

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 931**

51 Int. Cl.:

G01P 5/26 (2006.01)

G01S 17/58 (2006.01)

G01S 17/87 (2006.01)

G01S 17/95 (2006.01)

G01S 7/491 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.04.2013 PCT/FR2013/050824**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2013 WO13156723**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2013 E 13742666 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 2839297**

54 Título: **Dispositivo de determinación de la velocidad del viento que incluye una pluralidad de fuentes láser**

30 Prioridad:

16.04.2012 FR 1253491

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

11.05.2017

73 Titular/es:

**EPSILINE (50.0%)
118 route d'Espagne
31100 Toulouse, FR y
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
TOULOUSE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ZAMAMA, OTMANE;
TEYSSEYRE, RAPHAËL y
PERCHOUX, JULIEN**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 611 931 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

Dispositivo de determinación de la velocidad del viento que incluye una pluralidad de fuentes láser

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un dispositivo de determinación de la velocidad del viento que incluye una pluralidad de fuentes láser.

10 Estado de la técnica

Se conoce, por una parte, la realización de una medición de velocidad de viento con una fuente láser realizando una interferencia entre un haz procedente de dicha fuente y otro haz reflejado por una partícula llevada por el viento y, por otra parte, el uso de varias fuentes para determinar la velocidad del viento según varios componentes.

15 De este modo, se conoce por ejemplo por el documento WO-2009/046717 un anemómetro que usa un sistema LIDAR (acrónimo inglés para Light Intensity Detection And Ranging es decir en español, detección y telemetría por la luz). Este dispositivo es capaz de emitir un haz láser, focalizado por un sistema óptico, hacia un volumen de medición en el que unas partículas presentes en el aire se desplazan a una velocidad correspondiente a la velocidad del viento. Estas partículas reflejan en parte el haz emitido enviando entonces un haz llamado haz reflejado en dirección del sistema óptico. Al hacer interferir entonces el haz emitido con el haz reflejado es posible, por aplicación de la teoría Doppler, calcular la velocidad de las partículas, y por tanto del viento.

25 El documento WO-2011/042678 divulga por su parte un dispositivo de medición de la velocidad del viento en el que la medición se realiza por "self-mixing", es decir que se usa en este documento un haz incidente único. El haz reflejado se reinyecta en la cavidad óptica del láser que ha emitido el haz incidente. Se realiza de este modo la mezcla de interferencia en el mismo interior de la cavidad del láser. Las interferencias se detectan entonces por un fotodiodo dispuesto en la parte posterior de la fuente láser.

30 El documento también propone usar dos fuentes láser para medir la velocidad en un plano, o tres fuentes para medir en el espacio.

35 El documento WO-00/29854 divulga por su parte un sistema con tres ejes que usa un láser heterodino que comprende un soporte provisto de tres diodos láser distintos que proporciona haces de luz coherente. Estos haces se envían a unos espejos dilatadores de haces que vuelven a enviar un haz reflejado en un espejo focalizador que focaliza los haces según tres ejes de divergencia que forman entre sí unos ángulos conocidos en tres ubicaciones separadas del espacio. El dispositivo revelado por este documento usa sistemas difíciles de implementar (con espejos para realizar haces reflejados). Se observa además que los tres ejes previstos en el sistema no son coplanares.

40 Objeto de la invención

45 La presente invención tiene entonces por objeto proporcionar un dispositivo de determinación de la velocidad del viento que sea a la vez económico y preciso. El dispositivo según la presente invención tiene por objeto poder determinar la velocidad del viento cuando la dirección del mismo está orientada en una gama de direcciones predeterminada. Ventajosamente, la presente invención permitirá igualmente la determinación de la velocidad del viento cualquiera que sea la orientación del mismo. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo que permita medir bajas velocidades del viento.

50 A tal efecto, la presente invención propone un dispositivo de determinación de la velocidad del viento según la reivindicación 1.

55 La solución propuesta en este documento es por tanto disponer dos detectores (conjunto que incluye una fuente láser y los medios de recepción de un haz reflejado) de manera perpendicular entre sí, siendo cada detector un detector láser con reinyección óptica, conocido igualmente con el nombre de detector "self-mixing". Esta solución es fácil de implementar y permite determinar la velocidad del viento en el plano que contiene las direcciones de emisión de las fuentes láser, es decir determinar el módulo del vector velocidad del viento y más precisamente el módulo del componente en el plano considerado del vector velocidad del viento.

60 Para mejorar la calidad de la medición de la velocidad, en concreto cuando el viento presenta ciertas direcciones con respecto a los detectores, la invención propone que el dispositivo incluya cuatro fuentes láser que forman dos pares de fuentes, que cada par de fuentes defina un sistema de referencia ortogonal en el plano, y que los dos sistemas de referencia ortogonales definidos de este modo presenten un mismo origen. Los dos sistemas de referencia ortogonales están desfasados entre sí en un ángulo superior a 10°, de manera preferida en un ángulo comprendido entre 30° y 60°, como por ejemplo 45°.

Preferentemente, en un dispositivo según la presente invención, las fuentes láser usadas son todas similares.

La presente invención propone además un procedimiento de determinación de la velocidad del viento según la reivindicación 5.

5 En este procedimiento, las etapas se realizan simultáneamente para cuatro fuentes láser que forman dos pares de fuentes, definiendo cada par de fuentes un sistema de referencia ortogonal en el plano, y presentando los dos sistemas de referencia ortogonales definidos de este modo un mismo origen.

10 Descripción de las figuras

Unos detalles y ventajas de la presente invención aparecerán mejor en la descripción de a continuación, realizada con referencia al dibujo esquemático adjunto en el que:

15 La figura 1 es una vista en perspectiva de un dispositivo de medición según la presente invención,
 La figura 2 es una vista desde arriba del dispositivo de la figura 1,
 La figura 3 es una vista lateral del dispositivo de las figuras 1 y 2,
 La figura 4 es un esquema de principio que ilustra el funcionamiento de un anemómetro láser por reinyección óptica,
 20 La figura 5 es una vista en perspectiva y parcialmente en sección de un detector que puede usarse en un dispositivo como se representa en las figuras 1 a 3,
 La figura 6 ilustra un volumen de medición de una fuente láser, y
 La figura 7 ilustra en vista desde arriba las diferentes zonas de medición que corresponden a un par de fuentes láser.

25 Descripción detallada de la invención

Las figuras 1 a 3 ilustran un anemómetro según la presente invención en una forma de realización preferida. Se reconocen en concreto en la figura 1 un soporte 2, una cubierta 4 y unas tarjetas electrónicas 6.

30 El soporte 2 se presenta en forma de una placa con un contorno sustancialmente circular. El soporte está perforado en su centro, para permitir en concreto el paso de cables de alimentación y de señales (no representados). En su periferia, el soporte 2 presenta cuatro deformaciones huecas en el lado de su cara llamada cara superior. La cara opuesta del soporte 2, o cara inferior, presenta unos resaltes correspondientes a las zonas huecas citadas anteriormente. Cada zona hueca se extiende de manera radial con respecto al centro del soporte 2 y presenta una superficie cóncava de forma aproximadamente cilíndrica circular. Los ejes 8 (figura 2) de estas zonas cilíndricas circulares están desfasados entre sí en 45 grados y se intersecan en un punto O dispuesto sustancialmente en el centro del soporte 2.

40 La cubierta 4 presenta una primera parte 10 que llega a recubrir las zonas huecas de la cara superior del soporte 2 así como una segunda parte 12 que se extiende sustancialmente de manera perpendicular al plano de la placa del soporte 2.

45 La primera parte 10 presenta unas deformaciones simétricas a las deformaciones de las zonas huecas del soporte 2. Al elegir la misma orientación que la que se ha definido anteriormente, uno encuentra de este modo en la cara inferior de la primera parte 10 de la cubierta 4 unas zonas huecas de forma sustancialmente cilíndrica circular. La primera parte 10 de la cubierta 4 define entonces con el soporte 2 unos alojamientos de forma global cilíndrica circular destinados cada uno a alojar un detector, por ejemplo, un detector como el detector 14 ilustrado en la figura 5. A cada uno de estos detectores 14 está asociada una óptica de focalización 16 visible en las figuras 1 a 3.

50 La segunda parte 12 de la cubierta 4 está formada por cuatro trozos que son cada uno sustancialmente planos y que se extienden, por una parte, de manera perpendicular al soporte 2 y, por otra parte, a un eje 8. Si se supone que el soporte 2 se extiende en un plano esencialmente horizontal, la segunda parte 12 de la cubierta 4 forma un semicilindro de eje vertical y de base octogonal regular. Cada trozo de la segunda parte 12 de la cubierta 4 sirve de soporte y de protección para una tarjeta electrónica 6.

60 Cada detector 14 incluye en su centro un diodo láser 18. Este último está destinado a emitir haces según una dirección de emisión. Por construcción, el soporte 2 y la cubierta 4 son tales que los ejes 8 definidos anteriormente corresponden cada uno a una dirección de emisión de un diodo láser 18 que llega a colocarse en un alojamiento previsto a tal efecto por el soporte 2 y la cubierta 4.

65 En el eje 8 correspondiente a un diodo láser 18, se encuentra un fotodiodo 20. Se elige en este documento arbitrariamente una orientación y se supone que el fotodiodo 20 se encuentra cada vez en la parte posterior del diodo láser 18.

El conjunto formado por el diodo láser 18 y el fotodiodo 20 está dispuesto en un disipador térmico 22, él mismo

montado en una carcasa 24 (figura 5). En la parte anterior del diodo láser 18, la carcasa 24 presenta una abertura 26 para que un haz láser emitido según el eje 8 por el diodo láser 18 pueda alcanzar la óptica de focalización 16 correspondiente.

5 Cada detector 14 usado para la realización de un dispositivo según la presente invención es por ejemplo un detector como el descrito en el documento WO2011/042678 cuyo contenido está incorporado en este documento por referencia (en concreto página 5, línea 26 a página 7, línea 13 y figura 1).

10 La técnica implementada para realizar una medición de la velocidad del viento es una técnica llamada "self-mixing" o incluso con reinyección óptica. Esta técnica es una técnica de anemometría láser con efecto Doppler mediante haz incidente único. Según esta técnica, un haz se emite por un diodo láser que incluye una cavidad óptica. Cuando se encuentra con una partícula en suspensión en el aire, una fracción de este haz se refleja formando de este modo un haz reflejado que se inyecta de nuevo en el interior del diodo láser, y más precisamente en la cavidad óptica presente en el diodo láser. Esta técnica permite aprovechar el aumento óptico de la zona activa del diodo láser. De manera clásica en anemometría láser, una interferencia se realiza entre un haz de referencia y un haz reflejado por un elemento del que se quiere determinar la velocidad. En este documento la mezcla de interferencia se realiza en el seno del diodo láser que envía el haz incidente en la partícula de la que se quiere medir la velocidad.

20 La figura 4 ilustra esquemáticamente el principio de medición usado en este documento. El diodo láser 18 es un diodo láser con semiconductores que presenta una zona activa modelizada por una cavidad óptica Fabry-Pérot. Este diodo láser emite por la parte anterior una potencia óptica P₁, y por la parte posterior una potencia óptica P₂. El haz emitido por la parte anterior se focaliza por la óptica de focalización 16 correspondiente, luego se refleja por una partícula 28. El haz reflejado por la partícula 28 vuelve al interior del diodo láser 18 y llega a modular la señal de potencia P₂ que sale por la parte posterior del diodo láser 18. El fotodiodo 20 genera entonces una señal 30 representativa de la potencia óptica que ha recibido.

30 Se puede suponer que los haces láser que han salido del diodo láser 18 son gaussianos de sección elíptica. El sistema óptico correspondiente a la óptica de focalización 16 es por ejemplo una lente esférica convergente. En este caso, se conserva la forma gaussiana de los haces. Como se ilustra en la figura 6, el haz anterior emitido por el diodo láser 18 se focaliza por la óptica de focalización 16 para formar un volumen de medición 32 que es de forma sustancialmente elipsoidal. Este volumen de medición 32 corresponde al conjunto de los puntos del espacio en el que el paso de una partícula 28 da una relación señal-ruido suficiente para permitir una detección por el fotodiodo 20 (y la tarjeta electrónica 6 asociada).

35 Se supone que una partícula 28 atraviesa el volumen de medición 32 con una velocidad \vec{v} . La velocidad de la partícula 28 se considera como que es también la velocidad del viento. Esta partícula refleja una porción del haz emitido por el diodo láser y vuelve a emitir dicha porción hacia el diodo láser 18. Esta onda retrodifundida está desfasada en frecuencia con respecto a la onda láser incidente. Cuando el haz reflejado se inyecta en la cavidad óptica del diodo láser, se realiza un acoplamiento entre la zona emisora del diodo láser y la zona de paso de haz reflejado. Un fenómeno de interferencia se produce en el interior de la cavidad láser. De este modo, la potencia óptica P₂ emitida por la parte posterior del diodo láser 18 llega al nivel del fotodiodo 20 modulándose a la frecuencia de desfase Doppler, siendo esta última directamente proporcional a la velocidad de la partícula. La modulación en potencia se escribe entonces:

45
$$P_2(t) = P_0(1 + m \cos(2\pi \Delta f t))$$

La frecuencia Doppler se expresa de la manera siguiente:

50
$$\Delta f = \frac{2}{\lambda} |\vec{v} \cdot \vec{u}|$$

V es el vector velocidad de la partícula considerada como el vector velocidad del viento.

\vec{u} es el vector unitario correspondiente al eje 8 óptico o incluso el eje de propagación del haz láser.

$|\vec{v} \cdot \vec{u}|$ es el producto escalar que da la proyección del vector velocidad en el eje del haz láser.

λ es la longitud de onda del láser.

55 m es el índice de modulación en amplitud creado por la interferencia.

El índice de modulación de la señal es bajo, del orden de 10⁻⁵, de modo que incluso después de la amplificación, la señal temporal permanece sumergida en el ruido del sistema de adquisición. A título de ejemplo ilustrativo, el índice de modulación es de aproximadamente 5,5 10⁻⁶ para una partícula que presenta un radio de 0,1 μm. Sin embargo, en el campo de frecuencia, si la relación señal-ruido (S/R) es suficiente, el espectro de una señal de este tipo contiene un pico detectable correspondiente a la frecuencia Doppler. Es posible encontrar la posición del pico aplicando una transformada de Fourier rápida (FFT) y de este modo deducir de ello la velocidad del viento.

La cadena de adquisición que contiene el diodo láser 18, el fotodiodo 20, una electrónica de amplificación y una electrónica del tratamiento de la señal integradas en la tarjeta electrónica 6 correspondiente permite de este modo medir una proyección del vector velocidad del viento en el eje del haz láser y constituye el módulo de base de un anemómetro láser por reinyección óptica.

5 Las mediciones realizadas por cada detector permiten conocer el componente del vector velocidad V en el eje óptico del sistema correspondiente. En teoría, es necesario por tanto tener al menos dos detectores ortogonales para poder determinar la proyección de un vector velocidad en un plano y tres detectores ortogonales para conocer el módulo de cualquier vector velocidad en el espacio. En vez de usar varios detectores y por tanto varias fuentes láser, se puede contemplar el uso de un componente móvil o la implementación de un separador de haces.

10 La presente invención propone implementar varios detectores con reinyección óptica.

Según la presente invención, se propone usar dos detectores 14 cuyos ejes 8 ópticos son perpendiculares entre sí para determinar el valor del componente velocidad de partículas en suspensión en el aire en el plano definido por los dos ejes 8 correspondientes. Como se explica posteriormente, se ha comprobado que un anemómetro con únicamente dos detectores presentaba unas zonas ciegas en las que no era posible realizar de manera fiable la medición de la velocidad de las partículas. De manera original, se propone por tanto la adición no de uno sino de dos detectores, presentando igualmente los dos detectores 14 añadidos unos ejes ópticos perpendiculares entre sí. Se obtienen entonces cuatro detectores que están dispuestos de tal modo que sus ejes ópticos se intersecan en el punto O como se ha descrito anteriormente. Como se ha mencionado anteriormente, tenemos dos pares de detectores 14, teniendo los detectores de un mismo par unos ejes 8 ópticos perpendiculares. Como se ilustra en las figuras 1 a 3, una forma de realización preferida prevé que los dos pares de detectores estén dispuestos cada vez de tal modo que un eje 8 de un detector de un par de detectores forma la bisectriz de los ejes 8 ópticos del otro par de detectores. En otros términos, tenemos cuatro ejes ópticos que pasan por un mismo punto O y cada eje óptico hace con el eje óptico cercano un ángulo de 45 grados.

Esta forma de realización preferida no es la única forma de realización posible según la presente invención. Se podrían considerar, por ejemplo, otras posiciones relativas entre dos pares de detectores.

30 La continuación de la descripción es una justificación de la solución implementada por la presente invención.

Para realizar un anemómetro de calidad, conviene poder hacer primero mediciones precisas. A continuación, se deben medir igualmente velocidades de viento bajas. Por último, el volumen de medición debe ser lo suficientemente grande para contener bastantes partículas en suspensión y permitir de este modo realizar mediciones a una frecuencia bastante elevada.

En lo referente a la precisión de la medición a título ilustrativo, se propone llegar a una precisión de 0,1 m/s para una velocidad de 20 m/s. Sobre la base de los cálculos de a continuación, es posible por supuesto usar otros valores numéricos dados en este documento a título puramente ilustrativo y no limitativo.

Si se elige entonces un haz láser que presenta una longitud de onda de por ejemplo 785 nm y una velocidad perfectamente colineal con el haz láser, se obtiene una frecuencia Doppler, con la fórmula indicada anteriormente, de 50 MHz, es decir:

$$\Delta f = 50 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 785 \text{ nm}$$

$$V = 20 \text{ m/s}$$

Si se usa una transformada de Fourier rápida, con 1.024 puntos muestreando a una frecuencia F = 100 MHz (= 2Δf para respetar el teorema de Nyquist-Shannon), tenemos un error de tratamiento:

$$E = \lambda F / 4N$$

Siendo E el error en la velocidad generada por el tratamiento,
F la frecuencia de muestreo, y
N el número de puntos de muestreo.

60 Con los valores numéricos dados a título de ejemplo numérico no limitativo, se obtiene en este documento E = 0,02 m/s.

Se supone que este error de tratamiento E es el mismo en el caso más general en el que el haz láser no es colineal con el vector velocidad.

Otra fuente de error puede ser mecánica. En efecto, es posible que durante el posicionamiento del diodo láser 18, su eje 8 esté desalineado con la dirección deseada debido al montaje mecánico. Llamamos α el error angular de la desalineación y A el ángulo entre el eje 8 y el vector velocidad del viento.

- 5 De este modo $V_{r \text{ alineación}} = V \cos A$ en ausencia de desalineación y $V_{r \text{ desalineación}} = V \cos (A + \alpha)$ en el caso contrario, es decir

$$V_{r \text{ desalineación}} = V \cos (A \pm \alpha)$$

10
$$V_{r \text{ desalineación}} = V (\cos A \pm \alpha \sin A - \alpha^2/2 \cos A)$$

$$V_{r \text{ desalineación}} = V_{r \text{ alineación}} \pm V (\alpha \sin A - \alpha^2/2 \cos A)$$

De este modo el error máximo debido a la desalineación es de:

15
$$\delta V_{r \text{ desalineación}} = V \alpha$$

El error máximo generado por el tratamiento, la desalineación y la dirección del viento es, por tanto:

20
$$E = \lambda F/4N + V \alpha$$

Para poder realizar mediciones, como se ha indicado anteriormente, conviene que un número suficiente de partículas atraviesen el volumen de medición 32 ilustrado en la figura 6. El número de partículas que atraviesan el volumen de medición 32 depende primero del número de partículas por unidad de volumen. Este número de partículas depende a continuación de la velocidad del viento. Cuanto mayor es el viento, mayor será el número de partículas que atraviesan un volumen dado. El número de partículas es igualmente proporcional a la superficie de volumen de medición vista por el vector velocidad. En la forma elipsoidal representada en la figura 6, se observa que es cuando el vector velocidad es perpendicular al eje 8 que la superficie del volumen de medición 32 aparece como que es la mayor para el vector velocidad. Para una unidad de tiempo dada, el número de partículas que atraviesa el volumen de medición será por tanto el siguiente:

$$F_{\text{det}} = \rho V S'$$

- 35 F_{det} es el número de partículas calculado
 ρ es la densidad de partículas por unidad de volumen
 V es la norma del vector velocidad
 S' es la superficie del volumen de medición vista por el vector velocidad.

Además, si B es el ángulo entre el eje 8 óptico del detector considerado y el vector velocidad, tenemos:

40
$$F_{\text{det}} = \rho V S \sin B$$

Siendo S la superficie máxima del volumen de medición 32 visible por el vector velocidad, es decir la superficie del volumen de medición vista de manera perpendicular con respecto al eje 8 óptico del detector correspondiente.

- 45 Tenemos, por tanto:

$$\sin B = S'/S$$

- 50 Se observa por tanto en este documento que el número de partículas va a disminuir tanto más en cuanto que el vector velocidad es paralelo al eje 8 óptico del detector.

En lo referente a la medición de bajas velocidades, el ruido en $1/f$ y la frecuencia de corte baja del amplificador se aplican en el primer punto de la transformada de Fourier rápida. De este modo, la frecuencia correspondiente da el límite bajo de velocidad medible:

$$F/N = (2V \cos B) / \lambda$$

Por tanto:

60
$$\cos B = (\lambda F) / (2VN)$$

Los resultados de estos cálculos se ilustran en la figura 7.

5 En esta figura, se ha representado una dirección u_0 y una dirección u_1 que corresponden a dos direcciones ortogonales de dos detectores 14. Para el detector 14 orientado según la dirección u_0 , se obtiene una zona ciega 34 que corresponde a la zona en la que no será posible detectar velocidades demasiadas bajas por el detector correspondiente. Asimismo, tenemos una zona ciega 36 que no puede detectarse por el detector 14 orientado según la dirección u_1 .

10 Para el criterio en lo referente al número de partículas que pueden detectarse por unidad de tiempo, tenemos para el detector orientado según la dirección u_0 una zona ciega 38 y para el detector 14 orientado según la dirección u_1 una zona ciega 40.

15 Para todos los vectores velocidad que se encuentran en el sistema de referencia (u_0 , u_1), una medición correspondiente puede efectuarse por un par de detectores con más o menos precisión. Por supuesto, como se destaca de los cálculos anteriores, la precisión dependerá del posicionamiento mecánico de los detectores, de la frecuencia de muestreo elegida, así como del número de puntos de muestreo, y también del ángulo entre el haz láser y el vector velocidad del viento.

20 Se podrían usar únicamente dos de los detectores 14, dispuestos ortogonalmente, si se quieren medir únicamente vectores velocidad que no se encuentran en zonas ciegas. Se realiza entonces un anemómetro que puede dar por ejemplo excelentes resultados cuando se consigue orientarlo aproximadamente con respecto al viento dominante. Cabe destacar que un anemómetro con dos detectores dispuestos ortogonalmente permite igualmente mediciones en las zonas ciegas si se acepta una degradación de la calidad de la medición del viento para ciertas orientaciones y/o ciertas velocidades.

30 Para poder medir con un anemómetro fijo vientos multidireccionales y/o para garantizar una medición de calidad cualquiera que sea la dirección del viento, la invención propone usar dos pares de detectores 14 ortogonales como se representa en las figuras 1 a 3. Se elige en este documento un par de detectores de tal modo que sus zonas ciegas (figura 7) no recubran las zonas ciegas del otro par de detectores. Es posible medir entonces todos los vectores velocidad, cualesquiera que sean sus componentes en el plano de los detectores.

35 De este modo, la medición de una velocidad del viento en un plano puede hacerse con la ayuda de dos o cuatro detectores. El tratamiento de las señales obtenidas al nivel de los (cuatro) detectores se hace en paralelo. Se emiten de este modo simultáneamente haces en cada dirección correspondiente a un detector. Las partículas en suspensión en el aire reflejan una parte de los haces emitidos y vuelven a enviar hacia los detectores un haz reflejado. El mismo penetra en el interior de la cavidad óptica del diodo láser en el origen de la emisión que ha dado lugar a la reflexión. Los haces reflejados interfieren entonces en cada uno de los diodos láser que emiten en la parte posterior una señal modulada detectada por un fotodiodo. El fotodiodo de cada detector proporciona una señal en forma de corriente eléctrica proporcional a la potencia recibida. Esta señal reproduce igualmente la modulación de potencia debida a la interferencia y se trata a continuación en el seno de un amplificador transimpedancia. La señal en forma de corriente se transforma y se amplifica durante esta etapa en señal en forma de tensión. La señal obtenida de este modo (tensión) se muestrea y se analiza mediante la transformada de Fourier rápida. Una umbralización se realiza a continuación eligiendo por ejemplo como nivel de umbral un nivel tres veces superior al nivel de ruido. Para una unidad de tiempo dada, por ejemplo, un segundo (1s), se determinan entonces las frecuencias Doppler correspondientes a las modulaciones de las señales detectadas.

50 El tratamiento se realiza en el seno de todos los detectores simultáneamente. Entonces los resultados obtenidos se analizan y se recomponen para proporcionar la velocidad del viento en el plano de los detectores.

55 La presente invención permite de este modo obtener un anemómetro que proporciona mediciones fiables de la velocidad del viento. Aunque usando varios haces láser, la solución propuesta por la presente invención es de un precio de coste poco elevado porque los detectores usados pueden ser económicos, debido en concreto a la ausencia de sistemas ópticos complejos de gran tamaño.

La presente invención no se limita a la forma de realización preferida descrita anteriormente a título de ejemplo no limitativo y a las variantes mencionadas. Se refiere igualmente a todas las variantes de realización al alcance del experto en la materia en el marco de las reivindicaciones de a continuación.

60 De este modo, la descripción prevé el uso de cuatro detectores. Ello permite una medición de la velocidad en un plano. Por supuesto la presente invención podría usarse igualmente para medir la velocidad del viento en el espacio aumentando el número de detectores.

65 El tipo de los detectores usados se da únicamente a título de ejemplo ilustrativo. Se pueden usar otros detectores láser con reinyección óptica.

Además, el montaje de los detectores entre un soporte y una cubierta es un ejemplo de montaje. Cualquier otro tipo de montaje puede usarse para mantener dos detectores ortogonales entre sí y/o para disponer cuatro (o más) detectores láser.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de determinación de la velocidad del viento que incluye al menos dos fuentes láser (18) que emiten haces coplanares en diferentes direcciones, a cada fuente láser (18) estando asociados:

- 5
- unos medios de focalización (16) del haz emitido,
 - unos medios de recepción (20) de un haz reflejado obtenido después de reflexión por una partícula (28) presente en el aire del haz emitido correspondiente,
 - unos medios de transmisión (20) de una señal de interferencias que intervienen entre el haz emitido y el haz
- 10
- reflejado,
 - unos medios de tratamiento (6) de las señales de interferencias obtenidas,

incluyendo cada fuente láser (18) una cavidad óptica en la que se reinyecta el haz reflejado para obtener una interferencia con el haz emitido,

15 **caracterizado por que** incluye cuatro fuentes láser (18) que forman dos pares de fuentes, **por que** cada par de fuentes define un sistema de referencia ortogonal en el plano, **por que** los dos sistemas de referencia ortogonales definidos de este modo presentan un mismo origen, y **por que** los dos sistemas de referencia ortogonales están desfasados entre sí en un ángulo superior a 10°.

20 2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los dos sistemas de referencia ortogonales están desfasados entre sí en un ángulo comprendido entre 30° y 60°.

3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** los dos sistemas de referencia ortogonales están desfasados entre sí en 45°.

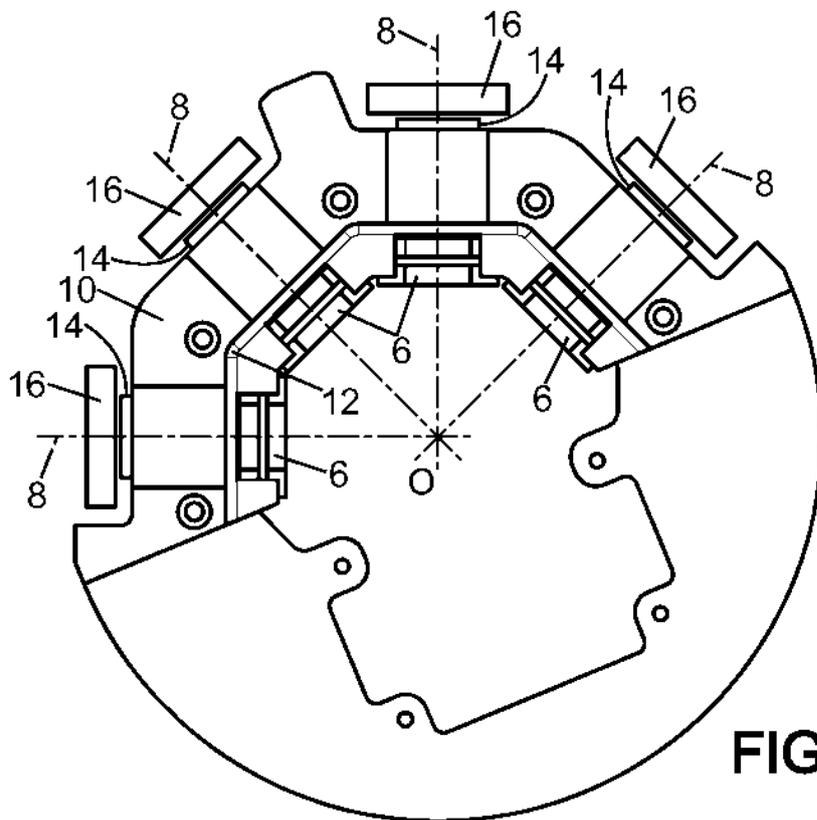
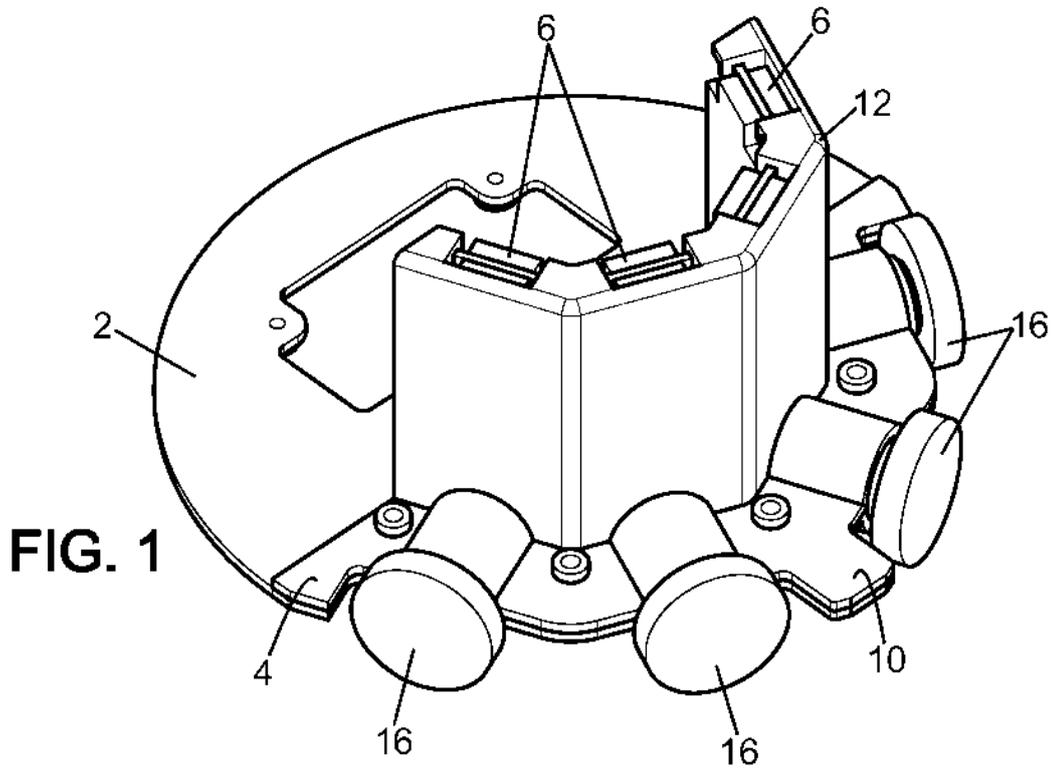
25 4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** las fuentes láser son similares.

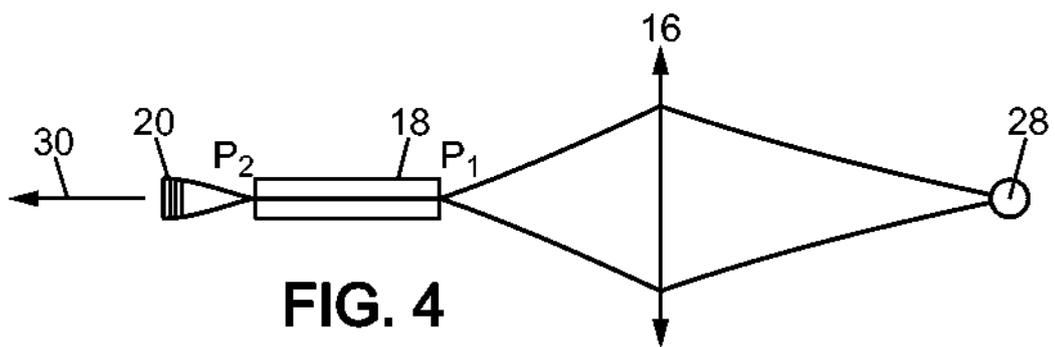
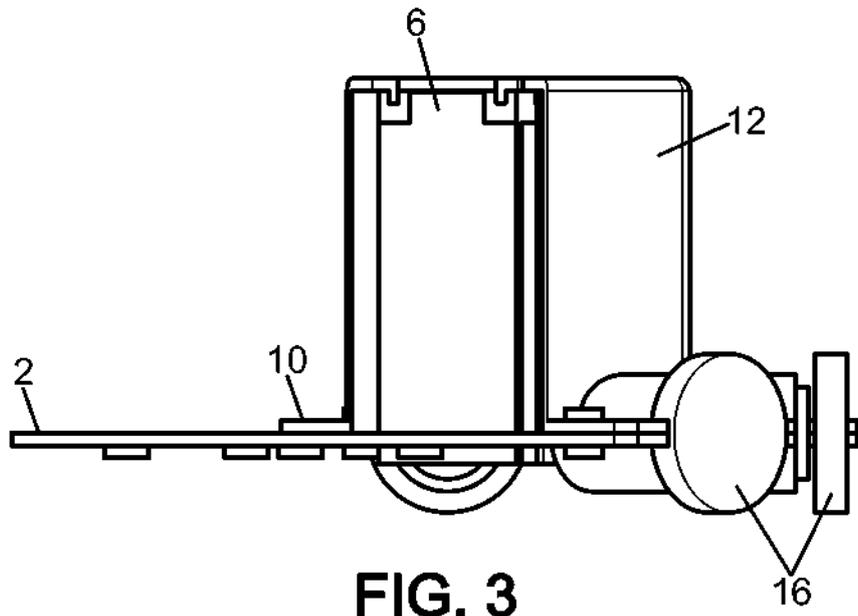
5. Procedimiento de determinación de la velocidad del viento que incluye las etapas siguientes:

- 30
- emisión de un haz láser en dos direcciones diferentes a partir cada vez de un diodo láser (18),
 - recuperación en el seno de cada diodo láser (18) de un haz reflejado por una partícula en suspensión en el aire,
 - interferencia del haz reflejado con el haz emitido en cada diodo láser (18),
 - recogida de una señal modulada,
 - amplificación de la señal modulada,
- 35
- muestreo de la señal amplificada,
 - transformación de Fourier rápida de los valores muestreados,
 - umbralización de la señal obtenida,
 - determinación de la frecuencia Doppler para cada señal, y
 - cálculo de la velocidad del viento por recomposición de los resultados obtenidos,

40 **caracterizado por que** las dos direcciones de emisión son perpendiculares, **por que** las etapas se realizan simultáneamente para cuatro diodos láser (18) que forman dos pares de fuentes, **por que** cada par de fuentes define un sistema de referencia ortogonal en el plano, y **por que** los dos sistemas de referencia ortogonales definidos de este modo presentan un mismo origen y están desfasados entre sí en un ángulo superior a 10°.

45





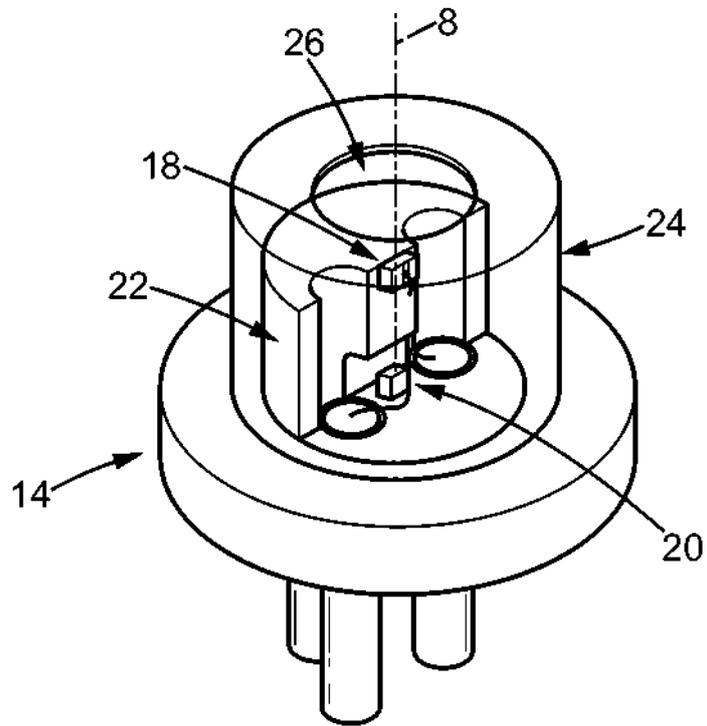


FIG. 5

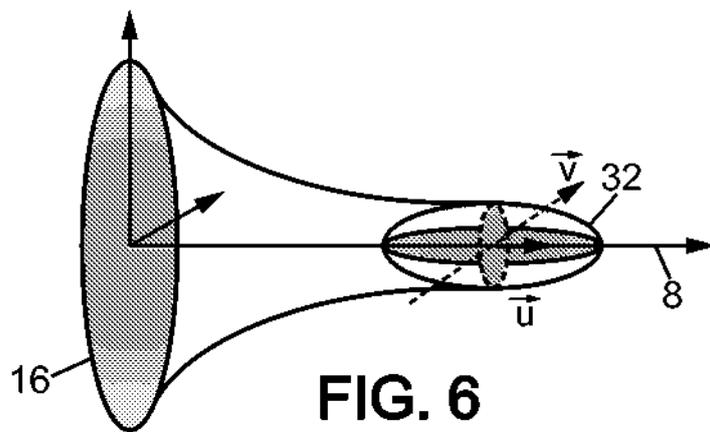


FIG. 6

