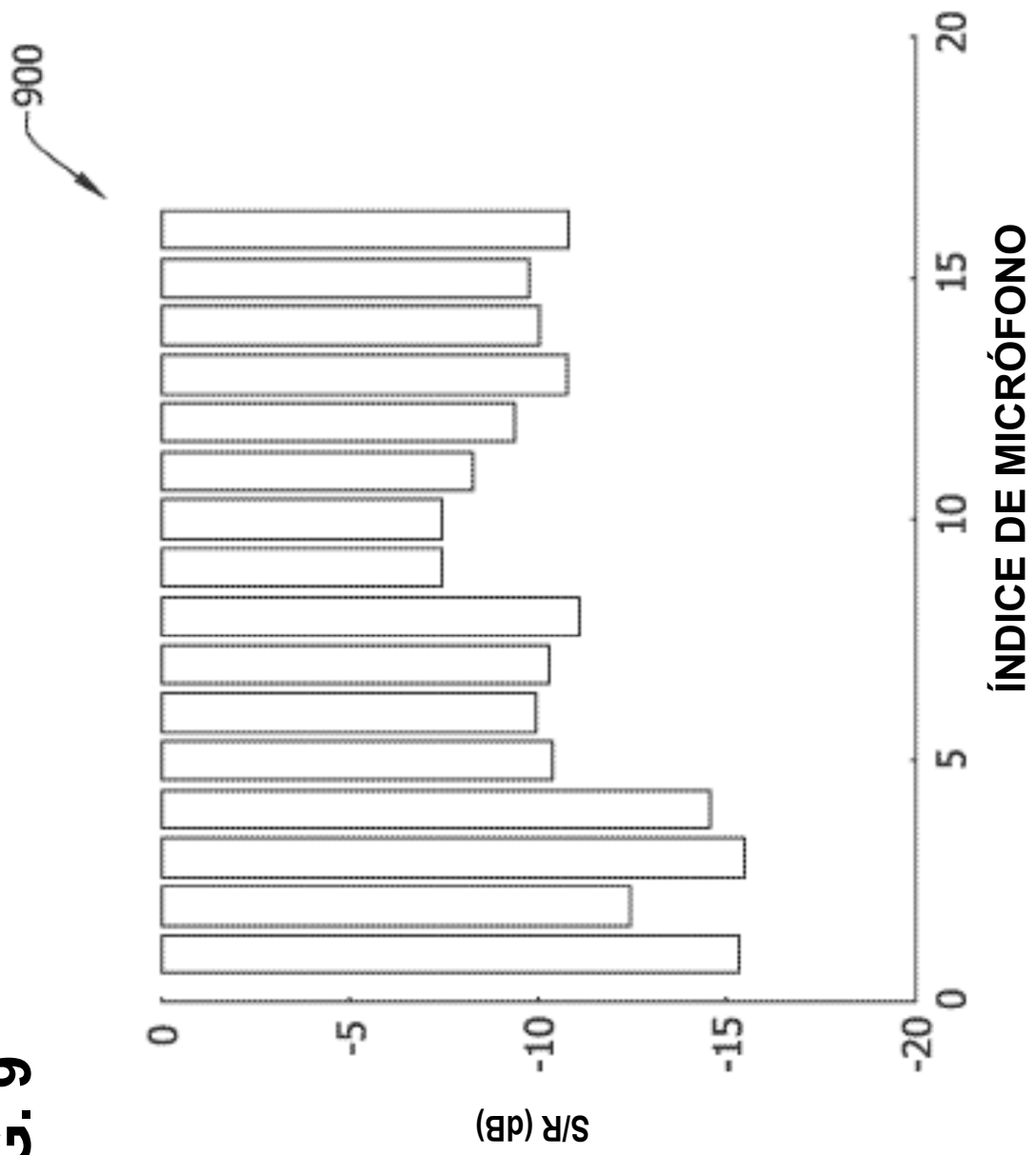


FIG. 9



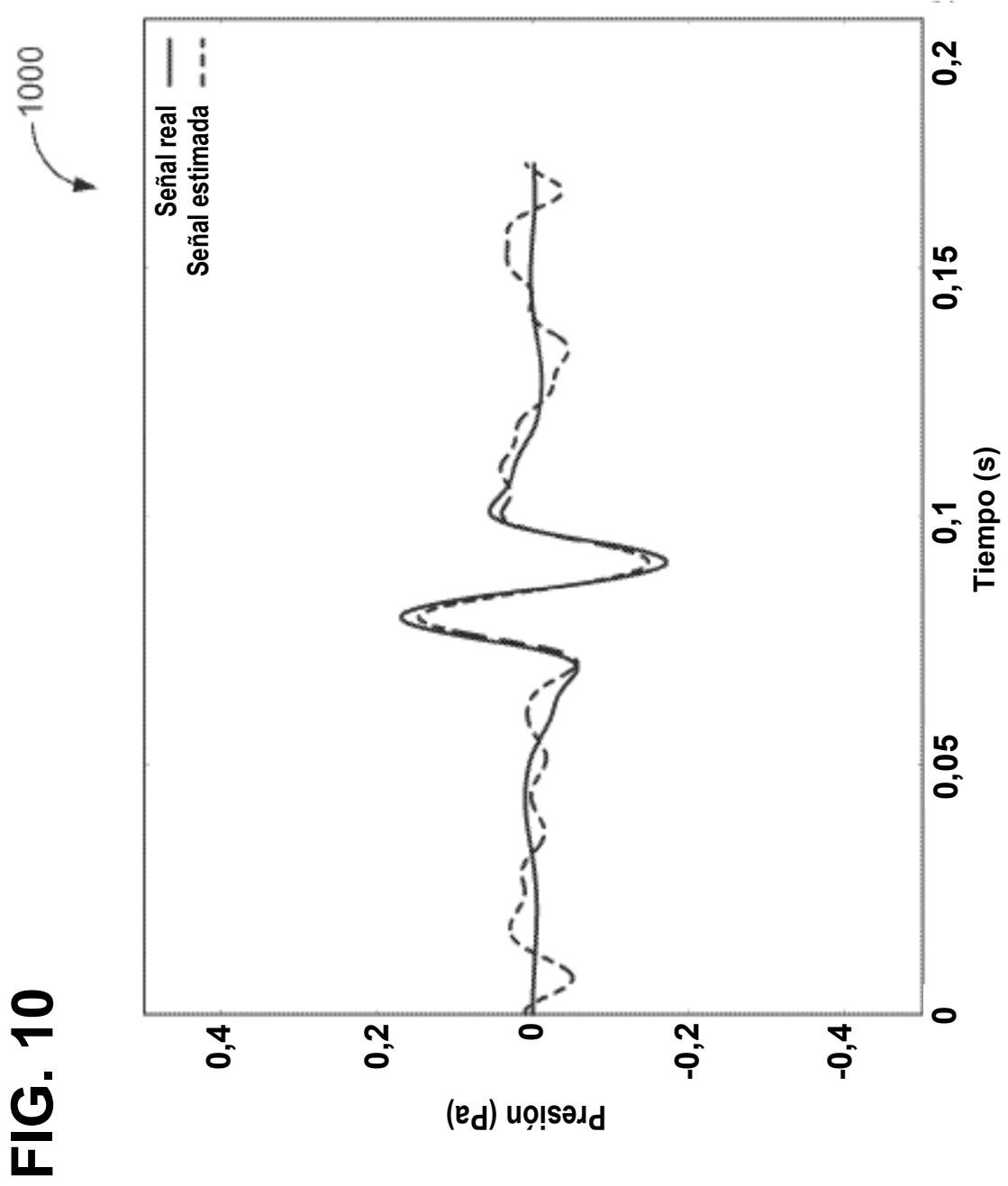


FIG. 11

