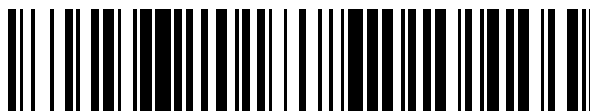


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 119**

51 Int. Cl.:

**G01S 17/58** (2006.01)

**G01S 7/481** (2006.01)

**G01S 7/499** (2006.01)

**G01S 7/497** (2006.01)

**G01S 17/95** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2008 E 08801384 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2015 EP 2212717**

54 Título: **Sistema LIDAR coherente basado en láser y amplificador semiconductor**

30 Prioridad:

**09.10.2007 DK 200701457**

**26.05.2008 DK 200800721**

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

**26.06.2015**

73 Titular/es:

**WINDAR PHOTONICS A/S (100.0%)**

**Helgeshøj Allé 16  
2630 Taastrup, DK**

72 Inventor/es:

**HANSEN, RENE SKOV y  
PEDERSEN, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 539 119 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

Sistema LIDAR coherente basado en láser y amplificador semiconductor

La presente invención se refiere a un sistema LIDAR (Detección Y Oscilación de Luz) coherente compacto, fiable y de bajo coste para la determinación remota de la velocidad del viento, detección de la concentración de partículas y/o temperatura basado en una fuente de luz todo semiconductor y métodos relacionados.

Un sistema LIDAR coherente es un sistema atractivo para la determinación de la velocidad del viento de línea de vista en ubicaciones remotas. El principio básico se refiere al desplazamiento Doppler que la luz retrodispersada a partir de aerosoles genera cuando se irradia por luz de láser coherente. Bajo la suposición de que los movimientos de aerosoles se parecen estrechamente al flujo de aire, se puede usar la frecuencia Doppler medida para el cálculo de una velocidad del viento proporcional a esta.

No solamente los aerosoles, tales como gotitas de agua, polvo, etc., pueden proporcionar la señal retrodispersada desplazada Doppler, sino también partículas únicas.

Una LIDAR coherente de onda continua (CW) depende de las propiedades de enfoque del láser para confinar el volumen de sonda real. La anchura del volumen de sonda se confina por el diámetro del haz láser en la región enfocada (es decir, la región confocal). La longitud del volumen de sonda a lo largo del eje del haz está confinada aproximadamente por la longitud de Rayleigh del haz de láser enfocado. Para una LIDAR de CW enfocada a una distancia de cien metros del sistema LIDAR de CW, la anchura del volumen de sonda es típicamente del orden de un centímetro y la longitud del volumen de sonda es del orden de diez metros dependiendo de la longitud de onda y la óptica de enfoque (el telescopio). Para sistemas pulsados la anchura del volumen de sonda es la misma que para el caso LIDAR de CW, pero la longitud del volumen de sonda se da por la longitud espacial del pulso emitido.

Los principios básicos de la LIDAR coherente se fechan más de 35 años atrás, véase "Signal-to-Noise Relationships for Coaxial Systems that Heterodyne Backscatter from the Atmosphere", Applied Optics, Vol. 10, N° 7, julio de 1971, C.M. Sonnenschein y F.A. Horigan. Las aplicaciones han sido tradicionalmente de interés científico, por ejemplo dentro de la física de la atmósfera. No obstante, hoy en día la LIDAR ha llegado a ser más y más relevante para aplicaciones industriales prácticas. Un ejemplo tal es para el control de turbinas eólicas. La necesidad de mayor eficiencia ha forzado a la industria de turbinas eólicas a aumentar continuamente la envergadura de la aleta durante las últimas décadas a fin de mejorar el rendimiento en términos de energía eléctrica extraída por turbina eólica instalada. No obstante un aumento de la envergadura de la aleta conduce a una carga mecánica sustancial impuesta por vientos fuertes y por las turbulencias del viento en particular. Un dispositivo LIDAR coherente compacto, robusto y barato, para predicción de la velocidad del viento decenas de metros contra el viento permitirá una optimización y protección de la turbina eólica. El retardo de tiempo entre la medición de la velocidad del viento real y el tiempo donde el viento real alcanzó la turbina eólica se puede usar para proteger la carga de las aletas, por ejemplo cambiando el paso de la aleta. Otro ejemplo es la detección del vórtice generado por el aterrizaje de aeronaves. La frecuencia de aterrizaje (o despegue) de aeronaves está determinada en primer lugar por un margen de seguridad para asegurar ningún peligro de vórtices generados por la aeronave previa. Usar un LIDAR coherente para vigilancia de vórtice permite minimizar este periodo de seguridad, aumentando de este modo la intensidad de tráfico y por ello la capacidad del aeropuerto.

Factores prohibitivos para un uso generalizado de LIDAR son el coste, el consumo de potencia, el tamaño y la robustez. Los sistemas LIDAR disponibles comercialmente de hoy en día cuestan aproximadamente 200 K dólares de EE.UU., un nivel de precio que excluye que muchas aplicaciones sean explotadas. El uso de sistemas LIDAR en lugares remotos, tales como parques de turbinas eólicas mar adentro requiere una operación con poco o sin mantenimiento durante largos periodos de tiempo así como menor consumo de potencia.

"Single-Particle laser Doppler anemometry at 1.55  $\mu\text{m}$ ", Applied Optics, Vol. 40, N° 6, de Michael Harris, Guy N. Pearson et al. describe un sistema LIDAR de CW para mediciones de la velocidad del viento. El componente de velocidad de línea de vista se determina por la medición del desplazamiento de frecuencia de la luz dispersada a partir de pequeñas películas en la atmósfera que se suponen que son barridas a lo largo a la misma velocidad que el viento. El desplazamiento de frecuencia se mide convenientemente por detección heterodina en la que la luz retrodispersada recibida se mezcla con un haz de oscilador local de referencia. La velocidad del viento entonces se infiere a partir de la frecuencia de batido resultante. El láser comprende una fuente de láser semiconductor que opera a una longitud de onda de 1,55  $\mu\text{m}$  que se amplifica a alrededor de 1 Vatio por un amplificador de potencia de fibra dopada con Erblio en una configuración de amplificador de potencia de oscilador maestro (MOPA). El oscilador maestro es un láser de In/P de cavidad extendida y su anchura de línea se midió para ser de alrededor de 20 KHz por el método auto heterodino retardado.

También existe un producto LIDAR coherente de CW comercial en el mercado [Quinetic]. Este sistema usa un oscilador de anillo de fibra bombeado por diodo seguido por un amplificador de fibra dopada con Erblio bombeado por diodo para obtener un haz adecuado a 1,55  $\mu\text{m}$ .

Aunque el término detección heterodina se usa a menudo en conexión con interferometría óptica, el término detección homodina se usa en toda la presente descripción para indicar que el haz de referencia (el oscilador local)

se deriva a partir de la misma fuente que el haz de señal antes del proceso de modulación, es decir, la dispersión por el objetivo.

Por lo tanto, hay una necesidad de sistemas LIDAR coherentes baratos y robustos que abran nuevas aplicaciones industriales como se trató anteriormente.

- 5 El componente más caro y complicado en un sistema LIDAR coherente hoy en día es el conjunto de láser. Debido a un coeficiente de retrodispersión extremadamente bajo de los aerosoles ( $\sim 10^{-12}$ ) se requiere un esquema de detección refinado que depende en gran medida de recursos de luz coherentes, de alta calidad, de alta potencia. La potencia de salida de CW del conjunto de láser debería ser del orden de 1 Watio a fin de obtener suficiente luz retrodispersada a ser detectada. La técnica de detección homodina requiere en primer lugar que la longitud de coherencia de la fuente de luz sea esencialmente dos veces la distancia al volumen de la sonda, por ejemplo 200 metros para aplicaciones de turbina eólica típicas. Esta corresponde a una mínima mitad de anchura completa (FWHM) del espectro del láser de solamente unos pocos 100 kHz respecto a una frecuencia central de alrededor de 200 THz. En segundo lugar, la coherencia espacial del haz láser debería estar cerca de la de un haz gaussiano ideal, para asegurar la generación de una señal de batido máxima desde el detector cuadrático. La señal de batido se refiere a la diferencia de frecuencia entre la señal de referencia y la señal retrodispersada – y desplazada Doppler. Finalmente, el ruido de intensidad relativa (RIN) del láser debería ser menor que la señal de batido en el detector. Todas estas cualidades normalmente se encuentran solamente en láseres caros, voluminosos en CO<sub>2</sub> como por ejemplo se describe en “Coherent Doppler Lidar for Measurements of Wind Fields”, Actas del IEEE, Vol. 77, Nº 3, MARZO de 1989, Robert T. Menzies and R. Michael Hardety o, en Osciladores Maestros seguidos por un Amplificador de Potencia (MOPA). Típicamente, el oscilador maestro es un láser de fibra o diodo láser en una configuración de cavidad externa y el amplificador de potencia es una fibra dopada con Erbio bombeada con un módulo de bomba de diodo de alta potencia. El sistema MOPA es complicado usando ópticas caras, voluminosas y desintegradas. Otro sensor de viento Doppler láser que comprende un MOPA es conocido a partir de HARRIS M ET AL.: “CONTINUOUS-WAVE BISTATIC LASER DOPPLER WIND SENSOR”, APPLIED OPTICS, OSA, SOCIEDAD
- 10 metros para aplicaciones de turbina eólica típicas. Esta corresponde a una mínima mitad de anchura completa (FWHM) del espectro del láser de solamente unos pocos 100 kHz respecto a una frecuencia central de alrededor de 200 THz. En segundo lugar, la coherencia espacial del haz láser debería estar cerca de la de un haz gaussiano ideal, para asegurar la generación de una señal de batido máxima desde el detector cuadrático. La señal de batido se refiere a la diferencia de frecuencia entre la señal de referencia y la señal retrodispersada – y desplazada Doppler. Finalmente, el ruido de intensidad relativa (RIN) del láser debería ser menor que la señal de batido en el detector. Todas estas cualidades normalmente se encuentran solamente en láseres caros, voluminosos en CO<sub>2</sub> como por ejemplo se describe en “Coherent Doppler Lidar for Measurements of Wind Fields”, Actas del IEEE, Vol. 77, Nº 3, MARZO de 1989, Robert T. Menzies and R. Michael Hardety o, en Osciladores Maestros seguidos por un Amplificador de Potencia (MOPA). Típicamente, el oscilador maestro es un láser de fibra o diodo láser en una configuración de cavidad externa y el amplificador de potencia es una fibra dopada con Erbio bombeada con un módulo de bomba de diodo de alta potencia. El sistema MOPA es complicado usando ópticas caras, voluminosas y desintegradas. Otro sensor de viento Doppler láser que comprende un MOPA es conocido a partir de HARRIS M ET AL.: “CONTINUOUS-WAVE BISTATIC LASER DOPPLER WIND SENSOR”, APPLIED OPTICS, OSA, SOCIEDAD
- 15 se refiere a la diferencia de frecuencia entre la señal de referencia y la señal retrodispersada – y desplazada Doppler. Finalmente, el ruido de intensidad relativa (RIN) del láser debería ser menor que la señal de batido en el detector. Todas estas cualidades normalmente se encuentran solamente en láseres caros, voluminosos en CO<sub>2</sub> como por ejemplo se describe en “Coherent Doppler Lidar for Measurements of Wind Fields”, Actas del IEEE, Vol. 77, Nº 3, MARZO de 1989, Robert T. Menzies and R. Michael Hardety o, en Osciladores Maestros seguidos por un Amplificador de Potencia (MOPA). Típicamente, el oscilador maestro es un láser de fibra o diodo láser en una configuración de cavidad externa y el amplificador de potencia es una fibra dopada con Erbio bombeada con un módulo de bomba de diodo de alta potencia. El sistema MOPA es complicado usando ópticas caras, voluminosas y desintegradas. Otro sensor de viento Doppler láser que comprende un MOPA es conocido a partir de HARRIS M ET AL.: “CONTINUOUS-WAVE BISTATIC LASER DOPPLER WIND SENSOR”, APPLIED OPTICS, OSA, SOCIEDAD
- 20 Amplificador de Potencia (MOPA). Típicamente, el oscilador maestro es un láser de fibra o diodo láser en una configuración de cavidad externa y el amplificador de potencia es una fibra dopada con Erbio bombeada con un módulo de bomba de diodo de alta potencia. El sistema MOPA es complicado usando ópticas caras, voluminosas y desintegradas. Otro sensor de viento Doppler láser que comprende un MOPA es conocido a partir de HARRIS M ET AL.: “CONTINUOUS-WAVE BISTATIC LASER DOPPLER WIND SENSOR”, APPLIED OPTICS, OSA, SOCIEDAD
- 25 ÓPTICA DE AMÉRICA, WASHINGTON, DC, vol. 40, nº 9, 20 de marzo de 2001 (20-03-2001), páginas 1501-1506, XP001066006, ISSN: 0003-6935.

Por lo tanto, hay una necesidad de un sistema LIDAR coherente que se puede basar en un conjunto de láser semiconductor barato, robusto, integrado.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema según la reivindicación 1.

- 30 Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método según la reivindicación 21.

Preferiblemente, el sistema LIDAR coherente comprende un procesador de señal, por ejemplo un procesador de señal para generar una señal de velocidad que corresponde a la velocidad del objetivo en base a la señal de detector.

- 35 El objetivo puede ser cualquier objeto capaz de interactuar con luz incidente sobre él resultante de la emisión de luz del objetivo. El objetivo en el volumen de medición puede ser por ejemplo aerosoles, tales como gotitas de agua, polvo, etc., partículas, moléculas, átomos, una superficie de un objeto mayor que la anchura del volumen de medición, etc. En toda la presente descripción, el término “partículas” incluye aerosoles, moléculas, átomos, etc.

- 40 El procesador de señal se puede configurar para determinación de la temperatura en el volumen de medición. Por ejemplo, el procesador de señal se puede configurar para generar una señal de temperatura que corresponde a la temperatura en el volumen de medición en base a la señal del detector.

El procesador de señal puede en lugar de o en combinación con, generar una señal de velocidad que corresponde a la velocidad del objetivo en base a la señal del detector a ser configurada para generar una señal de concentración que corresponde a la concentración de las partículas en el volumen de medición en base a la señal del detector.

- 45 En una realización de la presente invención, el procesador de señal se puede configurar para determinación de la concentración de partículas en el volumen de medición.

- La medición del desplazamiento doppler de la señal retrodispersada desde el volumen de medición se usa para determinación de la velocidad de las partículas. La amplitud de la señal desplazada doppler retrodispersada se puede usar para determinación de la concentración de partículas en el volumen de medición. Por consiguiente, la presente invención se puede usar para mediciones de concentración de partículas, por ejemplo polvo. El sistema, por ejemplo el procesador de señal, se puede configurar para enviar una señal de estado que indica el estado, por ejemplo, alarma, nivel alto, nivel medio, nivel bajo, etc.
- 50 por ejemplo el procesador de señal, se puede configurar para enviar una señal de estado que indica el estado, por ejemplo, alarma, nivel alto, nivel medio, nivel bajo, etc.

- En ausencia de un flujo de partículas, es decir la velocidad es cero o muy baja, la señal desplazada doppler será cero y la amplitud será difícil de extraer debido a otras señales de DC que vienen del proceso de detección. Una forma de superar esto puede ser incluir un elemento de desplazamiento de frecuencia, por ejemplo un modulador acústico-óptico, en el sistema para desplazamiento de frecuencia del haz de medición y/o el haz de referencia. Por ello se puede añadir una desviación de frecuencia a las señales recibidas que corresponden al desplazamiento de
- 55 En ausencia de un flujo de partículas, es decir la velocidad es cero o muy baja, la señal desplazada doppler será cero y la amplitud será difícil de extraer debido a otras señales de DC que vienen del proceso de detección. Una forma de superar esto puede ser incluir un elemento de desplazamiento de frecuencia, por ejemplo un modulador acústico-óptico, en el sistema para desplazamiento de frecuencia del haz de medición y/o el haz de referencia. Por ello se puede añadir una desviación de frecuencia a las señales recibidas que corresponden al desplazamiento de

frecuencia inducido por el elemento de desplazamiento de frecuencia. En el caso especial de flujo bajo o sin partículas, la amplitud de la señal desplazada doppler cero se visualizará ahora como la amplitud del componente de frecuencia dado por el elemento de desplazamiento de frecuencia.

La señal del detector sacada por el detector contiene la diferencia de frecuencia del haz de referencia y la luz emitida desde el objetivo que corresponde al desplazamiento Doppler generado por el movimiento del objeto en el volumen de medición. Por lo tanto, el pico del espectro de potencia de la señal del detector proporciona información de la velocidad media del objetivo a lo largo de la dirección de la línea de vista del sistema LIDAR mientras que la anchura (FWHM) de la distribución espectral proporciona información acerca de la distribución de velocidad. En caso de mediciones de la velocidad del viento, por ejemplo en base a aerosoles suspendidos en el aire y que siguen los movimientos del viento, se puede extraer por ello información de turbulencias.

En caso de que el medio que reside en el volumen de medición sea un gas, se puede sondear una dispersión de Raleigh. La dispersión de Raleigh se origina a partir de la interacción elástica entre el haz de luz de excitación y las moléculas del gas. En ese caso la anchura del espectro Doppler corresponde a la temperatura del gas. Por lo tanto, se pueden medir temperaturas de gases a largas distancias. Se debería señalar que comparado con señales retrodispersadas desde aerosoles, las señales dispersadas de Raleigh se ordenan normalmente de la magnitud más pequeña y depende en gran medida del componente de gas específico y la longitud de onda de excitación (la dispersión de Raleigh es una función de la longitud de onda para la potencia de menos 4). Componentes de gas especiales de interés podrían ser oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y gases NOx.

El láser semiconductor puede ser un láser de emisión superficial de cavidad externa vertical (VECSEL) para emisión de un haz de alta potencia. En un VECSEL, la radiación electromagnética se emite perpendicular a la unión y la superficie del circuito integrado de diodo. El dispositivo o circuito integrado semiconductor, también indicado como circuito integrado de ganancia, puede contener un espejo Bragg semiconductor único y la región activa (región de ganancia) típicamente con varios pozos cuánticos (QW). El dispositivo puede tener un espesor total de solamente unos pocos micrómetros. El resonador láser se completa con un espejo externo.

El área transversal grande de un VECSEL facilita una operación de modo fundamental y conduce a una alta calidad de haz. El diámetro transversal del haz es del orden de 400 micras. Además, el haz de salida puede ser circular simétrico con una cantidad insignificante de astigmatismo que conduce a propiedades de imágenes simples.

El material láser en la cavidad electromagnética se puede bombear ópticamente. El bombeo óptico facilita el bombeo uniforme de grandes áreas activas. La fuente de bomba óptica puede ser por ejemplo un diodo de área amplia de emisión de borde de alto brillo o una barra de diodo láser. Es posible lograr decenas de vatios de potencia de salida cuando se bombea con una barra de diodo. La utilización de un resonador externo puede facilitar la provisión de una salida de difracción limitada.

En una realización de la invención, el láser semiconductor es un láser semiconductor cónico. Debido a su estructura cónica, el láser semiconductor cónico proporciona una potencia de salida alta en su faceta de salida de área grande, por ejemplo, que tiene una anchura de aprox. 250  $\mu\text{m}$ , con una alta calidad de haz desde la arista de guía onda en el extremo estrecho, por ejemplo que tiene una anchura de aprox. 3  $\mu\text{m}$ , del láser cónico que forma un filtro espacial monomodo.

El sistema LIDAR coherente además puede comprender un amplificador de potencia cónico de semiconductor para amplificación del haz emitido por el láser semiconductor, por ejemplo el láser y amplificador semiconductor son del tipo MOPA semiconductor.

Según la presente invención, un sistema LIDAR coherente de bajo coste, compacto, robusto con bajo consumo de potencia se ha realizado usando un conjunto de láser todo semiconductor, por ejemplo basado en geometrías de diodo láser cónico.

En una realización de la invención, un conjunto de MOPA con un oscilador maestro semiconductor seguido por un amplificador de potencia cónico semiconductor, ambos realizados sobre el mismo sustrato constituyen una solución barata, robusta, ideal para aplicaciones industriales de baja potencia.

En una realización de la invención, una potencia de salida de aproximadamente 1 Vatio se ha proporcionado por un conjunto semiconductor cónico, incluso a una longitud de onda de 1,5  $\mu\text{m}$  donde la conversión electrón a fotón es menos eficiente comparado con el intervalo de 800 nm. Una longitud de onda de 1,5  $\mu\text{m}$  o más es importante para uso LIDAR práctico, dado que 1,5  $\mu\text{m}$  está dentro de la región segura para los ojos del espectro óptico. Los requisitos de seguridad láser durante la operación se cumplen más fácilmente cuando se opera en longitudes de onda seguras para el ojo.

Además, la coherencia temporal de conjuntos de láser semiconductor cónico, es decir la longitud de coherencia, es suficiente para aplicaciones LIDAR coherentes. Este rasgo delicado es esencial para la técnica de detección homodina usada para extraer la señal retrodispersada desplazada Doppler.

Aún más, incluso aunque la coherencia espacial de los dispositivos semiconductores cónicos no es perfecta cuando

se compara con un haz gaussiano limitado por difracción, la radiación del conjunto de láser no es de suficiente calidad para ser usada en un sistema LIDAR. Un filtrado espacial en el haz de referencia puede quitar o reducir los componentes espaciales no gaussianos del haz de referencia que de otro modo puede conducir a una relación señal a ruido reducida de la señal del detector. En una realización, el filtrado espacial se realiza en el plano de Fourier, donde la parte gaussiana se aísla fácilmente, espacialmente.

En una realización de la invención, una señal de realimentación al conjunto de láser se proporciona directamente desde el detector cuando se opera el sistema LIDAR. Cuando el conjunto de láser no está operando en un estado de frecuencia única, la longitud de coherencia cambiará drásticamente. Como resultado la señal Doppler LIDAR desaparecerá. Sintonizando por ejemplo la temperatura o corriente del conjunto de láser, la operación de frecuencia única se puede restablecer y también optimizar, maximizando la señal Doppler medida. Se debería señalar que la longitud de coherencia del conjunto de láser es muy sensible incluso a cambios pequeños en los ajustes. En una realización diferente, la señal de ruido desde el detector se utiliza para detectar el rendimiento del láser. Se observa que el ruido del conjunto de láser aumenta significativamente cuando disminuye la señal LIDAR. Se cree que la disminución de la señal LIDAR es causada por una operación multimodo del conjunto de láser. Mediante una sintonización fina de los parámetros del láser, por ejemplo la corriente o temperatura, se puede aumentar o reoptimizar la señal LIDAR. También la señal del detector de DC se puede aplicar para propósitos de control, dado que los cambios desde el estado de frecuencia única preferida a operación multimodo son seguidos por un cambio en el nivel de potencia de DC del conjunto de láser. Por lo tanto, detectando la señal de DC desde el detector se puede extraer una señal de control. Aún en otra realización, el conjunto de láser está bloqueado activa o pasivamente a una cavidad externa para estabilización de la frecuencia láser.

Se pueden realizar muchos sistemas LIDAR coherentes diferentes según la presente invención, por ejemplo un LIDAR biestático coherente.

Los anteriores y otros rasgos y ventajas de la presente invención llegarán a ser fácilmente evidentes para los expertos en la técnica mediante la siguiente descripción detallada de las realizaciones ejemplares de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente una realización de la invención,

La Fig. 2 ilustra esquemáticamente un diodo láser semiconductor de cavidad externa,

La Fig. 3 ilustra esquemáticamente otra realización de la invención,

La Fig. 4 ilustra esquemáticamente una realización de la invención que incluye un orificio,

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente una realización de la invención que incluye un sistema de realimentación,

La Fig. 6 ilustra esquemáticamente aún otra realización de la invención,

La Fig. 7 ilustra esquemáticamente la realización de la Fig. 6 con un elemento de realimentación de cuña añadido,

La Fig. 8 ilustra esquemáticamente aún otra realización de la invención,

La Fig. 9 es un gráfico del espectro de potencia de un MOPA semiconductor y

La Fig. 10 es un gráfico del espectro de frecuencia Doppler medido con la realización de la Fig. 6.

Las figuras son esquemáticas y están simplificadas por claridad y muestran meramente detalles que son esenciales para la comprensión de la invención, mientras que se han excluido otros detalles. En todas partes, los mismos números de referencia se usan para partes idénticas o correspondientes.

La presente invención se describirá ahora más plenamente en lo sucesivo con referencia a los dibujos anexos, en los que se muestran realizaciones ejemplares de la invención. La invención, no obstante, se puede encarnar en diferentes formas y no se debería interpretar como limitada a las realizaciones expuestas en la presente memoria. Más bien, estas realizaciones se proporcionan de manera que esta descripción será minuciosa y completa y transmitirá plenamente el concepto de la invención a los expertos en la técnica.

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente una realización preferida de la LIDAR coherente según la invención. Un láser semiconductor 1 emite un primer haz de luz coherente 4 de calidad de haz espacial y espectral alta. El láser semiconductor se bombea por la corriente suministrada por el electrodo 27.

La buena calidad espacial, es decir un perfil de haz gaussiano, se obtiene manteniendo las dimensiones transversales de la cavidad del láser semiconductor 1 pequeña, típicamente del orden de 1 a 5 micras. Si las dimensiones transversales de la cavidad aumentan, a fin de aumentar la potencia de salida del haz 4, el haz 4 llegará a ser eventualmente multimodo, por lo tanto de peor calidad espacial, una propiedad esencial para LIDAR coherentes. Si la corriente aplicada al electrodo 27 se aumenta continuamente el aumento resultante en intensidad en el láser 1 tenderá a destruir el láser. Por lo tanto un diodo láser monomodo transversal está limitado típicamente a

una potencia de salida de 200 mW. Para aumentar la potencia de salida aún más, se añade un amplificador de potencia cónico semiconductor 22. La corriente para este dispositivo se suministra a través del electrodo 26. Diseñando la estructura de ganancia cónica para ajustar el ángulo de divergencia del haz de salida 4, el haz de salida 4 se puede amplificar significativamente mientras que se mantiene sustancialmente la calidad del haz del láser 1. Típicamente, el haz de medición 14 es 1,3 – 2 veces un haz gaussiano limitado de difracción. Dado que las dimensiones transversales del amplificador se expanden según el haz del láser 4 se propaga a través del amplificador cónico, se puede mantener la intensidad de luz en un nivel seguro dado que la intensidad se mantiene baja. Mientras que las dimensiones transversales de la guía onda son constantes (1 a 5 micras), el amplificador cónico en la faceta de salida tiene una apertura de salida de 1 a 200 micras de amplitud. Después de la amplificación la potencia de salida del haz 4 del láser es del orden de 1 Watio, que es adecuada para aplicaciones LIDAR coherentes.

Incorporando además un elemento selectivo en frecuencia, 28a y 28b en la estructura de láser semiconductor del láser 1 de la realización ilustrada, el número de modos láser longitudinales oscilantes se puede reducir a solamente uno. Los elementos de frecuencia se pueden distribuir con rejillas, como se muestra en la Fig. 1, pero también por ejemplo etalones. La anchura de línea (espectro FWHM) del láser 1 se puede reducir por ello drásticamente desde aproximadamente 1.000 GHz a aproximadamente 100 kHz que corresponden a una longitud de coherencia del orden de 1 km. Esta longitud de coherencia es muy adecuada para aplicación LIDAR coherente. En la realización mostrada en la Fig. 1, las rejillas 28a y 28b también sirven como espejos para el láser 1. Diseñando la rejilla 28a adecuadamente también se puede generar un haz de referencia 23. Este haz 23 se dirige hacia un detector 11. Por lo tanto, en la realización ilustrada, el láser 1 también genera el haz de referencia 23.

En toda la presente descripción, la fuente de luz ilustrada es designada un MOPA semiconductor. El láser semiconductor 1 constituye el Oscilador Maestro (MO) y el amplificador semiconductor cónico 22 constituye el Amplificador de Potencia (PA). Tanto el láser 1 así como el amplificador cónico 22 se pueden montar en el mismo sustrato 21 para formar un conjunto de láser integrado. El conjunto de láser montado que incluye el sustrato de montaje es del orden de 4 x 6 x 8 mm. El conjunto de láser se puede producir usando tecnología de oblea semiconductor a gran escala.

El haz de medición 14 se enfoca al volumen de medición 15 usando la óptica de formación de imágenes 20. La óptica de formación de imágenes 20 podría ser un telescopio Galileo o Keplian. Cuando los objetivos (en movimiento) en el volumen de medición 15 se iluminan por el haz de medición 14, los objetivos irradian una pequeña cantidad de luz 24 hacia el detector LIDAR coherente 11. Si los objetivos son aerosoles, la luz retrorreflejada o dispersada es del orden de 1 pW cuando se ilumina por un haz de medición 14 de 1 W.

La luz retrorreflejada 24 está propagándose ahora a través de la óptica de formación de imágenes 20, el amplificador cónico 22 y el láser 1. Dado que el láser 1 es una guía onda que soporta solamente un modo espacial trasversal único el haz retrorreflejado se filtra ahora espacialmente. El haz filtrado espacialmente 25 se mezcla ahora con el haz de referencia 23 por el detector óptico 11 para formar una señal de medición. Señalar que el haz retrorreflejado también se amplifica durante el paso del amplificador 22 y el láser 1. La señal de medición contiene componentes espectrales que corresponden a la diferencia de frecuencia entre el haz de medición 14 y el haz retrorreflejado 24. La diferencia de frecuencia corresponde a una frecuencia Doppler de los objetos en movimiento en el volumen de medición 15 relativamente a la LIDAR coherente. Procesando la señal de medición usando un procesador de señal se puede calcular la velocidad correspondiente de los objetivos.

En la realización ilustrada, dos haces filtrados espacialmente 23 y 24 se mezclan en el detector. Por ello otros componentes espaciales de los haces generados por el conjunto de láser que no está limitado completamente por difracción se reduce o elimina mediante filtrado espacial de manera que la interferencia y el ruido indeseados en la señal del detector se reduce por lo cual se mejora la relación señal a ruido de la señal del detector.

La Fig. 2 ilustra esquemáticamente una realización de la invención con una fuente de luz de láser semiconductor que opera en una configuración autodina en donde la luz retrodispersada desde el objetivo en el volumen de medición 15 se transmite de vuelta en el láser semiconductor y por lo tanto perturba la salida de potencia del láser semiconductor que se puede monitorizar en el extremo trasero del láser. Por lo tanto, en la realización ilustrada, un láser semiconductor cónico 22 coopera con una cavidad externa formada entre un elemento óptico difractivo 29, tal como un elemento óptico holográfico 29, que está configurado para reflejar una pequeña parte de la luz 23 hacia el detector 11 para la monitorización de las perturbaciones mencionadas anteriormente y reflejar la parte restante 33 de la luz de vuelta hacia el otro reflector de la cavidad externa constituida por la faceta de salida recubierta 32 del láser cónico 22. Debido a su estructura cónica, el láser semiconductor cónico 22 proporciona una potencia de salida alta en su faceta de salida de área grande, por ejemplo que tiene una anchura de aprox. 250  $\mu\text{m}$ , con una alta calidad de haz desde la arista de guía onda en el extremo estrecho 31, por ejemplo que tiene una anchura de aprox. 3  $\mu\text{m}$ , del láser cónico 22 que forma un filtro espacial monomodo. La lente 30 colima la luz 33. El procesador de señal se adapta para extraer la frecuencia Doppler desde la señal de monitorización 23.

La FIG. 3 ilustra esquemáticamente una realización de la invención que incluye un láser semiconductor monomodo 1. La salida óptica del láser 1 está colimada por el sistema de lente 34. La salida óptica colimada resultante 4 se polariza p y se transmite parcialmente a través del divisor de haz 5. El divisor de haz 5 tiene una ventana que está

recubierta para transmitir luz polarizada p desde el láser semiconductor 1 y para reflejar luz polarizada s para formar el haz de referencia 9 y por lo tanto, el divisor de haz 5 también funciona como el generador de haz de referencia. Una placa óptica birrefringente de cuarto de onda (no mostrada) está colocada después del divisor de haz 5 para conversión de la luz polarizada p transmitida en luz polarizada circular para formar el haz de medición 14. El telescopio 20 enfoca el haz de medición 14 en el volumen de medición 15 con el objetivo en el presente ejemplo constituido por partículas suspendidas en el aire. La luz polarizada circular de retrodispersión de partículas que se recibe por el mismo telescopio 20 también se usa en la parte transmisora y se transmite de vuelta hacia la placa de cuarto de onda que convierte la luz polarizada circular en luz polarizada s para reflexión por la ventana de Brewster hacia el detector 11. Otra placa de cuarto de onda (no mostrada) convierte la luz polarizada s reflejada desde el divisor de haz 5 en luz polarizada circular y un reflector 8 refleja el haz de referencia 9 de vuelta a través de la placa de cuarto de onda que convierte la luz polarizada circular en luz polarizada s para transmisión a través del divisor de haz hacia el detector 11. El detector 11 mezcla el haz de referencia 9 con la luz retrodispersada desde las partículas y el procesador de señal 16 extrae la diferencia de frecuencia, es decir la frecuencia Doppler y convierte la diferencia de frecuencia en el componente de velocidad de partículas en la dirección del haz de medición que se supone que es idéntico al componente de la velocidad del viento en la dirección del haz de medición.

Los beneficios de este sistema son muchos, por ejemplo solamente es necesario un único láser semiconductor para generar la potencia óptica suficiente necesaria para detectar una señal Doppler. La combinación del divisor de haz de polarización 5 y las placas de cuarto de onda (no mostradas) también actúa como un combinador de haz para dirigir el haz de referencia 9 y el haz de señal recibida hacia el detector 11.

La FIG. 4 ilustra esquemáticamente otra realización de la invención similar a la realización de la Fig. 3 excepto que la realización de la Fig. 4 también tiene un orificio 35. El láser semiconductor 1 no produce un modo TEM00 gaussiano puro en su salida óptica. En el sistema de mezcla homodina utilizado en la realización ilustrada, solamente la parte gaussiana de los haces contribuye a la detección de la señal Doppler. Un filtrado espacial de la salida óptica láser es útil por lo tanto. Normalmente, el filtrado espacial de la salida óptica del láser se puede realizar enfocando la luz en una fibra óptica o usando una lente y un orificio como un filtro espacial. En la realización ilustrada, el filtrado espacial del haz de medición transmitido se realiza inherentemente por el telescopio 20. En la región del foco del telescopio de enfoque 20, el telescopio trabajará como una unidad de transformación de Fourier óptica que solamente forma un volumen de medición enfocado por la parte gaussiana de la salida del láser. Las frecuencias no gaussianas espaciales más altas se localizan fuera de este volumen de medición central y no contribuyen a la señal óptica recibida por el telescopio. El haz de referencia 9 obtenido directamente desde la salida óptica del láser se filtra espacialmente empleando una combinación coincidente de la longitud focal de una lente de enfoque 10 (no mostrada) y el tamaño del orificio 35. La lente 10 actúa como una lente de transformación de Fourier espacial cuando el orificio 35 se coloca en el plano focal de la lente. Mediante la selección del área del orificio 35 para que sea igual al tamaño de la parte gaussiana central de la transformada de Fourier del haz de referencia 9, solamente esta parte del haz 9 interferirá con el haz de señal y contribuirá a la señal Doppler detectada. Las frecuencias espaciales más altas caerán fuera del orificio 35 y no se detectarán y no perturbarán el proceso de detección.

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente una realización de la invención similar a la realización de la Fig. 3 o Fig. 4 excepto que la realización de la Fig. 5 también tiene una salida de control 36 desde el procesador 16 para controlar los parámetros de control del conjunto de láser semiconductor, tales como la corriente de suministro, temperatura, etc., o cualquier combinación de parámetros de control, durante la operación del sistema LIDAR, por ejemplo en respuesta a la señal del detector. Por ejemplo, cuando el conjunto de láser no está operando en un estado de frecuencia única, la longitud de coherencia cambiará drásticamente. Como resultado la señal Doppler LIDAR desaparecerá. Sintonizando por ejemplo la temperatura o corriente del conjunto de láser 1, la operación de frecuencia única se puede restablecer y también optimizar maximizando la señal Doppler medida. Se debería señalar que la longitud de coherencia del láser es muy sensible incluso a pequeños cambios en los ajustes.

La FIG. 6 ilustra esquemáticamente una realización de la invención que incluye un láser semiconductor monomodo 1. La salida óptica del láser 1 está colimada en ambas direcciones por la lente 2 y la lente cilíndrica 3. La salida óptica colimada resultante 4 está polarizada TM linealmente y se transmite completamente a través del divisor de haz de polarización 5. La placa de cuarto de onda 6 convierte la salida óptica transmitida en un estado de polarización circular. La placa de cuarto de onda 6 está ligeramente inclinada para evitar a las retrorreflexiones alcanzar el láser. La superficie 7 de la ventana de referencia parcialmente reflectante 8 está recubierta para retrorreflejar un cierto porcentaje de la salida óptica del láser. El haz retrorreflejado se transmite de vuelta a través de la placa de cuarto de onda 6 donde llega a ser polarizada TE linealmente. Este haz polarizado TE se refleja completamente por la superficie del divisor de haz de polarización 5 y forma el haz de referencia 9. El haz de referencia 9 está enfocado por la lente 10 sobre el deflector 11. El porcentaje principal de la salida óptica del láser se transmite como luz polarizada circular a través de la ventana de referencia 8 y se expande y enfoca por las lentes de telescopio 12 y 13. El haz de medición transmitido 14 se enfoca sobre el volumen de medición 15 (no mostrado). La distancia del foco del telescopio fija la distancia de medición para el sistema. Las partículas o aerosoles en el volumen de medición 15 tienen un componente de velocidad dirigido a lo largo del trayecto de propagación del haz de medición transmitido 14. El haz de señal desplazado Doppler y retrodispersado desde el volumen de medición se recibe por el mismo telescopio (las lentes 13 y 12) también usado en la parte transmisora y transmitido de vuelta a través de la ventana de referencia 8 y además a través de la placa de cuarto de onda 6 que a su vez cambia el

estado de polarización del haz de señal óptica para llegar a ser polarizado TE. El divisor de haz de polarización entonces refleja completamente el haz de señal óptica recibido para alinearse con precisión con y siguiendo el haz de referencia 9 a través de la lente de enfoque 10 que enfoca ambos haces sobre un detector 11. La superficie del detector está ligeramente inclinada para evitar que cualquier retrorreflexión se propague de vuelta en el trayecto óptico del sistema. La señal óptica recibida y el haz de referencia forman una señal de interferencia óptica que evoluciona con el tiempo en la superficie del detector que, junto con el proceso de detección en el detector, forma una detección homodina de la frecuencia Doppler de la señal recibida. Los medios de detección convierten la señal óptica en una señal Doppler eléctrica. La señal Doppler eléctrica del detector 11 se amplifica aún más y analiza por Fourier por el procesador de señal 16.

- 10 Los beneficios de este sistema son muchos: Solamente es necesario un único láser semiconductor para generar la potencia óptica suficiente necesaria para detectar una señal Doppler.

La combinación del divisor de haz de polarización 5 y la placa de cuarto de onda 6 actúa como director de haz para dirigir toda la potencia óptica desde el haz de referencia 9 y el haz de señal recibido hacia el detector 11. También, la misma combinación del divisor de haz de polarización 5 y la placa de cuarto de onda 6 actúa como un aislante óptico que evita a cualquier potencia óptica de retorno propagarse hacia el láser 1. El láser semiconductor 1 no produce un modo TEM<sub>00</sub> gaussiano puro en su salida óptica. En el sistema de mezcla homodino presentado aquí, solamente la parte gaussiana de los haces contribuirá a la detección de la señal Doppler. Se necesita por lo tanto un filtrado espacial de la salida óptica del láser. Normalmente, el filtrado espacial de la salida óptica del láser se puede realizar enfocando la luz en una fibra óptica o usando una lente y un orificio como un filtro espacial. No obstante, el filtrado espacial de la salida óptica del láser se construye inherentemente en el diseño de la siguiente manera: Cuando se mira al haz de medición transmitido en la región de enfoque del telescopio de enfoque (las lentes 12 y 13), el telescopio trabajará como una unidad de transformación de Fourier óptica que solamente forma un volumen de medición enfocado por la parte gaussiana de la salida del láser. Las frecuencias no gaussianas espaciales más altas se localizan fuera de este volumen de medición central y después no contribuirán a la señal óptica recibida por el telescopio. El haz de referencia 9 obtenido directamente desde la salida óptica del láser se filtra espacialmente empleando una combinación coincidente de la longitud focal de la lente de enfoque 10 y el tamaño del área del detector 11. La lente 10 actúa como una lente de transformación de Fourier espacial cuando el área del detector 11 se coloca en el plano focal de la lente. Mediante la selección del área del detector para ser igual al tamaño de la parte gaussiana central de la transformada de Fourier del haz de referencia, solamente esta parte del haz interferirá con el haz de señal y contribuirá a la señal Doppler detectada. Las frecuencias espaciales más altas caerán fuera del área del detector y no se detectarán y no perturbarán el proceso de detección.

La FIG. 7 ilustra esquemáticamente otra realización del sistema LIDAR según la presente invención. El principio es el mismo que para la FIG. 6 con la excepción de que el haz de referencia se proporciona mediante la sustitución de la ventana de referencia con una cuña 8 donde la primera superficie 7 de la cuña está recubierta para retrorreflejar un cierto porcentaje de la salida óptica del láser para formar el haz de referencia 9. El beneficio de este sistema es la elusión de tener retrorreflexiones desde la segunda superficie de la ventana de referencia. La potencia real del haz de referencia óptico se puede controlar por ello con precisión.

La FIG. 8 ilustra esquemáticamente aún otra realización del sistema LIDAR según la presente invención. El principio es el mismo que para la FIG. 6 excepto por el hecho de que el haz de referencia se proporciona por una superficie plana 7 en la primera lente en el telescopio que está recubierta para retrorreflejar un cierto porcentaje de la salida óptica del láser para formar el haz de referencia 9. El beneficio de este sistema es una simplificación debida a un pequeño número de componentes ópticos. No obstante el inconveniente de este sistema es que, a menos que se pueda mover la lente grande del telescopio 12, el telescopio estará fijado a una distancia de medición alineada previamente.

- 45 La Fig. 9 es un gráfico del espectro de potencia de un MOPA semiconductor usado en una realización de la presente invención. Tiene una FWHM de 100 kHz que corresponde a una longitud de coherencia de aprox. 900 metros.

La Fig. 10 es un gráfico del espectro de frecuencia Doppler medido con la realización de la Fig. 6. La frecuencia Doppler se convierte a velocidad del viento que se dibuja a lo largo del eje x y la potencia de señal se dibuja a lo largo del eje y. El haz de medición se enfocó a una distancia de 40 metros en un día con velocidad de viento baja.

- 50 Cada una de las realizaciones descritas se puede modificar para incluir una primera fibra óptica para transmisión del haz de medición desde la fuente de luz al telescopio y una segunda fibra óptica para transmisión de la luz emitida desde el objetivo en el volumen de medición al detector por lo cual la ubicación del telescopio puede estar físicamente remota de la fuente de luz y el detector y otros componentes del sistema LIDAR. La primera y segunda fibras ópticas se pueden combinar en una fibra óptica. Además, los componentes ópticos ilustrados se pueden sustituir por componentes de fibra óptica correspondientes. Por ejemplo, los divisores de haz 5 en las Fig. 3 – 8 se pueden sustituir por un acoplador de fibra óptica.



## REIVINDICACIONES

1. Un sistema LIDAR coherente monoestático que comprende:
  - un conjunto de láser semiconductor integrado configurado para emisión de un haz de medición de radiación electromagnética dirigido hacia un volumen de medición para iluminación de partículas en el volumen de medición,
- 5
  - un generador de haz de referencia para generación de un haz de referencia,
  - un detector para generación de una señal de detector mediante la mezcla del haz de referencia con la luz emitida desde las partículas en el volumen de medición iluminado por el haz de medición y
  - un procesador de señal para generar una señal de velocidad que corresponde a la velocidad de las partículas en base a la señal del detector
- 10 en donde el conjunto de láser semiconductor integrado es un amplificador de potencia de oscilador maestro (MOPA) que tiene un láser semiconductor y un amplificador semiconductor cónico integrados en el mismo sustrato o el conjunto de láser semiconductor integrado es un láser semiconductor cónico.
2. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 1, en donde el procesador de señal está configurado además para determinación de la velocidad del viento.
- 15 3. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 1 o 2, en donde el procesador de señal está configurado además para determinación de turbulencias en el volumen de medición.
4. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el procesador de señal está configurado además para determinación de la temperatura en el volumen de medición.
- 20 5. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el procesador de señal está configurado para generar una señal de concentración que corresponde a la concentración de las partículas en el volumen de medición en base a la señal del detector.
6. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el procesador de señal está configurado para determinación de la concentración de partículas en el volumen de medición.
- 25 7. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende una fibra óptica para transmisión del haz de medición entre el conjunto de láser semiconductor integrado y una salida óptica del sistema LIDAR.
8. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el generador de haz de referencia es un divisor de haz para dividir el haz emitido por el conjunto de láser semiconductor integrado en el haz de referencia y el haz de medición dirigido hacia el volumen de medición.
- 30 9. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en donde el generador de haz de referencia es el conjunto de láser semiconductor integrado que está configurado para emitir el haz de referencia y el haz de medición.
10. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende un filtro espacial para filtrar el haz de referencia reduciendo por ello los componentes espaciales no gaussianos del haz de referencia.
- 35 11. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 10, que además comprende una lente de Fourier colocada en el trayecto de propagación del haz de referencia y en donde el filtro espacial está colocado en el plano de Fourier de la lente de Fourier para reducción de los componentes espaciales no gaussianos del haz de referencia.
- 40 12. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 10 u 11, en donde el filtro espacial comprende una apertura, el tamaño de la cual se hace coincidir con el tamaño del detector.
13. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende un combinador de haz para combinar el haz de referencia con la luz emitida desde el objetivo.
- 45 14. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 13, en donde el haz de medición está polarizado p y el divisor de haz y el combinador de haz es una unidad que comprende
  - una ventana de Brewster que está recubierta para transmitir luz polarizada p a partir del conjunto de láser semiconductor integrado y para reflejar la luz polarizada s,
  - una placa óptica birrefringente de cuarto de onda para conversión de la luz polarizada p en luz polarizada circular

para formar el haz de medición y conversión de luz polarizada circular a partir de las partículas en luz polarizada s para reflexión por la ventana de Brewster,

en donde el divisor de haz comprende un reflector para reflexión de una parte del haz de medición para formar el haz de referencia y para dirección del haz de referencia de vuelta a través de la placa de cuarto de onda para reflexión hacia el detector.

15. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el conjunto de láser semiconductor integrado se opera en respuesta a una señal desde el detector para optimización de la salida del láser.

16. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un dispositivo de limpieza de haz con una fibra monomodo que forma el haz de medición.

17. Un sistema LIDAR coherente monoestático según la reivindicación 20, en donde el dispositivo de limpieza de haz comprende una lente de enfoque, un orificio y una lente de colimación.

18. Un sistema LIDAR coherente monoestático según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un elemento de desplazamiento de frecuencia para el desplazamiento de frecuencia del haz de medición o el haz de referencia.

19. Una turbina eólica que comprende un sistema LIDAR coherente según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

20. Un barco de vela que comprende un sistema LIDAR coherente según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 19.

21. Un método para la determinación de la velocidad de partículas basada en luz dispersada por partículas, que comprende los pasos de

- emitir un haz de medición de radiación electromagnética y transmitir el haz a través de una óptica de formación de imágenes hacia un volumen de medición para iluminación de partículas en el volumen de medición,

- generar un haz de referencia,

- mezclar el haz de referencia con luz retrodispersada emitida desde las partículas en el volumen de medición iluminado por el haz de medición para generación de una señal de velocidad que corresponde a la velocidad de las partículas, la luz retrodispersada recibida a través de la misma óptica de formación de imágenes que transmiten el haz de medición,

en donde el paso de emisión de un haz de medición comprende una provisión de un conjunto de láser semiconductor integrado que comprende un amplificador o láser semiconductor cónico o un láser semiconductor y un amplificador semiconductor cónico integrado en el mismo sustrato para la emisión del haz de medición.

22. Un método según la reivindicación 21, en donde el paso de generar un haz de referencia, comprende el paso de dividir el haz emitido por el láser semiconductor en el haz de referencia y el haz de medición dirigido hacia el volumen de medición.

23. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-22, que además comprende el paso de mezclar el haz de referencia con luz emitida a partir de las partículas en el volumen de medición iluminadas por el haz de medición para generación de una señal de temperatura que corresponde a la temperatura en el volumen de medición.

24. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-23, que además comprende el paso de mezclar el haz de referencia con luz emitida a partir de las partículas en el volumen de medición iluminadas por el haz de medición para generación de una señal de concentración que corresponde a la concentración de las partículas en el volumen de medición.

25. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-24, que además comprende el paso de filtrar espacialmente el haz de referencia reduciendo por ello los componentes espaciales no gaussianos del haz de referencia.

26. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-25, que además comprende el paso de realizar una limpieza del haz mediante la provisión de una fibra monomodo que forma el haz de medición.

27. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-26, que además comprende el paso de ajustar el paso de las palas de una turbina eólica en respuesta a la señal de velocidad determinada.

28. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 21-27, que además comprende el paso de equilibrar un barco de vela en respuesta a la señal de velocidad determinada.

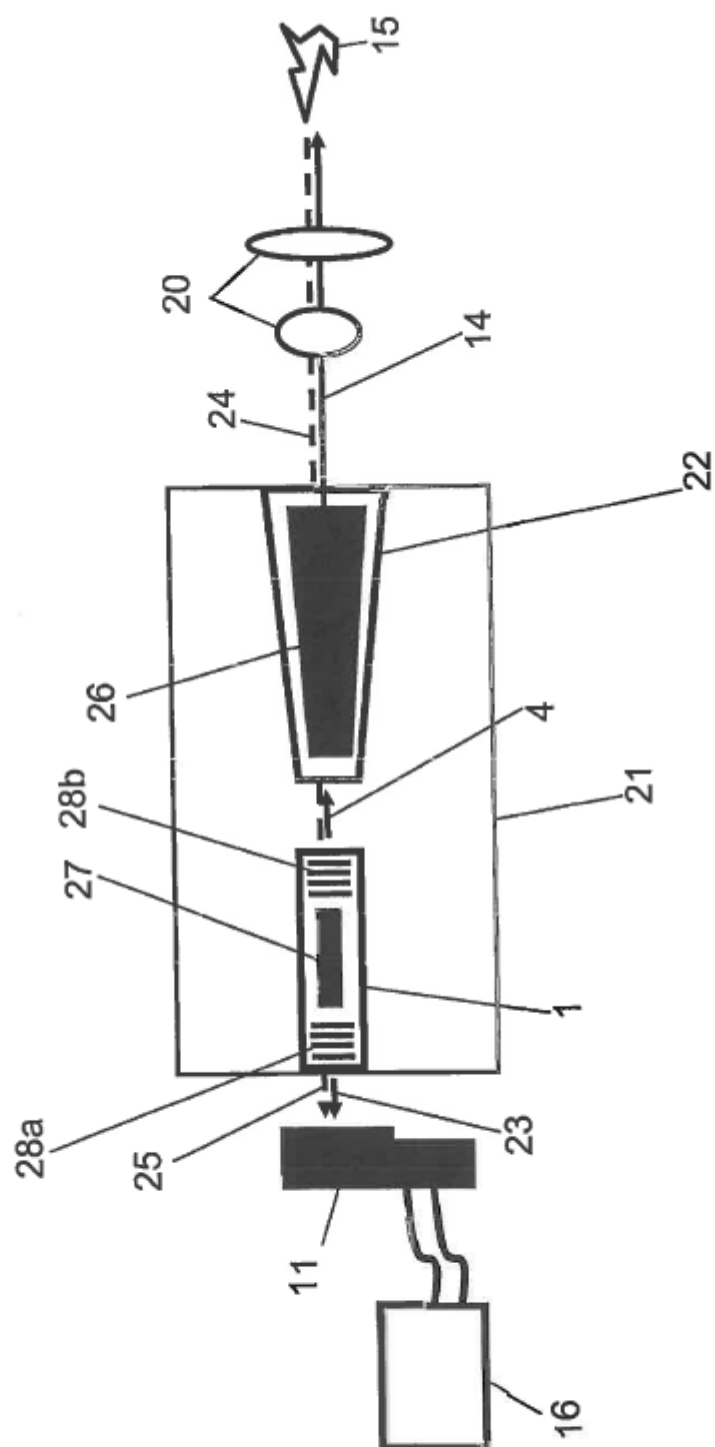
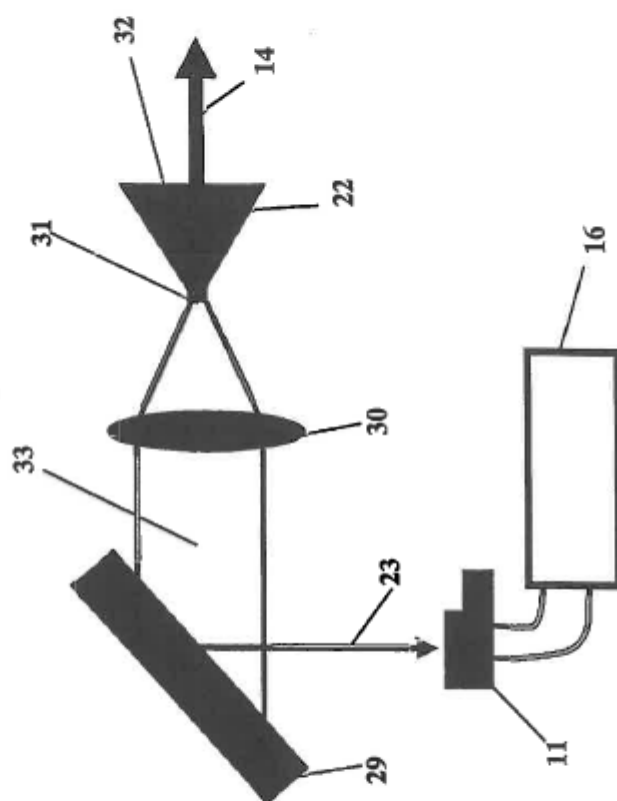


Fig. 1



**Fig. 2**

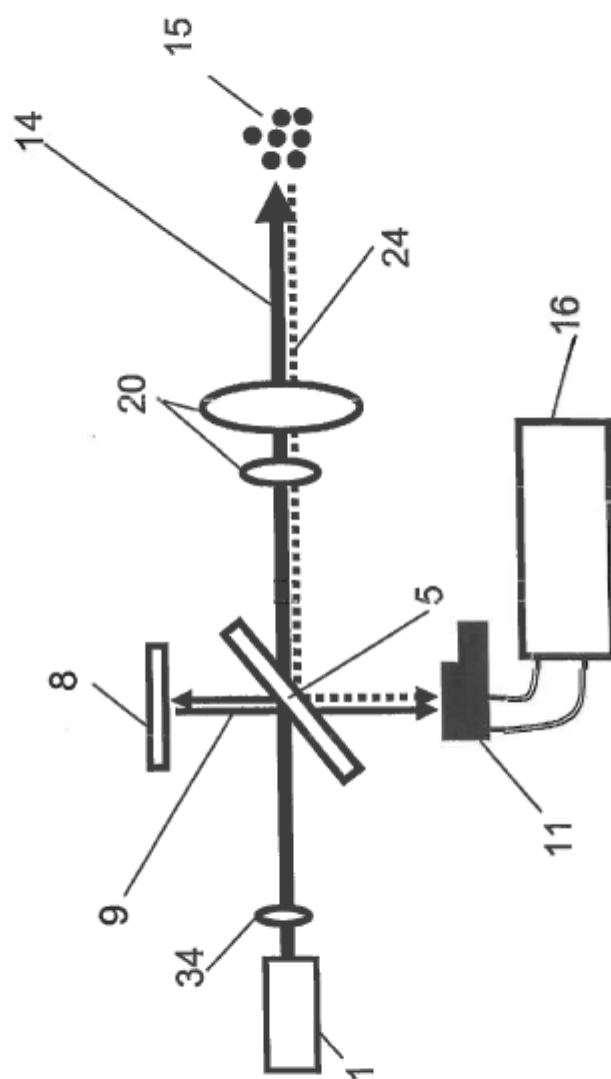
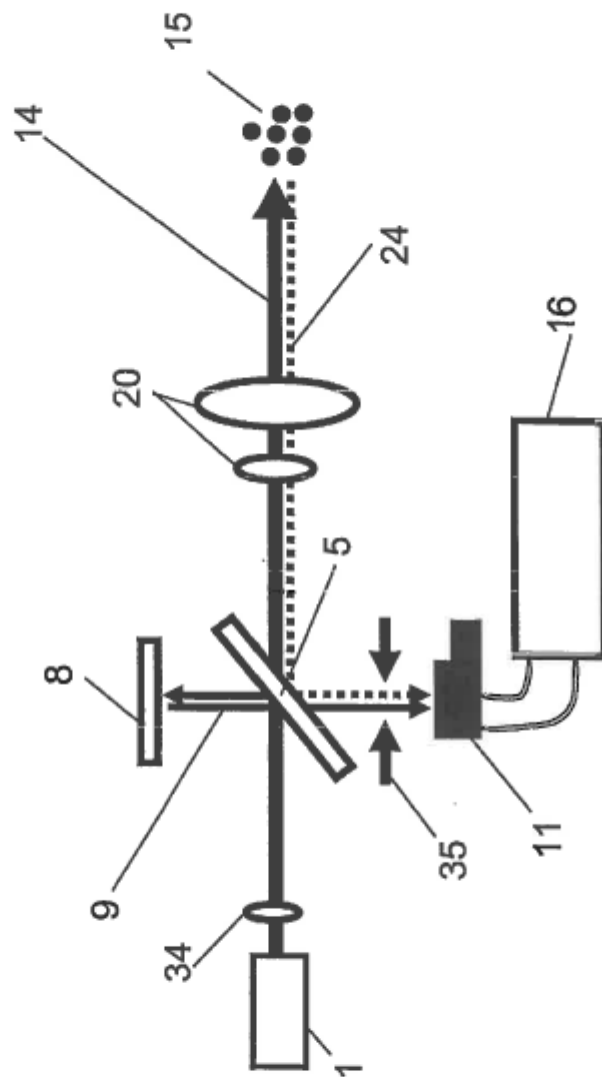


Fig. 3



**Fig. 4**

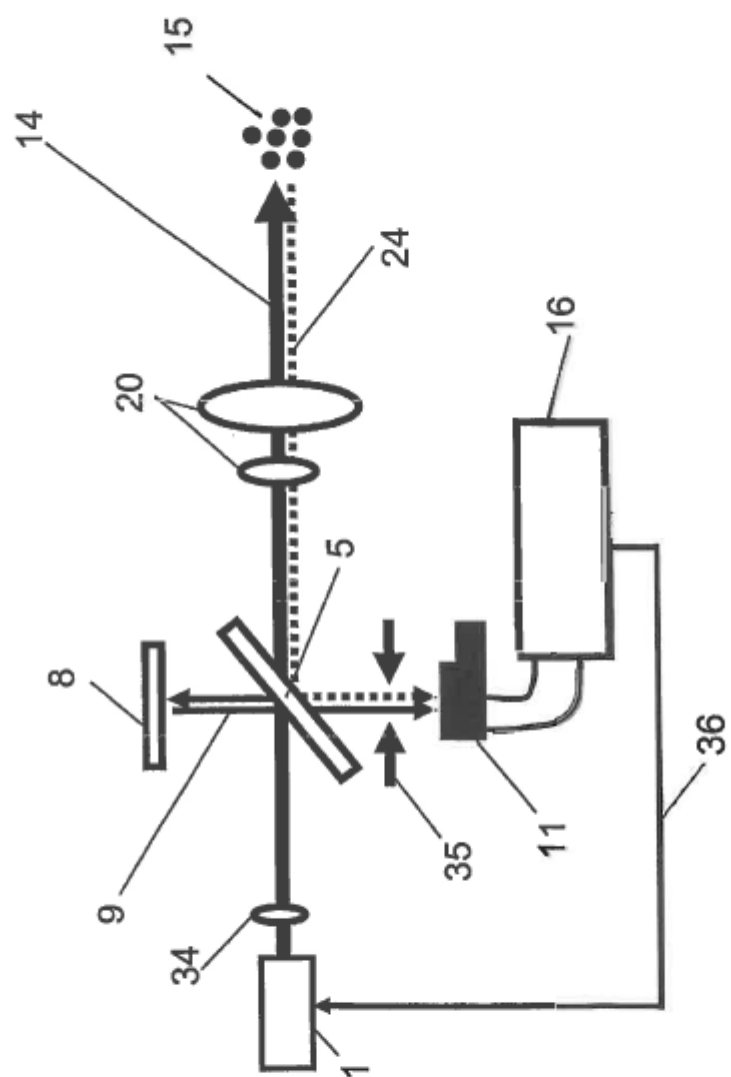


Fig. 5

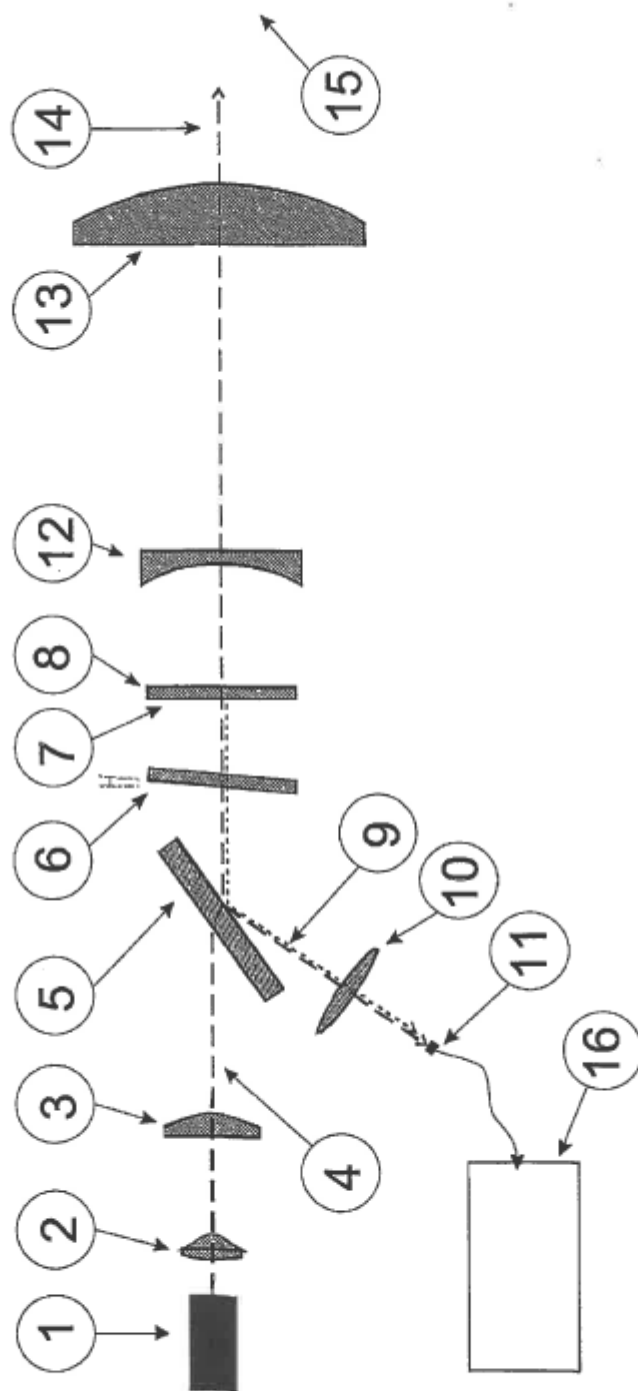
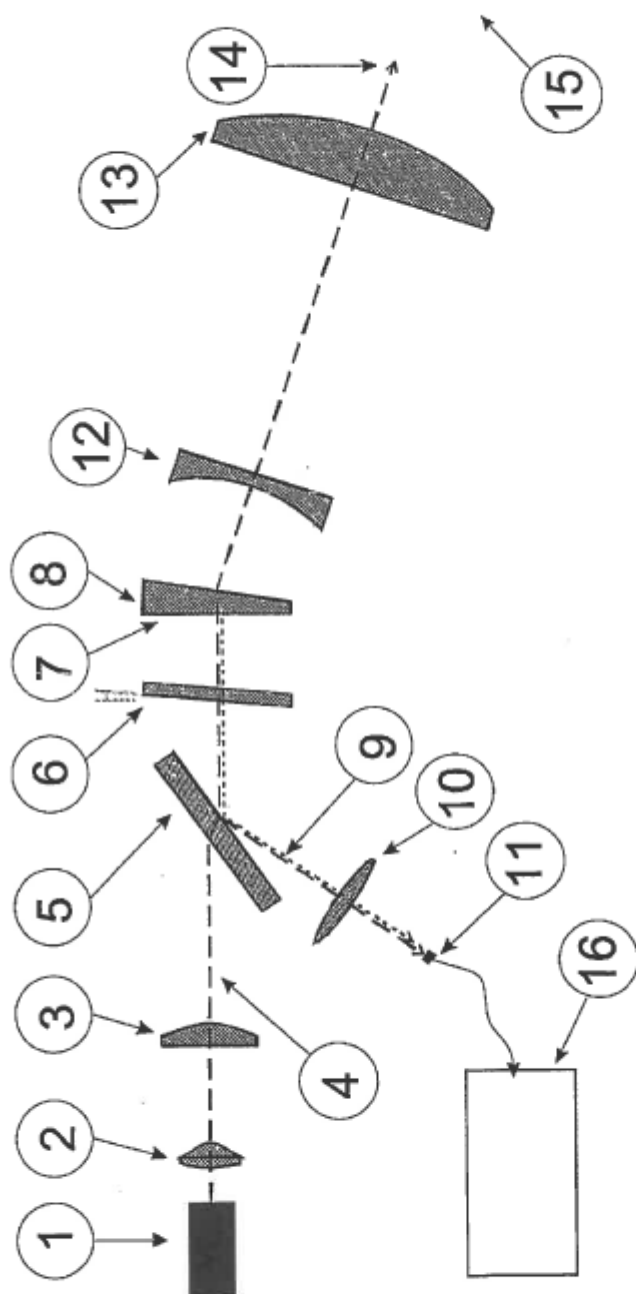
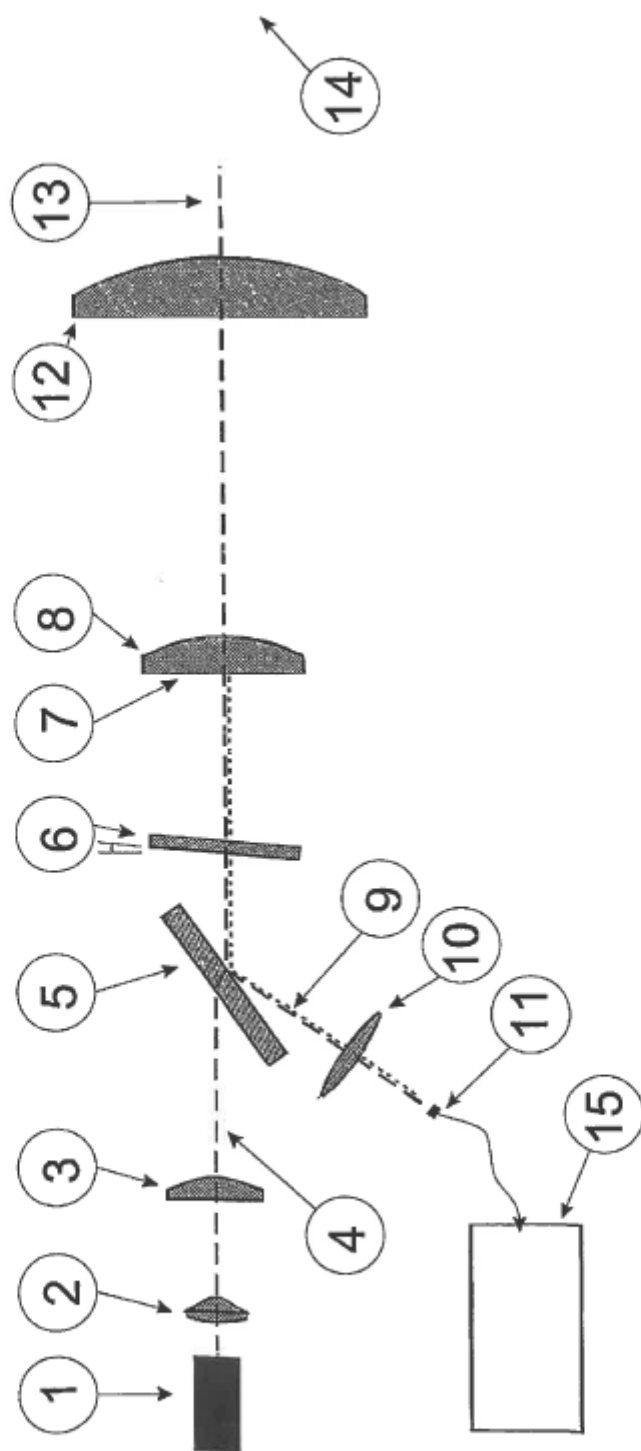


Fig. 6





**Fig. 7**



**Fig. 8**

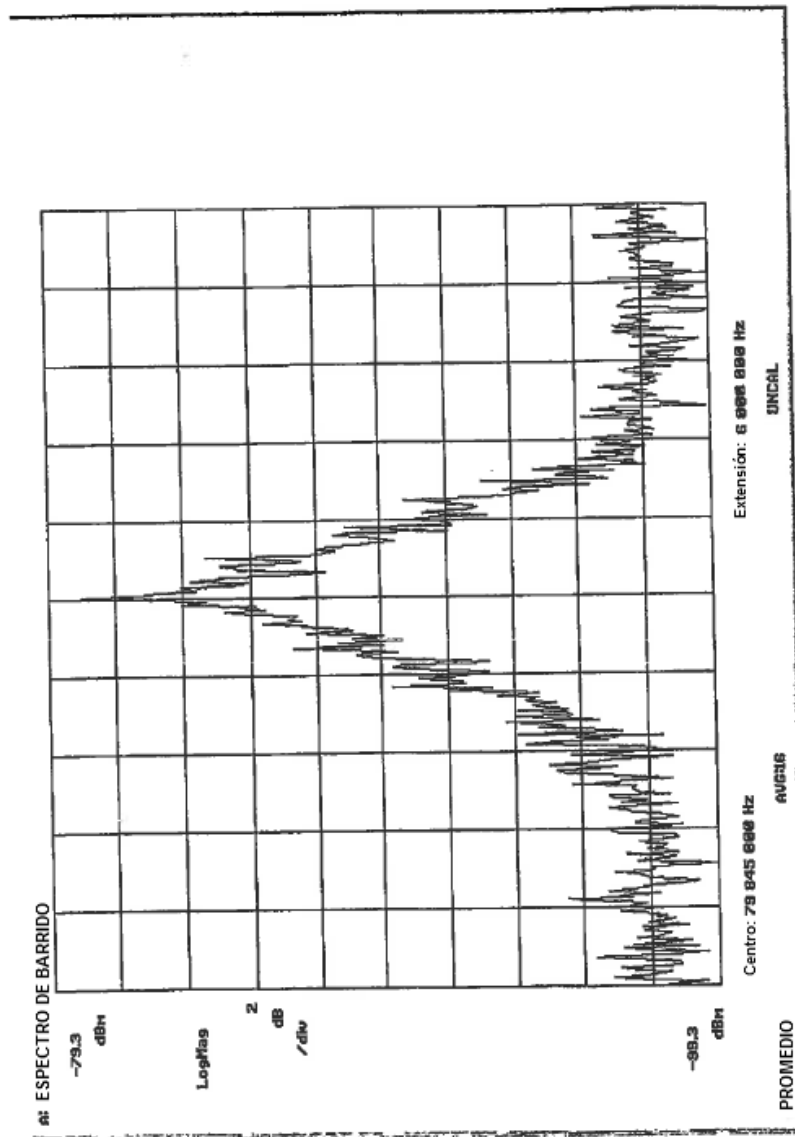


Fig. 9

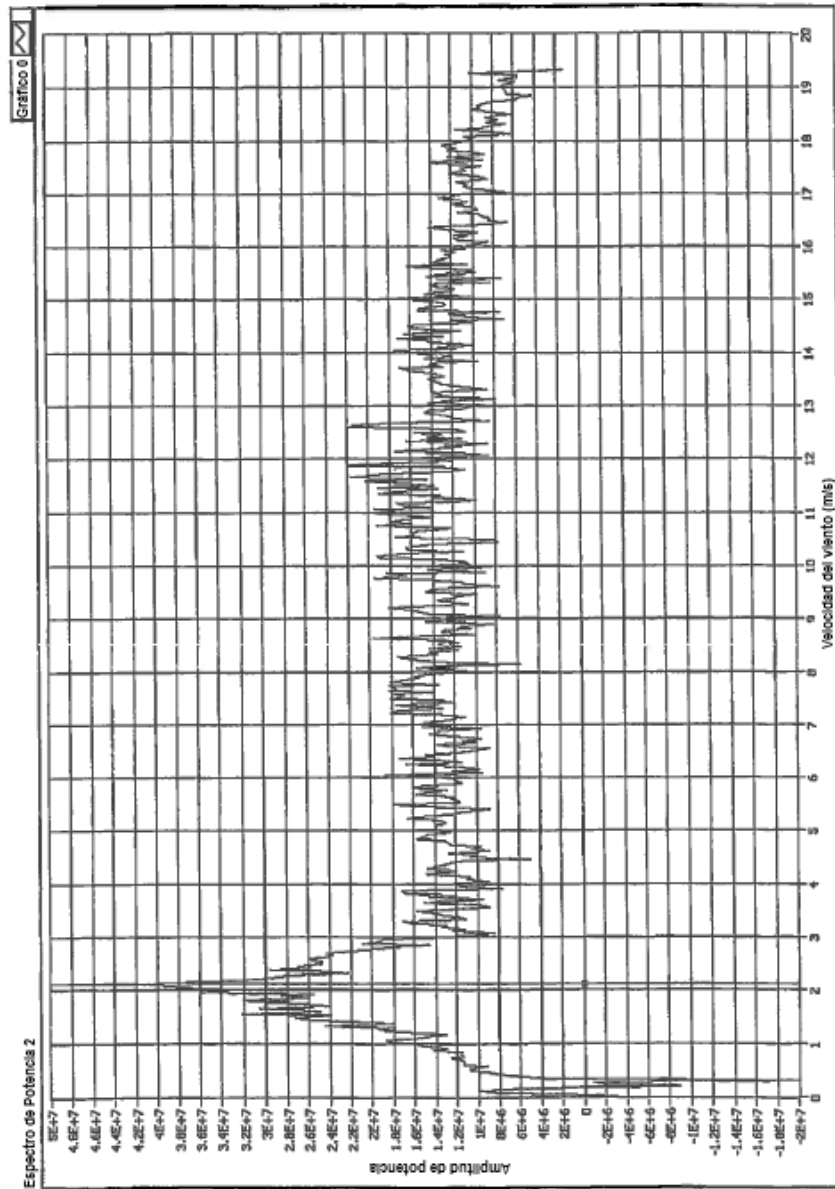


Fig. 10