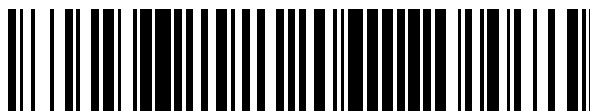


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 187**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)  
**G01S 17/95** (2006.01)  
**G01S 17/58** (2006.01)  
**G01S 17/88** (2006.01)  
**G01P 13/02** (2006.01)  
**G01S 7/481** (2006.01)  
**G01N 21/53** (2006.01)  
**G01S 17/87** (2006.01)  
**G01P 5/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2009 E 09160572 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2013 EP 2133712**

54 Título: **Sistema de datos aéreos y métodos ópticos**

30 Prioridad:

**12.06.2008 US 138163**

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

**02.12.2013**

73 Titular/es:

**OPHIR CORPORATION (100.0%)  
10184 WEST BELLEVIEW AVENUE, SUITE 200  
LITTLETON, CO 80127, US**

72 Inventor/es:

**CALDWELL, DR. LOREN M.;  
TANG, DR. SHOOU-YU;  
ACOTT, DR. PHILLIP E.;  
SPAETH, LISA G. y  
O'BRIEN, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR BARANDIARAN, Miguel Ángel**

ES 2 432 187 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

## ANTECEDENTES

5 [0001] Un Sistema de Datos del Aire ("ADS", por sus siglas en inglés) proporciona telemetría detectada que informa a pilotos, navegantes u ordenadores del Sistema de Gestión de Vehículo de parámetro(s) del aire que afectan a la estabilidad del avión. Estos parámetros del aire incluyen, por ejemplo, velocidad, temperatura y presión del aire, los cuales son útiles para la navegación y el control de vuelo. El ADS existe en muchas formas, por ejemplo, como dispositivo mecánico, optomecánico u optoelectrónico.

10 [0002] Un Sistema Óptico de Datos del Aire ("OADS", por sus siglas en inglés) usa luz para determinar parámetros de velocidad del aire. El OADS transmite impulsos de luz a la atmósfera y recibe la luz que los aerosoles reflejan o "retrodispersan" hacia el avión. Los aerosoles son finas partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en el aire u otros gases. El OADS puede también medir el desplazamiento Doppler recibiendo luz retrodispersada y midiendo su frecuencia de retorno para determinar la velocidad. Ciertos OADS de la técnica actual dependen de luz dispersada que es imprevisible debido a las distribuciones de aerosol que varían significativamente con la altitud y el contenido de la nube. Además, algunas regiones de la atmósfera contienen muy pocos aerosoles para permitir mediciones de datos del aire fiables, y OADS de ese tipo no pueden determinar la temperatura o la presión del aire.

15 [0003] Las mediciones de datos del aire con base en tierra pueden también ser de interés en otras aplicaciones como mediciones de viento para la observación y predicción meteorológica y alertas de tráfico.

20 [0004] Las condiciones de viento cerca de los aeropuertos y en rutas de aproximación a los aeropuertos pueden ser de gran interés para los pilotos. En particular, la medición y detección mejoradas de las condiciones de microrráfagas, corrientes descendentes, corrientes ascendentes y cizalladura de viento ha sido de interés ya que una microrráfaga fue la culpable del accidente de un Lockheed L-1011 que intentaba aterrizar en Dallas en 1985. Los aviones son particularmente sensibles a dichas condiciones de viento durante las fases de vuelo críticas de despegue y aterrizaje; es conveniente equipar los aeropuertos con dispositivos para detectar dichas condiciones para que pueda evitarse la destrucción de aviones y la muerte de tripulación y pasajeros.

25 [0005] Las condiciones de viento son a menudo medidas en más de un punto de un aeropuerto en un intento de detectar condiciones de viento potencialmente perjudiciales. Como la cizalladura de viento se caracteriza por una diferencia en las velocidades y direcciones del viento con la altitud, es también conveniente medir las condiciones de viento a varias altitudes y no sólo cerca de la superficie.

30 [0006] La fiscalidad y otros incentivos decretados por los Estados Unidos y varios estados han incrementado el interés por obtener energía eléctrica de fuentes de energía renovables, incluyendo sistemas de energía eólica. Las mediciones detalladas de la velocidad del viento, la temperatura y turbulencia del aire e información similar en la superficie y a altitudes a unos pocos cientos de metros de la superficie tienen utilidad para evaluar las ubicaciones de sistemas de energía eólica. Además, las mediciones en tiempo real de las condiciones, turbulencia y temperatura del viento en la superficie y en altura pueden tener utilidad en el control de sistemas de energía eólica y en la predicción de corrientes de ascenso y microrráfagas para ayudar a proteger dichos sistemas de condiciones adversas.

35 [0007] Un método de teledetección aérea se conoce a partir de US 2007/0075546.

## Resumen

40 [0008] La presente invención proporciona un método para la teledetección aérea acorde a la reivindicación 1, y un sistema correspondiente acorde a la reivindicación 10.

45 [0009] Un método para detectar aire incluye usar al menos uno, y a veces tres, transceptores para proyectar energía láser como radiación láser al aire. Cuando se usan tres transceptores, éstos están alineados a lo largo de varios ejes diferentes; cuando se usa un transceptor la radiación proyectada puede ser escaneada. Cada transceptor recibe energía láser cuando es retrodispersada desde el aire. Un ordenador procesa las señales del uno o más transceptores para distinguir la radiación láser molecular dispersada de la radiación láser dispersada del aerosol y determina las temperaturas del aire y las velocidades y las direcciones del viento basándose en la radiación láser dispersada. Se presentan aplicaciones del método para la evaluación del emplazamiento de la planta de energía eólica, el control de turbina de viento, la observación meteorológica, la detección de datos del aire del avión y la seguridad aeroportuaria. En algunas realizaciones se escanea la energía láser para cubrir una región de interés.

50 [0010] Un sistema para la detección óptica de datos del aire tiene un láser sintonizable para generar radiación láser y un divisor de haz de luz para dividir la radiación láser en una componente proyectada y una componente de control. Un detector de la componente de control recibe al menos una porción de la componente de control a través de un filtro trampa óptico y genera una señal de control electrónica. La componente proyectada es emitida al aire y una porción de la radiación dispersada es recibida como radiación retrodispersada, una porción de la cual es recibida en un detector de radiación retrodispersada a través de un filtro trampa óptico para generar una señal de

retrodispersión a partir del mismo. Se barre la longitud de onda del láser sintonizable y la señal de control y la señal de retrodispersión se comparan para determinar el desplazamiento Doppler, que se usa para determinar la velocidad del viento. En una realización, un generador de secuencia pseudoaleatoria modula la radiación láser y la señal de retrodispersión electrónica se correlaciona con la secuencia aleatoria para determinar el desplazamiento Doppler a varias distancias desde el sistema.

5

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

### [0011]

La FIG. 1 muestra un Sistema Óptico de Datos del Aire ("OADS", por sus siglas en inglés), acorde a una realización.

La FIG. 2 muestra un OADS, acorde a una realización.

10 La FIG. 3 ilustra un ejemplo de cálculo de velocidad del aire con un OADS, acorde a una realización.

Las FIG. 4-7 muestran gráficos que ilustran ejemplos de cálculo para otros parámetros del aire con un OADS, acorde a una realización.

La FIG. 8 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de método de operación de un OADS, acorde a una realización.

15 La FIG. 9 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de método de operación de un OADS, acorde a una realización.

La Fig. 10 es un diagrama de bloques de una realización del OADS usando la técnica de Onda Continua Modulada Aleatoria para resolución de distancia.

20 La FIG. 11 ilustra unas condiciones de viento que pueden ocasionar riesgo para aviones cerca de aeropuertos o para sistemas de energía eólica.

La FIG. 12 ilustra la aplicación a un sistema de energía eólica.

La FIG. 13 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema de datos del aire adecuado para aplicaciones en tierra.

La FIG. 14 ilustra una realización alternativa del sistema de datos del aire en tierra.

25 La Fig. 15 ilustra una realización de escaneo del sistema de datos del aire en tierra para elaborar un mapa de la velocidad del viento y la temperatura alrededor de un emplazamiento.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

[0012] La FIG. 1 muestra un Sistema Óptico de Datos del Aire ("OADS", por sus siglas en inglés) 101 montado en o dentro de un avión 102. En esta realización, el OADS 101 está configurado para proyectar radiación láser 103 al aire 104. La radiación láser 103 incide en el aire 104 y las partículas de aerosol 105 (en el aire 104), producen la dispersión de la radiación láser 103, que está representada en la FIG. 1 como un campo de dispersión 106. La distancia entre el avión 102 y el campo de dispersión 106 está controlada por la superposición entre la radiación láser 103 y el campo de visión del transceptor 110 a una distancia del avión 102, para proporcionar una intensidad optimizada para la radiación láser de retorno 107 y para eliminar posibles errores de medición que se deriven del aire desplazado próximo al avión 102. El OADS 101 detecta la radiación láser retrodispersada 107 que es retrodispersada desde el aire 104 en el campo de dispersión del láser 106. La radiación 107 puede estar en el espectro ultravioleta (UV), por ejemplo, teniendo una longitud de onda en un rango de 250 nm a 270 nm; sin embargo, pueden usarse alternativamente otros rangos para producir el campo de dispersión 106.

[0013] La radiación láser de retorno 107 típicamente contiene componentes dispersadas moleculares (p. ej., Rayleigh) 107A y/o componentes dispersadas por el aerosol (p. ej., Mie) 107B. El OADS 101 distingue las componentes dispersadas moleculares 107A de las componentes dispersadas por el aerosol 107B y en consecuencia determina uno o más parámetros del aire basándose en la radiación láser retrodispersada 107. Ejemplos de dichos parámetros del aire incluyen la velocidad, la presión y la temperatura del aire y/o los ángulos de orientación del avión con relación al viento local. El OADS 101 también puede ser configurado con otro avión, incluyendo vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), helicópteros, misiles, planeadores y transbordadores espaciales. Aunque se ilustra dentro de una "nariz" 108 del avión 102, el OADS 101 puede configurarse en cualquier otra parte de avión 102.

[0014] Como se muestra en la FIG.1, el OADS 101 incluye un láser 109 configurado para generar radiación láser 103. El transceptor 110 está configurado para transmitir radiación láser 103, desde el láser 109 a través del acoplamiento óptico 111, y recibir radiación láser retrodispersada 107. El acoplamiento óptico 111 puede existir en la forma de una conexión de fibra óptica o por transmisión en el espacio libre. Por consiguiente, el transceptor 110

50

proyecta la radiación láser como radiación láser 103 al aire 104. El aire 104 dispersa la radiación láser 103 en el campo de dispersión 106 en una pluralidad de direcciones (p. ej., ilustradas como vectores 112). El campo de dispersión 106 también devuelve, o retrodispersa, radiación 107 hacia el transceptor 110, que posteriormente recibe la radiación láser retrodispersada 107. El transceptor 110 convierte la radiación láser retrodispersada 107 en señales electrónicas procesables, por medio del ordenador 113, para determinar los parámetros del aire.

**[0015]** El ordenador 113 se acopla comunicativamente con el transceptor 110 y procesa señales del transceptor 110 para distinguir una componente dispersada por moléculas 107A de una componente dispersada por aerosol 107B. El ordenador 113 determina los parámetros del aire basándose en la radiación láser 107 retrodispersada desde las moléculas y/o los aerosoles en el aire 104. Por consiguiente, como se describe más abajo, el ordenador 113 puede emplear uno o más algoritmos de procesamiento de señales digitales para determinar dichos parámetros.

**[0016]** Aunque OADS 101 ilustra un transceptor 110 en una realización de ejemplo, puede usarse una pluralidad de transceptores, dependiendo de una aplicación. Por ejemplo, un misil que emplea el OADS 101 puede usar dos transceptores 110 para determinar parámetros del aire tales como la velocidad de avance (p. ej. la velocidad del aire) y un plano vertical, o ángulo de ataque<sup>2</sup>, del misil. Un avión puede usar tres transceptores 110 posicionados de una forma particular para determinar varias geometrías del avión, como ángulos de ataque y resbalamiento lateral, además de los parámetros del aire de velocidad, presión y temperatura del aire. Además, los vehículos aéreos (de ala fija o rotatoria) pueden emplear tres o más transceptores y/o láseres para aumentar la fiabilidad del Sistema Óptico de Datos del Aire mediante arquitectura de sistema redundante. Usando tres transceptores de OADS montados en tres ejes no coplanarios puede resolverse completamente un vector de velocidad del aire total proporcionando tres mediciones independientes para el vector velocidad del aire. Los transceptores están ubicados por ejemplo en planos poco comunes y su geometría es conocida respecto a un eje longitudinal del avión. Luego puede usarse álgebra vectorial para determinar el vector velocidad del aire completo, incluyendo la velocidad hacia adelante del aire, el ángulo de resbalamiento lateral y el ángulo de ataque.

**[0017]** La FIG. 2 muestra un OADS 140. El OADS 140 ilustra otra realización usada para determinar parámetros del aire, tales como los descritos en la FIG. 1, basándose en la radiación láser retrodispersada tanto de las moléculas de aire como de los aerosoles. En esta realización, el OADS 140 incluye el láser 141 configurado para generar radiación láser 142. El láser 141 puede ser un láser sintonizable que tiene una longitud de onda central sintonizada de 253,7 nm, aproximadamente, aunque pueden usarse otras longitudes de onda. Por ejemplo, el láser 141 puede ser un láser de Ti:zafiro (titanio-zafiro) de bombeo de Nd:YAG (es decir, neodimio: itrio-aluminio-granate), con frecuencia cuadruplicada. Alternativamente, pueden usarse los láseres de fibra de Yb-doped (dopado con iterbio) con frecuencia cuadruplicada que ofrecen los importantes beneficios de menor tamaño, peso más ligero, mayor solidez y fiabilidad mejorada, comparados con los láseres Ti:Zafiro de bombeo Nd:YAG. Alternativamente, para fabricar el láser pueden usarse láseres de diodo, barras láser de diodo, pilas de barras láser de diodo y técnicas de conversión ascendente de frecuencia. El láser 141 puede generar radiación láser que es sintonizable a través de un rango de frecuencia de, aproximadamente, 40 GHz; el láser 141 puede ser un láser de onda continua, que barre en frecuencia a través de este rango, o puede ser un láser pulsado controlado de tal forma que cada pulsación tiene una distribución de frecuencia centrada alrededor de una frecuencia máxima sintonizable. En una realización, la frecuencia máxima se incrementa alrededor de 100 MHz de cada pulsación a la siguiente. El láser 141 puede sintonizar +/- 20 GHz alrededor de una frecuencia central de aproximadamente 1182,5 THz, o  $c/253,7$  nm, donde  $c$  es la velocidad de la luz (aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s). En la realización ilustrada, el láser 141 radia radiación láser 142 al divisor de haz de luz 143, que divide el haz en dos componentes: 143A y 143B. La componente 143A es dirigida a través del aire 144; la componente 143B es dirigida al divisor de haz de luz 145.

**[0018]** En particular, la componente 143A de la radiación láser 142 dirigida al aire 144 se dispersa en el campo de dispersión 146. La dispersión de la componente 143A está ilustrada por los vectores de dispersión 147 en el campo de dispersión 146, mientras que la dispersión de retorno es ilustrada por la radiación láser retrodispersada 148. La componente 143B de la radiación láser 142 se usa como referencia para comparar con la radiación láser retrodispersada 148. Dicha comparación es útil por ejemplo para determinar parámetros del aire tales como la velocidad del aire, ya que las frecuencias transmitida y recibida de la radiación láser pueden averiguarse para usar en una ecuación de Doppler; dicho proceso se explica con más detalle más adelante.

**[0019]** En la realización ilustrada, la radiación láser retrodispersada 148 es recibida a través de la óptica 149. En un ejemplo, la óptica 149 es un telescopio que recoge la radiación láser retrodispersada 148 en un haz de luz 150. La óptica 149 también dirige el haz de luz 150 al divisor de haz de luz 151, para dividir el haz de luz 150 en dos componentes 150A/150B. La componente 150B del haz de luz 150 pasa a través del filtro de vapor 152 al detector 153 para producir la señal electrónica 158 representativa de la componente 150B que incide sobre el detector 153; mientras que la componente 150A es dirigida por el divisor de haz de luz 151 al detector 154.

**[0020]** En una realización, el detector 154 es un fotodetector que recibe la radiación 150A y la convierte en una señal electrónica 155. El detector 154 se conecta a un ordenador central 156 para procesar la señal electrónica 155. Igualmente, el detector 153 es un fotodetector configurado para detectar la componente 150B, que es filtrada por el filtro de vapor 152 como componente filtrada 157. El detector 153 convierte la componente 157 en una señal electrónica 158 para ser procesada por el ordenador central 156.

**[0021]** Por consiguiente, la señal electrónica 158 se corresponde con la radiación láser retrodispersada 148 filtrada por el filtro de vapor 152; y la señal electrónica 155 se corresponde con la radiación láser retrodispersada sin filtrar 150A. La señal electrónica 155 es de este modo usada para anular ciertas anomalías ya que el ordenador 156 procesa la señal electrónica 158. Por ejemplo, cuando se procesa con la señal electrónica 158, la señal 155 se puede usar para eliminar de la señal 158 ciertas fluctuaciones de la potencia de transmisión del láser en la componente filtrada 157 causadas por cambios atmosféricos en el aire 144. Dicho proceso se explica con más detalle en relación con las FIG. 4-7.

**[0022]** EL ordenador 156 incluye tablas de búsqueda 170 y 172 que pueden ser utilizadas para determinar la temperatura y/o presión como se debate más adelante.

**[0023]** La componente de referencia 143B de la radiación láser 142 es dividida en dos componentes 159 y 160 por el divisor de haz de luz 145. La componente 160 es dirigida por el divisor de haz de luz 145 al filtro de vapor 152 a través de la superficie reflectante 161, para medir las características del filtro, mientras que la componente 159 es dirigida por el divisor de haz de luz 145 al detector 162, para generar la señal electrónica 163. La señal electrónica 163 se usa por ejemplo para normalizar las fluctuaciones de potencia en el retorno de la radiación láser retrodispersada 148 provocadas por fluctuaciones de potencia en la generación de la radiación láser 142 por el láser 141. Dicho proceso se explica con más detalle en las FIG. 4-7.

**[0024]** El filtro de vapor 152 filtra la componente 160 para producir la componente filtrada 164. La componente filtrada 164 es dirigida hacia el detector 165, a través de la superficie reflectante 166, y después se convierte en una señal electrónica 167. El ordenador central 156 procesa la señal electrónica 167 para determinar las características del filtro, tales como las frecuencias y características de supresión de la región de supresión de banda del filtro de vapor 152. Un proceso similar se explica también con más detalle en el contexto de las FIG. 4-7.

**[0025]** Mientras que la FIG. 2 muestra el OADS 140 teniendo transmisión óptica al espacio libre y componentes ópticos tales como divisores de haz de luz 143, 145 y 151 y espejos 161 y 166, se puede usar fibra óptica para la transmisión del láser 141 a lo largo de los trayectos 142, 143A, 143B, 159, 160, 164, 150, 150A, 150B y/o 157; en dicha realización, pueden usarse divisores de fibra en lugar de los divisores de haz de luz 143, 151 y 145, y pueden eliminarse los espejos 161 y/o 166.

**[0026]** También se apreciará que, aunque la realización mostrada en el OADS 140 de la FIG. 2 emplea el filtro de vapor 152, pueden utilizarse otros tipos de filtros. Por ejemplo, pueden utilizarse filtros trampa o filtros trampa ópticos tales como filtros de interferencia, filtros dicroicos, filtros de red de difracción de Bragg de fibra, redes de difracción holográficas volumétricas, y/o filtros Rugate. Un filtro usado en lugar del filtro de vapor 152 puede tener propiedades ventajosas, tales como: (1) elevada absorción óptica dentro de una región de supresión de banda del orden de 40-60 dB o más; (2) una anchura de absorción del filtro trampa entre, aproximadamente, 5 GHz y 100 GHz, siendo preferida una anchura de absorción inferior a 10 GHz; y (3) flancos de absorción bruscos, produciéndose una transición de absorción del 10 % - 90 % dentro de unos 5 GHz o menos. También se pueden usar filtros pasabanda. Pueden utilizarse filtros únicos con características de absorción múltiples o pueden usarse divisores de fibra u ópticos para enrutar las señales ópticas a través de varios filtros, teniendo cada filtro una única característica de absorción.

**[0027]** Los filtros diferentes a los filtros de vapor atómico pueden proporcionar ciertas ventajas. Por ejemplo, mientras que las frecuencias de absorción de los filtros de vapor atómico van ligadas de forma fiable a las propiedades de un vapor atómico usado, su uso puede obligar a un OADS a incluir un láser sintonizable que tenga salida a dichas frecuencias. Sin embargo, ciertos láseres sintonizables pueden tener un rendimiento y/o estabilidad mejorados a frecuencias que no se ajustan de forma conveniente a las frecuencias de absorción del filtro de vapor atómico. En particular, los filtros de red de difracción de Bragg son un filtro trampa óptico de bajo coste efectivo para la medición de la velocidad del aire en longitudes de onda más altas, tales como 1550 nm. Ciertos filtros tales como los filtros de interferencia, filtros dicroicos, filtros de red de difracción de Bragg de fibra, filtros de red de difracción holográfica de volumen y/o filtros Rugate pueden ser diseñados para tener características de absorción sintonizadas a un rango de salida de frecuencia preferido de un láser sintonizable, en vez de sintonizar el láser al filtro. El uso de un láser sintonizable, y un filtro trampa correspondiente en un OADS puede de este modo (1) permitir el uso de una potencia de salida del láser superior para una intensidad de la señal de retorno mejorada, (2) hacer más robusto el OADS con respecto a la estabilidad térmica, la vibración y los golpes, (3) eliminar materiales peligrosos (p. ej. mercurio) del OADS, y/o (4) reducir el tamaño, el peso y/o el coste del OADS.

**[0028]** La FIG. 3 muestra un gráfico 200 útil para ilustrar un ejemplo de cálculo de la velocidad de aire con el OADS 140. El gráfico 200 muestra dos curvas, 201 y 202, que comparan magnitudes de radiación láser normalizadas como función de la frecuencia (intensidad de señal, esto es, la magnitud de la radiación láser normalizada, se representa con respecto al eje 205, y la frecuencia se representa con respecto al eje 204). La curva 202 es un ejemplo de la radiación láser radiada filtrada como la de la componente filtrada 164 de la FIG. 2. Como tal, la curva 202 muestra características del filtro de filtro de vapor 152 de la FIG. 2 determinadas mediante el procesamiento de la señal digital 167. La curva 202 muestra la absorción máxima del filtro 152 que ocurre en una frecuencia desplazada hacia abajo de 0 GHz. A modo de ejemplo, la frecuencia de absorción máxima real del filtro 152 puede ser alrededor de 1182,5 THz (es decir, tiene una longitud de onda correspondiente de alrededor de 253,7 nm).

5 **[0029]** La radiación láser 142 generada por el láser 141 pasa por el filtro 152 para proporcionar la componente filtrada 164. Una vez que la componente filtrada 164 se convierte en la señal electrónica 167 por el detector 165, el ordenador 156 analiza y almacena las características del filtro de vapor 152 por medio del procesamiento de señal digital de la señal 167 (p. ej. el ordenador 156 almacena las características de referencia, obtenidas bajo condiciones controladas, para uso en futuros cálculos). Como se muestra en este ejemplo, las características del filtro de vapor 152 tienen aproximadamente absorción normalizada del 10 % a aproximadamente +/-5 GHz (es decir, factor de transmisión normalizado de 0,9 a aproximadamente +/-5 GHz según el eje 205) alrededor de la frecuencia de absorción máxima. Otros tipos de filtros adecuados pueden incluir diferentes características de absorción / transmisión.

10 **[0030]** La curva 201 es un ejemplo de la radiación láser retrodispersada filtrada tal como la de la componente filtrada 157 de la FIG. 2. En una realización, se usa la curva 201 para determinar la velocidad del aire por comparación con la curva 202. Por ejemplo, la curva 202 ilustra cómo el filtro de vapor 152 afecta a la radiación láser 142; la curva 201 igualmente ilustra cómo el filtro de vapor 142 afecta a la radiación láser 142 cuando la radiación láser 142 es retrodispersada (p. ej. retorna como radiación 148) desde el aire 144. El desplazamiento de la frecuencia 203 representa el cambio en la frecuencia de absorción máxima para el filtro de vapor 142 entre la radiación láser transmitida 142 y la radiación láser retornada 148. El ordenador 156 procesa algoritmos que aplican la ecuación de velocidad Doppler para determinar la velocidad del aire a partir del desplazamiento de la frecuencia 203.

15 **[0031]** Para determinar la velocidad del aire en una realización, el ordenador 156 determina cuánta frecuencia se ha desplazado la frecuencia de absorción máxima de la componente filtrada 157 de la frecuencia láser inicial comparando la curva 202 con la curva 201 (es decir, comparado las frecuencias de absorción máximas de las componentes filtradas 157 y 164). El desplazamiento de la frecuencia 203 equivale sustancialmente a la velocidad radial del viento mediante la ecuación de velocidad Doppler:

$$\Delta v_D = \frac{2V_R}{\lambda} \quad (Ec. 1)$$

donde  $\Delta v_D$  representa el desplazamiento de la frecuencia Doppler,  $V_R$  representa la componente de velocidad del vehículo (p. ej. el avión 101 de la FIG. 1) a lo largo de dirección de propagación del láser 143A y  $\lambda$  representa la longitud de onda de la radiación láser 142.

30 **[0032]** En una realización, la componente de velocidad del viento  $V_R$  puede medirse determinando el desplazamiento de la frecuencia a partir de la curva 202 del gráfico 200 en comparación con la curva 201 del gráfico 200. Esto se lleva a cabo calculando un punto de simetría de cada curva 201 y 202 y determinando una diferencia en los puntos de simetría entre las dos curvas.

35 **[0033]** El filtro de vapor 152 puede tener una pluralidad de características de absorción. Por consiguiente, el OADS puede tener una pluralidad de máximos de absorción, tales como los ilustrados por las curvas 201 y 202 de la FIG. 3, que se pueden usar para proporcionar una estimación más exacta de la velocidad del vehículo. La velocidad del vehículo  $V_R$  se puede calcular usando la ecuación 1 para cada característica de absorción. Después puede calcularse una velocidad media del vehículo a partir de cada valor de  $V_R$ .

40 **[0034]** Las FIG. 4-7 muestran gráficos que ilustran ejemplos de cálculo para otros parámetros del aire con el OADS 140. Por ejemplo, tras determinar el desplazamiento de la frecuencia debido a la velocidad del aire como se muestra en la FIG. 3, se pueden calcular otros parámetros del aire tales como la temperatura y la presión del aire. En un ejemplo, el ordenador 156 determina inicialmente una medición de intensidad de la radiación láser retrodispersada detectada (ej., la componente filtrada 157 detectada por el detector 153) a partir de la señal electrónica 158. Esta medición de la intensidad de la radiación láser retrodispersada verificada experimentalmente corresponde a la siguiente ecuación:

$$S_S(v) = P_L T_L D_S T_R E_S \int dv_r \int dv_{laser} [L(v_{laser}) F(v_r - v) (r R(v_r - (v_{laser} - \Delta v_D))) + m M(v_r - (v_{laser} - \Delta v_D)))]$$

(Ec. 2)

50 donde  $S_S(v)$  es la señal electrónica 158 del detector 153;  $P_L$  es la potencia del láser,  $T_L$  es el coeficiente de transmisión a través del aire 144 a lo largo de la trayectoria del láser 143A,  $L(v_{laser})$  es la forma de la línea láser intrínseca a la salida del láser 141 como función de la frecuencia del láser  $v_{laser}$ ,  $T_R$  es el coeficiente de transmisión a través del aire 144 a lo largo de la trayectoria del láser 148,  $E_S$  es la eficiencia óptica del canal detector a través del detector 153,  $F(v)$  es el rango de frecuencias de supresión de banda del filtro de vapor 152 centrado en una frecuencia de  $v$ ,  $R$  es la dispersión de Rayleigh como función de la frecuencia del láser  $v_{laser}$  menos el desplazamiento Doppler  $\Delta v_D$ ,  $r$  es el coeficiente de magnitud de la dispersión de Rayleigh dependiente de la densidad del aire y el coeficiente de retrodispersión de Rayleigh,  $M$  es la dispersión de Mie como función de  $v_r$

menos la cantidad de  $\nu_{laser}$  menos  $\Delta\nu_D$ ,  $m$  es el coeficiente de magnitud de la dispersión de Mie dependiente de la concentración de aerosoles y el coeficiente de retrodispersión de Mie, y  $D_S$  es eficiencia del detector 153. El coeficiente de retrodispersión de Rayleigh  $r$  y el coeficiente de retrodispersión de Mie  $m$  son constantes para una atmósfera determinada. Estos coeficientes corresponden al número de dispersores (es decir, moléculas para Rayleigh, aerosoles para Mie) por unidad de volumen de atmósfera.

[0035] A continuación, el ordenador 156 puede determinar otros parámetros del aire, utilizando el resultado obtenido para la intensidad medida de la energía láser retornada. Dicho proceso, por ejemplo, puede empezar determinando las características del filtro de vapor 152 transmitiendo la radiación láser de referencia 160 a través del filtro de vapor 152. Por ejemplo, midiendo las características de supresión de banda del filtro de vapor 152 con el láser 141 (es decir, a través de la componente 143B a la señal electrónica 167) durante la experimentación se produce una convolución de la longitud de onda del láser y del filtro de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_F(\nu) = P_L E_F D_F \int d\nu_{laser} [L(\nu_{laser}) F(\nu_{laser} - \nu)], \quad (\text{Ec. 3})$$

donde  $S_F(\nu)$  es la señal 167 del detector 165 como función de la frecuencia  $\nu$  (p. ej. como se ilustra en la curva 221 de la FIG. 4);  $E_F$  es la eficiencia de captación óptica del filtro 152 a lo largo de las trayectorias 160 y 164, y  $D_F$  es la eficiencia del detector 165.

[0036] Téngase en cuenta que todas las eficiencias ópticas  $E_F$  y  $E_S$  capturan pérdidas de señal que son de naturaleza óptica. Por ejemplo,  $E_F$ , la eficiencia óptica del detector 165, incluye las relaciones de división del haz de luz óptico 143 y 145, la transmisión óptica y el acoplamiento a través del filtro 152 y la eficiencia del suministro óptico sobre el detector 165.  $E_S$ , la eficiencia de captación óptica del detector 153, incluye la eficiencia de captación del telescopio 149, la eficiencia del acoplamiento óptico en la trayectoria 150, la relación de división del haz de luz del divisor de haz de luz 151, la eficiencia de transmisión a través del filtro 152 y la eficiencia de suministro sobre el detector 153. Las eficiencias del detector  $D_F$  y  $D_S$  incluyen las eficiencias de conversión del detector para los detectores 165 y 153, respectivamente. De este modo,  $D_F$  es la eficiencia de conversión por la cual el detector 165 convierte la radiación láser a lo largo de la trayectoria 164 en una señal eléctrica 167. De igual forma,  $D_S$  es la eficiencia de conversión por la cual el detector 153 convierte la radiación láser a lo largo de la trayectoria 157 en una señal eléctrica 158.

[0037] La radiación láser retrodispersada 148 puede incluir las fluctuaciones de potencia que están causadas por el láser 141 al generar la radiación láser 142. Por consiguiente, la radiación láser detectada por el detector 162 (p. ej. a través de la componente 159) puede ser utilizada para normalizar las fluctuaciones de potencia atribuibles al láser 141. En una realización, el detector 162 convierte la componente 159 en la señal electrónica 163. A su vez, el ordenador 156 procesa y normaliza de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_L(\nu) = P_L E_L D_L \int d\nu L(\nu), \quad (\text{Ec. 4})$$

donde  $S_L(\nu)$  es la señal electrónica 163 del detector 162,  $E_L$  es la eficiencia de captación óptica del detector 162,  $D_L$  es la eficiencia de conversión del detector 162 y  $P_L$  es la potencia del láser 141. Téngase en cuenta que la eficiencia de captación óptica  $E_L$  incluye las relaciones de división del haz de luz de los divisores de haz de luz 143 y 145 y la eficiencia de suministro de haz de la trayectoria del haz de luz láser 159 sobre el detector 162.

[0038] La curva 211 del gráfico 220 de la FIG. 4 representa la magnitud de la radiación láser (componente 164) filtrada por el filtro de vapor 152 y normalizada entre 0 y 1. La curva 221 representa la magnitud de la radiación láser como función de la frecuencia (es decir, la magnitud de radiación láser representada con respecto al eje 222 y la frecuencia representada con respecto al eje 223). La curva 221, por lo tanto, ilustra la radiación láser filtrada a través de la componente 160 como se determinó por procesamiento informático de la señal electrónica 167, representada como la magnitud de la radiación láser normalizada entre 0 y 1, frente a la frecuencia.

[0039] En una realización, las características de absorción / transmisión del filtro de vapor 152 se normalizan usando la Ec. 3 y la Ec. 4. La Ec. 3 da lugar a las características de supresión de banda del filtro 152 y la Ec. 4 considera las fluctuaciones de potencia en la generación de la radiación láser 142. Con las fluctuaciones de potencia de la Ec. 4 sustancialmente eliminadas, se crea un "canal de normalización", y las fluctuaciones de potencia atribuibles a los cambios atmosféricos pueden ser consideradas.

[0040] En una realización, las fluctuaciones de potencia adicionales causadas por los cambios atmosféricos en el aire 144 también son eliminadas. Por ejemplo, la radiación láser detectada por el detector 154 (es decir, a través de la componente 150A) ayuda a eliminar las fluctuaciones de potencia del láser causadas por los cambios atmosféricos en el aire 144. Por consiguiente, el detector 154 convierte la radiación láser recibida en la señal

electrónica 155. El ordenador 156, a su vez, procesa la señal electrónica 155 para determinar la magnitud de la radiación láser normalizada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_N = P_L T_L T_R E_N D_N \int dv \int dv_{laser} [L(v_{laser})(r R(v - (v_{laser} - \Delta v_D)) + m M(v - (v_{laser} - \Delta v_D)))]$$

(Ec. 5)

- 5 donde  $S_N$  es la señal 155 del detector 154;  $E_N$  es la eficiencia de captación óptica del detector 154 y  $D_N$  es la eficiencia de conversión del detector 154.

[0041] En una realización, es ventajoso normalizar las diversas funciones características para permitir una solución en bucle cerrado para el proceso de determinación de la temperatura y la presión. En un ejemplo, por lo tanto, el ordenador 156 calcula la forma de la línea láser normalizada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\int L(v_{laser}) dv_{laser} = 1, \quad (Ec. 6)$$

donde (como anteriormente)  $v_{laser}$  es la frecuencia de la forma de la línea láser y  $L$  indica la forma de la línea láser como función de la frecuencia. En otro ejemplo, el ordenador 156 calcula la Función de Rayleigh normalizada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\int R(v_r) dv_r = 1, \quad (Ec. 7)$$

donde  $R$  indica la forma de la línea de Rayleigh como función de la frecuencia  $v_r$  aplicable al régimen de Rayleigh. En otro ejemplo, el ordenador 156 cambia la escala de la señal electrónica 167 registrada del detector 156 dividiendo todos los valores registrados por el valor máximo de acuerdo con la siguiente ecuación:

20

$$MAX(S_F(v)) = 1, \quad (Ec. 8)$$

donde  $MAX$  indica una operación que encuentra un valor máximo de una función particular, y  $S_F$  indica la señal electrónica 167 medida desde el detector 165, como función de la frecuencia  $v$  (es decir, como se ilustra en la curva 221 de la FIG. 4). En otro ejemplo, el ordenador 156 normaliza la Función de Mie de acuerdo con la siguiente ecuación:

25

$$M(v) = \delta(v), \quad (Ec. 9)$$

- 30 donde  $\delta(v)$  es la función delta.

[0042] En una realización, dividiendo la señal 167 recogida del detector 165 (y representada por la Ec. 3, anterior) por la señal 163 recogida por el detector 162 (y representada por la Ec. 4, anterior) elimina las fluctuaciones de potencia del láser 141, como sigue:

$$\frac{S_F(v)}{S_L(v)} = \frac{P_L E_F D_F \int dv_{laser} [L(v_{laser}) F(v_{laser} - v)]}{P_L E_L D_L \int dv L(v)} \quad (Ec. 10)$$



[0043] La ecuación 10 se simplifica a:

$$\frac{S_F(\nu)}{S_L(\nu)} = \frac{E_F D_F}{E_L D_L} LF(\nu) \quad (\text{Ec. 11})$$

donde  $LF(\nu)$  representa una convolución de las funciones  $L$  y  $F$  (esto es, una función que representa los efectos de las funciones  $L$  y  $F$  combinadas a cada frecuencia  $\nu$ ).

[0044] En una realización, sintonizando el láser 141 a una frecuencia de referencia  $\nu_{ref}$  suficientemente alejada de los efectos del filtro de vapor 152 permite la medición de la relación de las eficiencias de óptica y de detector de los canales de señal 167 ( $S_F$ , representada por la Ec. 3 anterior) y 163 ( $S_L$ , representada por la Ec. 4 anterior). Esto, a su vez, permite la normalización de la medición de señal 167 a uno, para comprobar simultáneamente anomalías en el láser, el detector y el filtro escaneo por escaneo:

$$\frac{S_F(\nu_{ref})}{S_L(\nu_{ref})} = \frac{E_F D_F}{E_L D_L} \quad (\text{Ec. 12})$$

[0045] En una realización, se determina  $LF(\nu)$  para generar una tabla de búsqueda de la convolución de las funciones de Rayleigh teóricas (calculadas en términos de temperatura y presión) con la función del filtro medido. Como la función del filtro medida ya es la convolución de los espectros del láser y del filtro, convolucionar la función de Rayleigh con la señal de filtro medida 167 da lugar a la señal de retorno esperada de una atmósfera de dispersores de Rayleigh puros.

[0046] En una realización, la señal medida 158, que es el retorno de retrodispersión de la atmósfera 144 que pasa a través del filtro de vapor 152 (y que está representado por la Ec. 2 anterior), se divide por la señal 155, que es el retorno de retrodispersión de la atmósfera 144 que no pasa a través del filtro de vapor 152 (y que está representado por la Ec. 5 anterior). Este cálculo elimina los cambios en la transmisión de la señal que son independientes de los factores a medir:

$$\frac{S_S(\nu)}{S_N(\nu)} = \frac{P_L T_L D_S T_R E_S \int d\nu \int d\nu_{laser} [(L(\nu_{laser}) F(\nu_r - \nu))(rR(\nu_r - (\nu_{laser} - \Delta\nu_D)) + mM(\nu_r - (\nu_{laser} - \Delta\nu_D)))]}{P_L T_L T_R E_N D_N \int d\nu \int d\nu_{laser} [L(\nu_{laser})(rR(\nu_r - (\nu_{laser} - \Delta\nu_D)) + mM(\nu_r - (\nu_{laser} - \Delta\nu_D)))]}$$

(Ec. 13)

[0047] Como  $M$  es una función delta, la Ecuación 13 se simplifica a:

$$\frac{S_S(\nu)}{S_N(\nu)} = \left[ \frac{E_S D_S}{E_N D_N} \right] \frac{rLFR(\nu_{laser} - \Delta\nu_D) + mLF(\nu_{laser} - \Delta\nu_D)}{r + m} \quad (\text{Ec. 14})$$

donde  $LFR(\nu)$  representa una convolución de las funciones  $L$ ,  $F$  y  $R$  en el sentido de la convolución  $LF(\nu)$  debatida anteriormente.

[0048] En una realización, sintonizando el láser 141 a la frecuencia de referencia  $\nu_{ref}$  suficientemente alejada de los efectos del filtro de vapor 152 permite la medición de la relación de las eficiencias de óptica y de detector de los canales de señal 158 ( $S_S$  representada por la Ec. 2 anterior) y 155 ( $S_N$  representada por la Ec. 5 anterior). Esto permite una comprobación de las anomalías en el filtro escaneo por escaneo:

$$\frac{S_S(\nu_{ref})}{S_N(\nu_{ref})} = \frac{E_S D_S}{E_N D_N} \quad (\text{Ec. 15})$$

[0049] En una realización, una variable  $K_{ref}$  puede definirse como:

$$K_{ref} = \frac{S_S(v_{ref})}{S_N(v_{ref})} \quad (\text{Ec. 16})$$

5

[0050] Una vez que ambos conjuntos de datos (es decir,  $S_S$  y  $S_N$ ) son simétricos con relación al mismo punto de datos, el ordenador 156 calcula la temperatura y la presión a partir de la señal de retorno. Inicialmente, el ordenador 156 usa funciones de Rayleigh teóricas que son funciones de la temperatura y la presión conjuntamente con la transmisión del filtro medida para generar una tabla de búsqueda 170 que almacena las convoluciones ( $LFR(v)$ ) del láser, de Rayleigh y del filtro que son dependientes de la temperatura y la presión atmosféricas. El ordenador 156 puede luego comparar una señal de retorno normalizada con un valor almacenado en la tabla de búsqueda 170 para determinar la presión y la temperatura atmosféricas. Para comparar la señal de retorno con la tabla de búsqueda 170, el ordenador 156 justifica la magnitud de los dispersores de Mie así como cualesquiera cambios en la densidad del aire que puedan cambiar la magnitud de la señal de Rayleigh.

10

15

[0051] Se puede utilizar un filtro de vapor como filtro de supresión de banda; dichos filtros típicamente proporcionan estabilidad de frecuencia, profundidad óptica, y forma de filtro óptima. Para los fines de separar la dispersión de Rayleigh y de Mie, una profundidad óptica de aproximadamente 60 dB proporciona una absorción excelente de la dispersión de Mie dentro de una varianza de frecuencia pequeña alrededor de  $v_0$ , (es decir, donde  $v_f$  es una frecuencia normalizada de 0 GHz). Por ejemplo, un filtro de vapor atómico puede proporcionar 60 dB de absorción en una región de frecuencia que no esté contaminada por dispersión de Mie. Esta región puede ser usada para obtener estimaciones iniciales de presión y temperatura (explicado más adelante en la FIG. 5). Dicha absorción es observable en la FIG. 5 más adelante como la señal medida  $S_F$  que tiene la magnitud cero centrada alrededor de  $v_0$ . Este dato proporciona información sobre la dispersión de Rayleigh pura que se puede usar para calcular la relación de la dispersión de Mie a la dispersión de Rayleigh, como se muestra en la Ec. 17:

20

$$\frac{S_S(v_0)}{S_N(v_0)} = \left[ \frac{E_S D_S}{E_N D_N} \right] \frac{rLFR(v_0) + mLFR(v_0)^{25}}{r + m} \quad (\text{Ec. 17})$$

[0052] Como el filtro de vapor atenúa completamente la dispersión de Mie en esta región:

$$\frac{S_S(v_0)}{S_N(v_0)} = \left[ \frac{E_S D_S}{E_N D_N} \right] \frac{rLFR(v_0)_{30}}{r + m}, \quad (\text{Ec. 18})$$

donde  $LFR(v_0)$  es el valor de la señal de retorno teórica a una presión y temperatura atmosféricas particulares. En consecuencia, el ordenador 156 calcula la relación de dispersión de Mie definiendo primero una variable  $K_0$  como sigue:

35

$$K_0 = \frac{S_S(v_0)}{S_N(v_0)} \quad (\text{Ec. 19})$$

40 y después resolviendo para la relación

$$\frac{m}{r} = \frac{K_0}{K_a} LFR(v_0) - 1 \quad (\text{Ec. 20})$$

[0053] Usando el retorno de señal normalizado en la región de interés (es decir, la región inclinada entre el mínimo y el máximo del retorno de la señal) y expresando el resultado en términos de la relación de  $m$  sobre  $r$ , se obtiene lo siguiente:

$$\frac{S_S(\nu)}{S_N(\nu)} = K_a \frac{LFR(\nu) + \frac{m}{r} LF(\nu)}{1 + \frac{m}{r}} \quad (\text{Ec. 21})$$

[0054] Sustituyendo la relación de  $m$  y  $r$  de la Ec. 20 en la Ec. 21 se obtiene:

$$\frac{S_S(\nu)}{S_N(\nu)} = K_a \frac{LFR(\nu)}{LFR(\nu_0)} + LF(\nu) \left[ 1 - \frac{K_0}{K_a LFR(\nu_0)} \right] \quad (\text{Ec. 22})$$

[0055] Resolviendo para  $LFR(\nu)$  se obtiene:

$$LFR(\nu) = \frac{S_S(\nu)}{S_N(\nu)} \frac{LFR(\nu_0)}{K_a} + LF(\nu) \left[ \frac{1}{K_a} - \frac{LFR(\nu_0)}{K_0} \right], \quad (\text{Ec. 23})$$

donde el retorno de señal medido  $LFR(\nu)$  se expresa en términos de cantidades medidas y los valores teóricos de  $LFR(\nu_0)$ . El ordenador 156 calcula después  $LFR(\nu)$  y lo compara con la tabla de búsqueda 170 para determinar la temperatura y la presión atmosféricas, descritas con más detalle en la FIG.5.

[0056] Justificando las fluctuaciones de potencia, las eficiencias ópticas y las eficiencias del detector como se describe en este documento permite una comprobación independiente del filtro de vapor 152 mientras opera el OADS 140. Con características variables de los canales del detector y fluctuaciones de potencia justificadas, el ordenador 156 puede determinar, por ejemplo, las características sustancialmente constantes del filtro de vapor 152, de modo que se obtienen mediciones más precisas de la radiación láser retrodispersada recibida (p. ej. la radiación láser 148).

[0057] En una realización, el canal de normalización representado en la FIG. 4 se usa para eliminar las fluctuaciones de potencia atmosféricas de la radiación láser 148. Al hacerlo, el ordenador 156 mide las componentes Rayleigh y Mie de la radiación láser 147 en términos de eficiencias ópticas y eficiencias del detector. Dichas eficiencias se miden, típicamente, disparo por disparo durante el proceso de análisis. En un ejemplo de realización de la operación, el láser 141 genera y transmite radiación láser 142 como una serie de impulsos a una frecuencia de repetición de impulso ("PRF" por sus siglas en inglés) particular, mientras que en otra realización el láser 141 es un láser de onda continua (como se debatió en relación con la FIG. 2). El ordenador 156 mide luego las componentes Rayleigh y Mie en términos de eficiencias ópticas y eficiencias del detector impulso por impulso.

[0058] Para medir las componentes Rayleigh y las componentes Mie, en una realización, el OADS 140 sintoniza la frecuencia de la radiación láser 142 transmitida por el láser 141. Por ejemplo, el láser 141 transmite la radiación láser 142 a frecuencias distales de la frecuencia de absorción máxima del filtro 152 (ilustrada por  $\nu_f$  en la FIG. 4) para proporcionar una medición independiente de la frecuencia. El ordenador 156 determina luego la forma de línea de la radiación láser 142 a través del filtro 152.

[0059] En una realización, la intensidad medida de la radiación láser retrodispersada detectada (p. ej., como se determina por la señal electrónica 158) se compara funcionalmente con factores atmosféricos normalizados. La intensidad medida depende frecuentemente de dispersores Mie (p. ej., aerosoles) y de cambios de densidad del aire debidos a cambios de altitud y cambios de temperatura. Los cambios de densidad del aire y los cambios de temperatura no son, sin embargo, eliminados mediante los procesos de normalización descritos en este documento. Para que el ordenador 156 determine con precisión parámetros del aire tales como la temperatura y presión del aire 144, los cambios de densidad del aire se eliminan de la radiación láser retrodispersada detectada para que el ordenador 156 pueda determinar con precisión los parámetros del aire.

[0060] La FIG. 5 muestra el gráfico 240 con las curvas 241 (radiación láser retrodispersada detectada a una densidad del aire superior que produce ambas dispersiones de Rayleigh y de Mie), 242 (radiación láser

retrodispersada detectada a una densidad del aire que produce la dispersión de Rayleigh) y 243 (dispersión de Rayleigh normalizada). Las curvas 241, 242 y 243 ilustran magnitudes de la radiación láser (representadas con relación al eje 250) como una función de la frecuencia (representada con relación al eje 251). En una realización, el ordenador 156 procesa los datos de las curvas 241, 242 y 243 para determinar otros parámetros del aire. Por ejemplo, los efectos de la dispersión de Mie son sustancialmente aislados y eliminados de los cálculos para determinar la temperatura del aire y la presión del aire, ya que estos efectos de dispersión de Mie producen mediciones imprecisas debido a concentraciones de aerosol irregulares.

**[0061]** En una realización, para determinar la temperatura del aire y la presión del aire el ordenador 156 procesa los datos de las curvas 241, 242 y 243 para sustancialmente aislar y eliminar los efectos de la dispersión de Mie, tales como los que se encuentran en la curva 241. Al procesar los datos de las curvas 241, 242 y 243, el ordenador 156 calcula la tabla de búsqueda 170 en sustancialmente tiempo real usando un perfil láser / filtro medido (es decir, como se mide en el detector 165 de la FIG. 2) convolucionado con funciones de Rayleigh teóricas para una temperatura y presión particulares (p. ej., ilustradas por las curvas 242 y 243). El ordenador 156 luego escala la señal de retorno medida  $LFR(\nu)$  es decir, ilustrada por la curva 241 en este ejemplo) con la relación de  $m$  a  $r$  determinada por la Ec. 20. El ordenador 156 analiza luego los datos cerca de la porción más profunda de la atenuación del filtro (es decir, aproximadamente  $\pm 0,5$  GHz de  $\nu_f$ ) para estimar la presión y/o la temperatura. Esta porción corresponde a una región de absorción 60 dB que no está contaminada por la dispersión de Mie. El uso de esta región es un aspecto preferido de la técnica de cálculo que proporciona exactitud de temperatura y presión proporcionando una referencia de temperatura fiable a partir de la cual incrementar las estimaciones de temperatura y/o presión.

**[0062]** El ordenador 156 calcula el retorno de Rayleigh teórico suponiendo una estimación de temperatura inicial y realiza un cálculo por mínimos cuadrados (LSE por sus siglas en inglés) para determinar la exactitud de la temperatura con respecto a la función Rayleigh teórica. El ordenador 156 repite el proceso con cambios incrementales a la temperatura y/o la presión hasta que se consigue un ajuste óptimo (es decir, un cálculo LSE que corresponde a las especificaciones de diseño). Aunque se discute en detalle con relación al LSE, se pueden usar otros métodos de aproximación, tales como Newton-Raphson y Monte Carlo, en disposiciones alternativas. En consecuencia, esta descripción enseña a modo de ejemplo y no por limitación.

**[0063]** La temperatura afecta a la densidad del aire en una forma que es inversa a la presión; incrementar la presión, incrementa la densidad, mientras que incrementar la temperatura disminuye la densidad. Además, incrementar la temperatura incrementa la anchura de la forma de línea Rayleigh mientras que incrementar la presión incrementa la altura de la forma de línea Rayleigh. En consecuencia, para cada valor incremental de la temperatura y/o de la presión, la forma de línea Rayleigh es única. Dicha teoría de la dispersión se discute en "On The Kinetic Model Description Of Rayleigh-Brillouin Scattering From Molecular Gasses", G.C. Tenti, D. Boley y R.C. Desai, Canadian Journal of Physics, vol. 52, pag. 285-290 (1974).

**[0064]** En un ejemplo, el ordenador 156 determina cambios en la densidad del aire alineando las frecuencias de absorción máxima de las curvas 241, 242 y 243, ilustradas a la frecuencia  $\nu_f$ . Como la curva 243 representa la radiación láser retrodispersada detectada que no contiene sustancialmente dispersión de Mie, la curva 243 se puede utilizar como referencia donde se ha eliminado la dispersión de Mie. En un ejemplo, el ordenador 156, por consiguiente, usa la curva 243 para eliminar los efectos de la dispersión de Mie alineando las curvas 241, 242 y 243 y calculando una relación de la radiación láser retrodispersada detectada a la dispersión de Rayleigh teóricamente pura (la relación de las curvas 241 y 242) que se puede utilizar para determinar la densidad del aire. Los efectos de la dispersión de Mie se eliminan luego restando la curva 243 de la relación calculada de las curvas 241 y 242. Con la dispersión de Mie sustancialmente eliminada de la medición, el ordenador 156 determina más exactamente las temperaturas del aire y las presiones del aire.

**[0065]** Las FIGs. 6 y 7 muestran otros ejemplos de gráficos que se pueden usar para determinar la presión del aire y la temperatura del aire. La FIG. 6 ilustra un gráfico 260 de las señales electrónicas 163 y 167 de la FIG. 2, generadas respectivamente por los detectores 162 y 165 de la FIG. 2. El gráfico 260 muestra las señales electrónicas 163 y 167, que representan la intensidad de la luz como función de la intensidad de la señal normalizada (eje 261), frente a la frecuencia (eje 262). La FIG. 7 ilustra un gráfico 280 de las señales electrónicas 158 y 155 (ver FIG. 2) generadas por los detectores 153 y 154 respectivamente, que representan la intensidad de la luz como función de la intensidad de la luz normalizada (eje 281), frente a la frecuencia (eje 282). Estas cuatro intensidades de luz (representadas por las señales electrónicas 163, 167, 158 y 155) se pueden medir, a lo largo del tiempo, por medio de la transmisión y captación de la luz correspondiente a impulsos de láser, o pueden ser medidas por medio de la transmisión y captación de la luz correspondiente a un láser de onda continua cuya frecuencia varía continuamente. En un ejemplo, una frecuencia de transmisión de la radiación láser 142 de la FIG. 2 generada por el láser 141 a una PRF determinada puede barrer de tal forma que cada impulso láser se emita a una frecuencia diferente. Las señales electrónicas 163 y 167 por consiguiente ilustran cómo la radiación láser 142 del láser 141 puede barrer en frecuencia a través de una banda de absorción 263 del filtro de vapor 152. Ilustrativamente, la FIG. 6 muestra un barrido de frecuencia completo de la radiación láser 142 generada por el láser 141 y detectada por los detectores 162 y 165. De forma similar, las señales electrónicas 155 y 158 de la FIG. 7 muestran las señales detectadas de los detectores 153 y 154 ya que la radiación láser 142 del láser 141 realiza un barrido completo en frecuencia a través de la banda de absorción 283 del filtro de vapor 152.

5 **[0066]** A partir de las señales 163 y 167, el ordenador 156 puede por ejemplo determinar una transmisión de filtro normalizada, dividiendo puntos discretos de la señal electrónica 167 por los puntos discretos correspondientes de la señal 163. De forma similar, el ordenador 156 puede determinar un retorno atmosférico normalizado a través del filtro de vapor 152 dividiendo puntos discretos de la señal 158 por los puntos discretos correspondientes de la señal 155. Estos puntos discretos, descritos en este documento, corresponden a impulsos individuales de radiación láser 142.

**[0067]** Usando cálculos normalizados de transmisión del filtro (p. ej., del gráfico 260) y los cálculos normalizados del retorno atmosférico (p. ej., del gráfico 280), el ordenador 156 determina las eficiencias ópticas relativas en el filtro de vapor 152.

10 **[0068]** En una realización, el ordenador 156 determina la transmisión óptica para el filtro de vapor 152 usando las componentes independientes de la frecuencia de los datos del gráfico 260, la FIG. 6 (no hay sustancialmente cambios de amplitud para las señales 163 y 167 a frecuencias de magnitud superior a  $\pm 18$  GHz desde 0 GHz ilustradas en los puntos 264, 265, 266 y 267). El ordenador 156 por consiguiente determina una relación de transmisión óptica para el filtro de vapor 152 calculando una relación de la señal 167 a la señal 163, mediante  
15 puntos correspondientes de frecuencia de las señales, para puntos que representan frecuencias de magnitud superior a  $\pm 18$  GHz desde 0 GHz.

**[0069]** De forma similar, el ordenador 156 determina una magnitud de intensidad de la radiación láser devuelta por la atmósfera recibida a través del filtro de vapor 152 usando las porciones de los datos del gráfico 280 independientes de la frecuencia, FIG. 7 (no hay sustancialmente cambio en la amplitud para las señales 155 y 158 a frecuencias de  
20 magnitud superior a  $\pm 18$  GHz desde 0 GHz ilustradas en los puntos 284, 285, 286 y 287). El ordenador 156 por ello determina una relación del retorno atmosférico con la medición de potencia del láser calculando una relación de la señal 158 a la señal 155 mediante puntos correspondientes de frecuencia de las señales para puntos que representan las frecuencias de magnitud superior a  $\pm 18$  GHz desde 0 GHz.

**[0070]** En una realización, el ordenador 156 calcula una relación de la señal 158 a la señal 155 para frecuencias entre  $\pm 0,5$  GHz (ilustradas en los puntos 288 y 289). Dicho rango de frecuencia no incluye sustancialmente dispersión de Mie de la radiación láser 142 para el aire 144; así pues corresponde a dispersión de Rayleigh sustancialmente pura. El ordenador 156 así pues compara una intensidad de dispersión de Rayleigh a Mie basándose en la relación de la señal 158 a la señal 155. El ordenador 156 determina la intensidad de la dispersión de Rayleigh a Mie comparando una relación de la señal 158 a la señal 155 a frecuencias entre  $\pm 0,5$  GHz a la  
25 relación de la señal 158 a la señal 155 a frecuencias superiores a  $\pm 18$  GHz desde 0 GHz. En una realización, el ordenador 156 realiza cálculos similares para la radiación láser "no dispersada" 142 (p. ej., la componente 143B de la FIG. 2) basándose en los datos ilustrados en la FIG. 6 usando los puntos 268 y 269. Dicho proceso se describe posteriormente en la FIG. 8.

**[0071]** Las relaciones determinadas para la radiación láser no dispersada 142 y para la radiación láser dispersada 148 pueden ser usadas en tándem para calcular numéricamente la convolución teórica láser - Rayleigh - filtro (p. ej.,  $LRF(v)$ ) a partir de los datos. La convolución láser - Rayleigh - filtro es a su vez comparada con una tabla de búsqueda de los valores teóricos de la convolución láser - Rayleigh - filtro para determinar la temperatura y la presión.  
35

**[0072]** La FIG. 8 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de operación metódica 400 de un OADS. El método 400 puede ser realizado parcial o totalmente por el ordenador 156 del OADS 140; el ordenador 156 puede recibir instrucciones operativas del software y/o del firmware. Un láser (p. ej., el láser 141 de la FIG. 2) barre radiación láser a través de un espectro de frecuencias predeterminado, en el paso 401. El láser puede barrer radiación láser a través de un rango de frecuencia de alrededor de  $\pm 20$  GHz transmitiendo radiación láser a una cierta PRF (o puede barrer la frecuencia continuamente), como se debatió en relación con la FIG. 2 anterior). En una realización, la PRF es alrededor de 1 KHz, con una anchura de impulso entre alrededor de 50 ns y 100 ns, y un rango de frecuencia de barrido está centrado alrededor de una frecuencia correspondiente a una frecuencia de absorción máxima (p. ej., 260 nm) de un filtro (p. ej., el filtro de vapor 152, FIG. 2).  
45

**[0073]** La radiación láser se divide típicamente en cuatro trayectos diferenciados de modo que la radiación láser puede ser detectada como cuatro entradas diferentes, en el paso 402. Estos cuatro trayectos de radiación láser corresponden a: 1) radiación láser transmitida por el láser (p. ej., componente 159 de la FIG. 2); 2) radiación láser transmitida por el láser a través del filtro (p. ej., componente 164 de la FIG. 2); 3) radiación láser transmitida por el láser en el aire y retrodispersada (p. ej., componente 150A de la FIG. 2); y 4) radiación láser transmitida por el láser en el aire y retrodispersada a través del filtro (p. ej., componente 157 de la FIG. 2). Para simplificar, estos componentes se referirán de aquí en adelante como: 1) radiación láser sin filtrar; 2) radiación láser filtrada; 3) radiación láser retrodispersada sin filtrar o radiación láser dispersada sin filtrar; y 4) radiación láser retrodispersada filtrada o radiación láser dispersada filtrada.  
55

**[0074]** Después de detectar las cuatro componentes de la radiación láser, un ordenador (p. ej., el ordenador 156, FIG. 2), determina la transmisión del filtro normalizada del filtro de vapor, en el paso 403. Por ejemplo, el ordenador, en una realización procesa la radiación láser sin filtrar y la radiación láser filtrada dividiendo la magnitud de la

radiación láser filtrada por la magnitud de la radiación láser sin filtrar. En una realización, la división se realiza impulso por impulso, donde las magnitudes divididas de los impulsos tienen frecuencias correspondientes.

5 **[0075]** El ordenador también determina, en una realización, un retorno atmosférico normalizado de la radiación láser, en el paso 404. Por ejemplo, el ordenador puede procesar la radiación láser retrodispersada filtrada y la radiación láser retrodispersada sin filtrar dividiendo la magnitud de la radiación láser retrodispersada filtrada por la magnitud de la radiación láser retrodispersada sin filtrar. Nuevamente, en una realización, la división se realiza impulso por impulso, donde las magnitudes divididas de los impulsos tienen frecuencias correspondientes.

10 **[0076]** Una vez se han determinado la transmisión del filtro normalizada y el retorno atmosférico de la radiación láser normalizado, el ordenador determina las intensidades de señal para cada uno de la transmisión del filtro y del retorno atmosférico. Por ejemplo, el ordenador determina la transmisión óptica a través del filtro calculando una relación de la radiación láser filtrada a la radiación láser sin filtrar en rangos de frecuencia particulares, en los pasos 405 y 407. El ordenador determina de forma similar la intensidad de la señal del retorno atmosférico (dispersión) a través del filtro calculando una relación de la radiación láser retrodispersada filtrada a la radiación láser retrodispersada sin filtrar, en rangos de frecuencia particulares en los pasos 406 y 408.

15 **[0077]** El ordenador también determina una relación de intensidad de señal para la transmisión del filtro normalizada dividiendo la radiación láser filtrada por la radiación láser sin filtrar, nuevamente impulso por impulso, a frecuencias de magnitud superior a +/-18 GHz alrededor de la frecuencia de absorción máxima, en el paso 407. El ordenador determina además una relación de intensidad de señal para la transmisión del filtro normalizada dividiendo la radiación láser filtrada por la radiación láser sin filtrar impulso por impulso a frecuencias entre alrededor de +/-0,5 GHz, en el paso 405. Estas determinaciones de intensidad de la señal corresponden a rangos de frecuencia donde la dispersión de Mie (p. ej., +/-18 GHz) y la dispersión de Rayleigh (p. ej., +/-0,5 GHz) son más prevalentes, y así pues son útiles cuando se combinan con determinaciones de intensidad de señal similares para el retorno atmosférico normalizado. El ordenador determina una relación de intensidad de señal de dispersión de Mie para el retorno atmosférico normalizado de la radiación láser dividiendo la radiación láser retrodispersada filtrada por la radiación láser retrodispersada sin filtrar, nuevamente impulso por impulso, a frecuencias de magnitud superior a alrededor de +/-18 GHz alrededor de la frecuencia de absorción máxima, en el paso 408. El ordenador también determina una relación de intensidad de señal de dispersión de Rayleigh para el retorno atmosférico normalizado de la radiación láser dividiendo la radiación láser dispersada filtrada por la radiación láser retrodispersada sin filtrar impulso por impulso a frecuencias entre alrededor de +/-0,5 GHz en el paso 406.

20 **[0078]** Con la transmisión óptica de la señal para el filtro y las intensidades de señal para ambas la dispersión de Rayleigh y la dispersión de Mie determinadas, el ordenador determina una convolución filtro láser Rayleigh en el paso 409. Por ejemplo, el ordenador, en una realización, realiza una convolución de la transmisión óptica con las intensidades de señal de dispersión de Rayleigh y de Mie correspondientes a los rangos de frecuencia para la dispersión de Rayleigh y de Mie de +/-0,5 GHz y +/-18 GHz, respectivamente. El ordenador accede luego a una tabla de búsqueda, tal como la tabla de búsqueda 170 de la FIG. 2 que tiene valores teóricos de la convolución filtro láser Rayleigh para determinar la temperatura y la presión del aire, en el paso 410.

25 **[0079]** También es posible calcular una convolución de una función de filtro medida con un retorno de Rayleigh-Brillouin teórico (forma de línea Rayleigh), y comparar directamente la convolución con la radiación láser dispersada filtrada. Esto permite el cálculo de los parámetros atmosféricos sin calcular una deconvolución de la señal Rayleigh-Brillouin, reduciendo la complejidad de los cálculos en tiempo real necesarios para determinar los parámetros atmosféricos. En particular, las relaciones de las señales medidas se pueden comparar directamente a las relaciones teóricas de una forma de línea Rayleigh convolucionada con funciones de filtro medidas para permitir mediciones de autocalibración. Por ejemplo, las variaciones de intensidad de la señal a través de los canales de adquisición de datos y la potencia de la radiación láser dispersada pueden ser normalizados intrínsecamente cuando se usan dichas relaciones. Ciertas relaciones de los datos medidos a frecuencias del láser que están dentro de las bandas filtradas de los filtros trampa ópticos (p. ej., las características de absorción de una celda de vapor atómico, o características equivalentes de otros filtros, como se debatió anteriormente) pueden ser útiles para determinar la temperatura y la presión, ya que la dispersión de Mie es eliminada de los datos medidos. El cálculo de convoluciones puede representar una carga computacional menor en un ordenador (p. ej., el ordenador 156 del OADS 140) en comparación con calcular las deconvoluciones de los datos medidos dentro y fuera de una representación Rayleigh-Brillouin.

30 **[0080]** Por ejemplo, los datos de radiación láser dispersa filtrada en un canal de señal pueden ser caracterizados por la ecuación:

$$S_s(v) = P_L T_L T_R E_s D_s \iint dv_1 dv_r L(v_{laser}) F(v_1 - v) \left( rR(v - (v_r - \Delta v_D)) + mM(v - (v_r - \Delta v_D)) \right)$$

35 (Ec. 24)

donde los parámetros son como se definió anteriormente, y un subíndice 1 indica una frecuencia de medición 1. La Ec. 24 puede ser simplificada utilizando la notación  $LFR(v)$  para la convolución de láser, función de filtro y retorno de

Rayleigh, como se definió anteriormente, y una notación similar  $LFR(v)$  para una convolución de láser, función de filtro y retorno de dispersión de Mie:

$$S_S(v_1) = P_{Ll} T_{Ll} T_{Rl} E_{Sl} D_{Sl} [rLFR(v_1) + mLFM(v_1)] \quad (\text{Ec. 25})$$

5 **[0081]** Si la frecuencia 1 está ubicada en una banda de absorción del filtro, el término dispersión de Mie se elimina efectivamente, produciendo:

$$S_S(v_1) = P_{Ll} T_{Ll} T_{Rl} E_{Sl} D_{Sl} rLFR(v_1) \quad (\text{Ec. 26})$$

**[0082]** Formar una relación de una señal obtenida a la frecuencia 1 con una señal obtenida a otra frecuencia 2 en otra banda de absorción del filtro produce:

$$\frac{S_S(v_1)}{S_S(v_2)} = \left[ \frac{P_{La} L_{La} T_{Ra} E_{Sa} D_{Sa}}{P_{Lb} L_{Lb} T_{Rb} E_{Sb} D_{Sb}} \right] \left[ \frac{r_a (r_b + m_b)}{r_b (r_a + m_a)} \right] \left[ \frac{LFR(v_1)}{LFR(v_2)} \right] \quad (\text{Ec. 27})$$

10 donde la frecuencia 1 se mide en el tiempo a y la frecuencia 2 se mide en el tiempo b. Si los tiempos a y b está suficientemente próximos entre sí para que no se produzcan cambios atmosféricos entre el tiempo a y el tiempo b (o si las mediciones se intercalan de tal forma que los valores medios de parámetros tales como P, L, T, E, D y r sean idénticos a lo largo de un intervalo de tiempo de las mediciones) entonces la relación de la Ec. 27 se simplifica adicionalmente a:

$$15 \quad \frac{S_S(v_1)}{S_S(v_2)} = \frac{LFR(v_1)}{LFR(v_2)} \quad (\text{Ec. 28})$$

**[0083]** En una realización, una tabla de búsqueda almacena pares temperatura y presión que corresponden con dos de las relaciones de medición definidas en la Ec. 28. Las dos relaciones definen esencialmente dos ecuaciones con dos incógnitas (es decir, una sola de dichas relaciones no puede determinar ambas, presión y temperatura). Los datos también se pueden tomar en más de tres bandas filtradas, produciendo más de dos de las relaciones de la Ec. 28; cuando están disponibles más de dos de dichas relaciones, se pueden determinar varios valores de temperatura y presión que pueden ser promediados o usados en métodos "mejor ajuste" para mejorar la determinación de la temperatura y la presión en un ambiente de medición ruidoso.

**[0084]** En una realización, formas de línea Rayleigh teóricas correspondientes a combinaciones de temperatura y presión se almacenan en una tabla de búsqueda. Se calcula una curva de referencia obteniendo una forma de línea Rayleigh correspondiente a una temperatura y presión estimadas de la tabla de búsqueda y convolucionando la forma de línea Rayleigh con una curva de retorno atmosférico normalizada. Luego se pueden determinar valores de  $LFR(v)$  a los máximos de la característica de absorción a partir de la curva de referencia y usarse para determinar uno o más parámetros del aire (p. ej., temperatura y/o presión) usando la Ec. 28.

**[0085]** Calculando la convolución de la función de filtro medida con la forma de línea Rayleigh teórica también permite utilizar rutinas de ajuste de curva para elaborar un mapa de las curvas convolucionadas a las condiciones de temperatura y presión verdaderas, de forma tal que no sean necesarios los cálculos de deconvolución sugeridos por el artículo de Tenti, Boley y Desai anterior. Un OADS puede almacenar una tabla recopilada previamente de formas de curva almacenadas que son generadas modelizando grandes bases de datos de valores de temperatura y presión conocidos (p. ej., la tabla puede ser almacenada en el ordenador 156 del OADS 140). A medida que se realizan las mediciones, se pueden generar curvas de datos a partir de los datos medidos, y se pueden usar rutinas de ajuste de curva para comparar las curvas de datos con las formas de curva almacenadas para obtener la temperatura y presión verdaderas. La utilización de rutinas de ajuste de curva también puede tener menos sensibilidad a datos ruidosos, comparada con los cálculos de deconvolución, haciendo más robusta la determinación de la temperatura y presión verdaderas.

**[0086]** La FIG. 9 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de método de operación 450 de un OADS, que se puede usar para calcular uno o más parámetros del aire. El método 450 se puede realizar parcial o totalmente mediante el ordenador 156 del OADS 140; el ordenador 156 puede recibir instrucciones operativas del software y/o firmware.

**[0087]** En una realización del paso 460, un láser (p. ej., el láser 141 de la FIG. 2) barre radiación láser a través de un rango de frecuencia predeterminado (rango de frecuencia de barrido) que está centrado alrededor de +/-20 GHz transmitiendo la radiación láser a una cierta PRF, o barriendo la frecuencia de un láser de onda continua. En una realización, una PRF tiene alrededor de 1 kHz, con una anchura de impulso entre alrededor de 50 ns y 100 ns, y el rango de la frecuencia de barrido está centrado alrededor de una frecuencia que corresponde a una frecuencia de

absorción máxima (p. ej., 260 nm) de un filtro (p. ej., filtro de vapor 152, FIG. 2, o un filtro de interferencia, un filtro de red de difracción de Bragg de fibra, un filtro dicróico, un filtro de red de difracción holográfico volumétrico, o un filtro Rugate). En una realización, el rango de la frecuencia de barrido incluye frecuencias que corresponden a al menos dos características de absorción de al menos un filtro de supresión de banda. En otra realización, el rango de la frecuencia de barrido incluye frecuencias que corresponden a al menos tres características de absorción de al menos un filtro de supresión de banda.

[0088] El paso 462 detecta la radiación láser correspondiente a la radiación láser dispersada filtrada (p. ej., la componente 157 de la FIG. 2), radiación láser filtrada (p. ej., la componente 164 de la FIG. 2), y radiación láser sin filtrar (p. ej., la componente 159 de la FIG. 2) a cada frecuencia; cada paso 460 y 462 es por ejemplo realizado para cada impulso láser en el rango de la frecuencia de barrido.

[0089] El paso 464 determina una curva de transmisión de filtro normalizada dividiendo una magnitud de radiación láser filtrada por una magnitud de radiación láser sin filtrar para cada impulso en el rango de la frecuencia de barrido; el paso 466 determina una curva de retorno atmosférico normalizada dividiendo una magnitud de radiación láser dispersa filtrada por una magnitud de radiación láser sin filtrar para cada impulso en el rango de la frecuencia de barrido. Se apreciará que como los datos requeridos para los cálculos en los pasos 464 y 466 son recogidos por la operación de los pasos 460 y 462, los pasos 464 y 466 se pueden efectuar en cualquier orden o en paralelo.

[0090] El paso 468 calcula un desplazamiento Doppler  $\Delta v_D$  que es un desplazamiento de frecuencia entre la curva de transmisión del filtro normalizada (calculada en el paso 464) y la curva de retorno atmosférico normalizada (calculada en el paso 466), luego calcula una velocidad del viento radial local  $v_R$  usando la Ec. 1 anterior. Como se indicó anteriormente, un filtro de supresión de banda puede tener varias características de absorción; en consecuencia, varios cálculos de desplazamiento Doppler  $\Delta v_D$  y velocidad del viento radial  $v_R$  se pueden calcular en el paso 468.

[0091] El paso 470 utiliza solamente valores de magnitud de la curva de retorno atmosférico normalizada (calculada en el paso 466) en tres o más bandas de absorción del filtro específicas para formar dos o más relaciones de retorno atmosférico normalizadas (relaciones reales). Por ejemplo, si los datos de retorno atmosférico se calculan para las frecuencias 1, 2 y 3 (en tiempos que están lo suficientemente próximos entre sí, como se debatió con referencia a la Ec. 28 anterior), entonces se pueden formar dos relaciones usando una de las frecuencias como línea de referencia

$$\frac{S_S(\nu_1)}{S_S(\nu_2)} \text{ y } \frac{S_S(\nu_3)}{S_S(\nu_2)}$$

(denominador), tales como  $\frac{S_S(\nu_1)}{S_S(\nu_2)}$  y  $\frac{S_S(\nu_3)}{S_S(\nu_2)}$ . Se pueden usar valores de magnitud de la curva de retorno atmosférico correspondientes a los máximos de la característica de absorción de uno o más filtros de supresión de banda. Se puede determinar una relación de retorno atmosférico (relación real) si por ejemplo solamente se ha de calcular un parámetro del aire (p. ej., presión o temperatura).

[0092] El paso 472 obtiene datos de presión y temperatura teóricos desde una tabla de búsqueda de transmisión de filtro normalizada convolucionada con formas de línea Rayleigh obtenidas teóricamente, a las frecuencias utilizadas en el paso 470. Luego se estiman uno o más parámetros del aire (p. ej., temperatura y/o presión). Una forma de línea Rayleigh correspondiente a los uno o más parámetros del aire estimados se obtiene por ejemplo desde una tabla de búsqueda. Luego se calcula una curva de referencia convolucionando la forma de línea Rayleigh con la curva de transmisión del filtro normalizada desde el paso 464.

[0093] En el paso 474, las relaciones correspondientes a las relaciones formadas en el paso 470 se forman a partir de valores de magnitud de la curva de referencia calculada en el paso 472. Se puede referir a las relaciones formadas en el paso 474 como a relaciones de referencia.

[0094] En el paso 476, se determinan uno o más parámetros del aire (p. ej., temperatura y presión). Se puede calcular un error correspondiente a las diferencias entre la una o más relaciones actuales y las correspondientes una o más relaciones de referencia: si el error está dentro de un rango aceptable, los uno o más parámetros del aire estimados (correspondientes a la forma de línea Rayleigh) se publican como los uno o más parámetros del aire reales; pero si el error no está dentro de un rango aceptable, se repiten los pasos 472, 474 y 476 con uno o más parámetros del aire estimados diferentes hasta que el error esté dentro de un rango aceptable.

[0095] El error del paso 476 se puede calcular usando un algoritmo de ajuste por mínimos cuadrados. Los pasos 470, 474 y 476 pueden ser opcionales; la curva de retorno atmosférico normalizada calculada en el paso 466 se correlaciona por ejemplo con la curva de referencia calculada en el paso 472 usando rutinas de ajuste de curvas.

[0096] Ciertas ventajas de las realizaciones descritas anteriormente pueden incluir:

- (1) Obtener cálculos exactos de varios parámetros del aire, tales como velocidad del aire, temperatura del aire y presión del aire, sustancialmente independientemente de la altitud y/o dispersión de Mie;
- (2) Obtener un sistema que actúe con precisión en diversos ambientes con vibraciones;



(3) Obtener una capacidad para determinar la temperatura y la presión en una región determinada de la atmósfera sin conocimiento previo de la atmósfera;

(4) Reducir la necesidad de calibraciones para los sistemas en el avión y las comprobaciones del estado del sistema, en comparación con los sistemas existentes;

5 (5) Proporcionar robustez por lo que respecta a ambientes con altas vibraciones;

(6) Obtener cálculos más rápidos y/o exigencias de cálculo reducidas en los ordenadores del avión, en comparación con los sistemas existentes;

(7) Capacidad para calcular con exactitud la velocidad en ambientes con temperatura y/o presión cambiante; y/o;

10 (8) Capacidad para calcular con exactitud uno o más parámetros del aire (p. ej., velocidad, temperatura, y/o presión) sin control preciso de la frecuencia del láser.

[0097] Puede ser deseable medir parámetros del aire, tales como velocidad y temperatura, a distancias (o alcances) seleccionadas desde un Sistema de Datos del Aire Exterior. En un avión, las discrepancias entre la velocidad del aire cerca del avión y la velocidad del aire en una zona más distante delante del avión pueden proporcionar aviso de actividad de cizalladura de viento o microrráfagas. En aplicaciones basadas en tierra, es sabido que la velocidad del viento, la dirección del viento y la temperatura del aire pueden variar con la altitud, y la altitud sobre un sistema de datos del aire corresponde a la distancia sobre el sistema.

[0098] Un OADS del tipo debatido en este documento con referencia a las Figuras 1-9 puede ser operado en un modo pulsado. En este modo, cada vez que el láser 141 emite un impulso de radiación láser, el detector 153 hace mediciones a uno o más de varios retardos de tiempo específicos después del impulso. Los parámetros de datos del aire obtenidos a partir de las mediciones efectuadas a cada retardo de tiempo concreto desde el impulso corresponden a parámetros de datos del aire a una distancia o alcance particular desde el sistema OADS.

[0099] Una realización alternativa del OADS que proporciona resolución de distancia y permite usar láseres de menor coste permitiendo que el OADS opere a una potencia de salida del láser máxima inferior es la propuesta "Onda Continua Modulada Aleatoriamente" (RMCW por sus siglas en inglés) ilustrada en la Fig. 10. En este sistema, un generador de secuencia pseudoaleatorio 550 genera continua y repetidamente una secuencia de código binario pseudoaleatorio. El código pseudoaleatorio posee una autocorrelación función delta, que significa que una correlación cruzada matemática del código consigo mismo produce una función delta en el retardo de tiempo cero. El código pseudoaleatorio se envía a un modulador de amplitud 553, que modula en amplitud un láser sintonizable 552; el láser sintonizable 552 corresponde al láser 141 de la Fig. 2. El modulador 553 puede ser una subsección integral del láser 552, como es el caso con los láseres de diodo, o puede ser componente aparte exterior al láser 552, tal como moduladores Litio:Niobiato, moduladores optoacústicos o dispositivos similares. La radiación láser del láser 552 entra a un divisor de haz 554. Una porción de la radiación del divisor de haz 554 pasa a través del filtro 556 y llega al detector 558. Otra porción de la radiación del divisor de haz 554 es transmitida al aire, es dispersada, y sometida al desplazamiento Doppler por el aerosol y los dispersores moleculares 560, y retorna al OADS donde pasa a través del filtro 556 al detector 562.

[0100] Mientras tanto, el código pseudoaleatorio del generador de secuencia 552 pasa a un procesador de señal digital 554 para ser utilizado en la interpretación de la salida del detector 562. La salida del detector 562 se convierte primero en una representación digital usando el convertidor analógico a digital 563. Para cada código pseudoaleatorio generado por el generador de secuencia 550, la salida del convertidor analógico a digital 563 se añade a una posición de memoria única. Estas "n" posiciones de memoria únicas se denominan colectivamente una Memoria de Histograma 555. De forma similar, la Memoria de Histograma 555 retorna a la primera posición de memoria única y empieza sumar cada nueva salida del convertidor analógico a digital 563 al valor acumulado contenido en cada posición de memoria única, empezando con la primera posición única y procediendo en secuencia. Este proceso continuo se repite una vez, o tantas veces como se desee.

[0101] Una realización transmite y recoge repetidamente suficientes iteraciones a través de la secuencia pseudoaleatoria en la Memoria de Histograma 555 hasta que se consigue una relación señal - ruido del LIDAR suficiente (o medida de rendimiento del sistema LIDAR similar). Una vez se han recogido datos suficientes en la Memoria de Histograma 555, los "n" valores acumulados en las "n" posiciones de memoria únicas se pasan al procesador de señal digital 554. El procesador de señal digital 554 realiza una correlación cruzada matemática sobre las dos secuencias de "n" valores: una que llega desde el generador de código pseudoaleatorio 550 y una que llega desde la Memoria de Histograma 555. La salida resultante se denomina la señal correlacionada 570 y proporciona la señal de retorno con resolución del alcance. La señal correlacionada 570 se usa luego para determinar los parámetros del aire a todas las distancias específicas desde el OADS.

[0102] Durante los cálidos días de verano en grandes zonas de los Estados Unidos, el aire 604 se calienta cerca de la superficie, como por ejemplo una pista de aterrizaje 602 (Figura 11). Por la tarde, esto da lugar frecuentemente a condiciones de "aire inestable", en las que el aire caliente 604 puede ascender 606, a veces rápidamente. El aire es

atraído hacia el interior hacia la base de la columna de aire resultante, y puede empezar a girar. Dependiendo de las condiciones, la perturbación resultante puede variar desde un "remolino de polvo" a desencadenar fenómenos de distribución más amplia como una tormenta, huracán o tornado. Incluso un remolino de polvo puede suponer peligro para un avión que intente aterrizar o despegar a su través. De forma similar, los remolinos de polvo pueden provocar fuertes rachas de viento que pueden suponer problemas para los sistemas de energía eólica que puedan encontrar.

**[0103]** El aire caliente ascendente puede llevar humedad con él, y puede ascender a elevadas altitudes donde la humedad se condense en lluvia. La lluvia al caer puede arrastrar hacia abajo una columna de aire 608, algunas veces bastante rápidamente. Como el terreno impide el flujo de aire, el aire de la columna de aire que desciende 608 puede expandirse hacia afuera en una o más direcciones desde el centro de la columna en un fenómeno conocido como una microrráfaga. El avión aterriza típicamente a lo largo de una trayectoria de planeo 610 de entre tres y seis grados con la horizontal, y típicamente mantiene una velocidad de aproximación respecto al aire a lo largo de una ruta de aproximación alineada con la pista mientras lo hace. Según los investigadores, un Lockheed L-1011 intentó aterrizar en Dallas mientras una microrráfaga interceptó la ruta de aproximación. A medida que descendía a lo largo de la trayectoria de planeo, se encontró primero con vientos frontales, luego una corriente descendente, y finalmente un viento de cola. El L-1011 redujo para mantener la velocidad respecto al aire durante el viento frontal, y en el momento en que atravesó la corriente descendente a la zona del viento de cola tenía insuficiente velocidad respecto al aire para seguir volando –y cayó a tierra poco antes de la pista de aterrizaje. Este accidente dio lugar a un gran interés por detectar las microrráfagas y otras cizalladuras de viento a baja cota cerca de los aeropuertos para que se puedan evitar hechos similares.

**[0104]** Los sistemas de energía eólica, tales como el ilustrado en la FIG. 12, generan energía en cantidades que varían drásticamente con la velocidad del viento. En particular, no se genera energía cuando la velocidad del viento desciende por debajo de una velocidad del viento mínima, o de corte. Este mínimo es función de parámetros específicos del aerogenerador incluida la demultiplicación entre el buje y el alternador, el diseño del alternador, el diseño de las aspas y la longitud de las mismas. Estos parámetros del aerogenerador también determinan parcialmente un rango de velocidades de viento de óptima generación de energía para el aerogenerador.

**[0105]** Los sistemas de energía eólica también pueden ser dañados por fuertes vientos o turbulencia, los aerogeneradores típicamente tienen determinadas las condiciones de viento máximas permitidas para la operación por estos parámetros del aerogenerador así como otros parámetros específicos del aerogenerador tales como la altura y resistencia de la torre, la resistencia de las aspas y el diseño de los rodamientos del buje –cuando la velocidad del viento o la turbulencia superan este máximo, el aerogenerador generalmente debe plegarse y cuando está plegado no genera energía. Como el viento puede variar con la estación, así como con el terreno, es deseable registrar las condiciones de viento a breves intervalos a lo largo de un tiempo largo –que se extiende a lo largo de al menos varios meses a un año– para determinar los emplazamientos apropiados y las especificaciones óptimas del aerogenerador para la construcción de sistemas de energía eólica o parques eólicos. Es deseable obtener datos de velocidad y dirección del viento a varias altitudes en cada lugar propuesto, incluido en superficie, a la altura del buje, y a las altitudes mínima y máxima de las palas; obtener estos datos es parte de el estudio del lugar para un sistema de energía eólica. Los datos acumulados se pueden usar para determinar las especificaciones óptimas del aerogenerador para, y predecir la potencia de salida esperada del sistema de energía eólica de, un sistema de energía eólica o parque eólico.

**[0106]** Típicamente, los sistemas de energía eólica tienen un conjunto de uno o más aerogeneradores 702. Los grandes sistemas de energía eólica, conocidos como parques eólicos, pueden incluir docenas o incluso cientos de aerogeneradores individuales próximos entre sí y ubicados en emplazamientos favorables que tienen viento favorable, tales como Altamont Pass cerca de Livermore, California. Cada aerogenerador 702 del sistema tiene una, dos, o más palas 704 acopladas a un buje 706 que directamente, o indirectamente por medio de una transmisión, acciona un alternador que está típicamente alojado en una góndola 708.

**[0107]** La mayoría de los aerogeneradores son del tipo de eje horizontal y requieren un subsistema de orientación para garantizar que el aerogenerador y sus palas se mantienen en un ángulo apropiado con el viento a pesar de los cambios de dirección del viento. El subsistema de orientación puede adoptar la forma de una cola 710 como se usa corrientemente en los aerogeneradores pequeños que tienen las palas a barlovento de la torre 712. En algunos otros generadores 713, el sistema de orientación tiene un pivote (no mostrado) bajo la góndola 715 con las palas 717 colocadas a sotavento de la torre 712 de forma que el arrastre del viento sobre las palas tiende a orientar el aerogenerador en el ángulo correcto con el viento. El subsistema de orientación incluye típicamente una sujeción giratoria (no mostrada) de la góndola 708, 715 a la torre 712. Se conocen otras formas de sistemas de orientación activos y pasivos.

**[0108]** Muchos aerogeneradores tienen un sistema de plegado que aumenta el paso o pone en bandera las palas, o las aleja del viento, para proteger el aerogenerador de vientos potencialmente dañinos tales como rachas de viento o vientos fuertes y condiciones de tormenta; el sistema de plegado puede interactuar con el sistema de orientación o con un sistema de paso de las palas, se conocen otras variaciones incluidos frenos de aire, frenos mecánicos y monturas replegables.

- 5 **[0109]** Muchos aerogeneradores tienen un sistema de paso para controlar el paso de la pala, donde un ángulo de ataque de la pala 704 al viento se varía desde un paso fino con vientos flojos pasando por un paso grueso con vientos fuertes a la puesta en bandera en condiciones de viento potencialmente dañinas –el control del paso de la pala puede servir como sistema de plegado. Algunos grandes aerogeneradores tienen control independiente del paso de la pala donde el ángulo de ataque de las palas se puede ajustar independientemente, y en algunos sistemas los pasos de la pala se pueden ajustar independientemente de forma cíclica durante una revolución.
- 10 **[0110]** La energía eléctrica es recogida de los alternadores de todos los aerogeneradores 702 de un sistema mediante el aparato de recogida y procesado de la energía 720; una vez recogida la energía puede ser alimentada a la red eléctrica, almacenada para uso posterior, o usada localmente.
- 15 **[0111]** Los aerogeneradores están disponibles en una amplia variedad de tipos y tamaños que varían desde pequeños aerogeneradores de unos pocos vatios de capacidad, tales como lo que se han usado para proporcionar una pequeña cantidad de energía eléctrica a un planeador o aeroplano, a aerogeneradores de unos pocos cientos o unos pocos miles de vatios de capacidad tales como los que se usan frecuentemente para residencias fuera de la red, a grandes aerogeneradores que tienen más de 2 megavatios de capacidad de generación máxima y que alimentan, típicamente, una gran red eléctrica. Los sistemas eólicos pueden incluir más de un tipo de aerogenerador, y pueden estar suplementados o cubiertos con otros tipos de generación de energía renovable y no renovable.
- 20 **[0112]** Los aerogeneradores 702 y las torres 712 asociadas, incluidas las palas 704, están sometidos a cargas de viento variables, y ocasionalmente, grandes. Como las palas 704 son con frecuencia bastante largas, su masa en rápido giro combinada con las altas y posiblemente desequilibradas cargas de viento pueden provocar una vibración y esfuerzos sustanciales en la góndola y la torre. El exceso de carga de viento ha producido daños a aerogeneradores y torres, hasta e incluido el derrumbe.
- 25 **[0113]** La cizalladura de viento es una condición meteorológica local en la que la velocidad y/o dirección del viento varía con la altitud, Esto puede provenir de turbulencia desde colinas, árboles, otros aerogeneradores, y crestas montañosas así como de fenómenos convectivos como microrráfagas y remolinos de polvo. Además de que la cizalladura de viento supone un peligro para los aviones cerca de un aeropuerto, también supone un peligro para los aerogeneradores ya que las palas pueden estar expuestas a fuerzas de viento que varían sustancialmente durante una revolución, agravando a su vez la vibración y el esfuerzo de carga. Una solución estándar a este problema es incrementar la altura de la torre para que el aerogenerador esté expuesto a viento más uniforme que el que se dispone a menor altitud –esto puede incrementar considerablemente el coste de la torre y las exigencias de resistencia y son deseables otras soluciones. La vibración durante largos períodos ha producido daños a aerogeneradores y torres, incluida fatiga metálica de las torres. Si se conoce la velocidad y dirección del viento con la altitud, también se puede reducir la vibración inducida por la cizalladura de viento ajustando el paso de la pala a medida que la pala pasa de una altitud a otra, de modo que el esfuerzo sobre las palas altas se equilibre más uniformemente por el esfuerzo sobre las palas inferiores.
- 30 **[0114]** Se sabe que las condiciones de tormenta, microrráfagas y remolinos de polvo, así como otras condiciones meteorológicas, pueden producir condiciones racheadas que pueden dar lugar a una carga de viento sobre la pala 704 de un aerogenerador que cambie drásticamente en cuestión de segundos; estas condiciones pueden por consiguiente cambiar desde unas buenas condiciones para generar energía a condiciones que requieren modificar el paso de la pala o incluso el plegado rápido para evitar excesiva carga de viento y daños al aerogenerador o a la torre.
- 35 **[0115]** Muchos aerogeneradores detectan el cambio en las condiciones de viento vigilando la producción de energía y/o la frecuencia de rotación de las palas 704, estos aerogeneradores solamente pueden responder después de que se han producido los cambios.
- 40 **[0116]** Un sistema de datos del aire instalado en tierra 714 puede estar ubicado cerca de uno o más aerogeneradores de un sistema para proporcionar información del viento adicional y en tiempo real, e información relativa a condiciones del aire inestables, con lo que optimizar el paso de la pala o plegarla, antes de que esas condiciones lleguen al aerogenerador. De forma similar, un sistema de datos del aire 722 puede estar ubicado en un buje o góndola de un aerogenerador para proporcionar información acerca de los vientos que se aproximan –incluyendo avisar de ráfagas próximas.
- 45 **[0117]** Las patentes US Nº 7.342.323, 7.281.891 y 6.320.272 describen aerogeneradores que incluyen sistemas láser de medición de la velocidad del viento montados en la góndola o en un buje de un aerogenerador, para determinar las velocidades del aire delante del aerogenerador. Los sistemas cambian el paso de las palas dependiendo de las velocidades del viento que llega. Todos estos sistemas utilizan un LIDAR coherente, pulsado o de onda continua. Dichos sistemas solamente pueden usar la dispersión de Mie y no pueden utilizar la dispersión de Rayleigh, disminuyendo la robustez de su medición en aire atmosférico claro y excluyen su capacidad para medir la temperatura o la presión atmosféricas. Dichos sistemas miden velocidades pero suponen que la velocidad del viento es constante con la altitud y alineada con el eje del aerogenerador. Algunos de estos sistemas miden la variación de la velocidad del viento con la altitud; el sistema de 7.281.891 en particular tiene un LIDAR montado en buje descentrado que escanea una región cónica delante del aerogenerador a medida que éste gira. El sistema de
- 50
- 55

7.281891 describe la detección de la velocidad del viento por técnicas de LIDAR Doppler en una región escaneada cónica, pero no declara detección de temperatura o detalles de la operación del LIDAR y la determinación de la distancia.

5 **[0118]** Nosotros por consiguiente ofrecemos un sistema de elaboración de un mapa de viento basado en tierra para el estudio del lugar y/o el control del sistema que es capaz de elaborar un mapa y registrar la dirección y velocidad del viento, junto con la temperatura del aire a diversas altitudes y distancias de interés para un sistema de energía eólica, incluso cuando la atmósfera está muy limpia de aerosoles. También ofrecemos un sistema montado en buje capaz de elaborar un mapa de la dirección y velocidad del viento a un rango de altitudes y distancias en una zona a barlovento de un aerogenerador.

10 **[0119]** Un sistema de datos del aire basado en tierra 800 puede ser montado como se muestra en la Figura 13 montando tres transeptores láser 802, 804, 806 tales como el dispositivo transeptor Rayleigh - Mie descrito anteriormente con referencia a las Figuras 1-10 en una carcasa común 808 y una ventana 810. Todos los tres transeptores proporcionan datos al, y trabajan bajo el control del, ordenador 812. Todos los tres transeptores 802, 804, 806, están orientados a través de la ventana común 810, no obstante cada uno de ellos está orientado en un  
15 eje ligeramente diferente 814, 816, 818, tal que los tres ejes no se encuentran en un plano común.

**[0120]** El ordenador 812 utiliza cada uno de los transeptores 802, 804, 806 para medir un desplazamiento Doppler a una primera distancia del sistema 800. Estos desplazamientos Doppler se usan, junto con una orientación conocida del sistema, por el ordenador 812 para calcular una dirección y velocidad del viento a esa distancia o  
20 altitud. De forma similar, el ordenador 812 utiliza al menos uno de los transeptores 802, 804, 806 para detectar la temperatura a la misma altitud. En una realización, la velocidad del viento, la dirección del viento y la temperatura del aire son detectados y registrados a varias altitudes variando desde cero hasta dos mil pies, o mayor, a intervalos de tiempo periódicos.

**[0121]** La realización de la Figura 13 se puede combinar con un sistema de energía solar 830 y registrador de datos digitales 832 para realizar la vigilancia del lugar de un emplazamiento propuesto para sistemas de energía eólica, en  
25 una realización el registrador de datos digitales 832 registra la velocidad del viento mínima, media y máxima ráfaga con la temperatura del aire a cuatro altitudes seleccionadas a intervalos de quince minutos, y tiene capacidad de almacenamiento suficiente para hacerlo así durante al menos un mes sin sobrescribir los datos registrados. Otras realizaciones pueden registrar datos adicionales, una realización prevista registra la velocidad del viento mínima, media, y máxima y observaciones de la dirección desde seis altitudes a intervalos de diez minutos. Todavía otras  
30 realizaciones del sistema de estudio in situ pueden incluir el escaneo de una zona, como se describe a continuación con referencia a la realización de la Figura 15, y registrar datos de velocidad del viento y dirección a varias altitudes en varios emplazamientos en una zona de interés.

**[0122]** La realización de la Figura 13 también se puede colocar en un aeropuerto para detectar cizalladura de viento y otras condiciones de peligro del viento. Igualmente, la realización de la Figura 13 también se puede usar para  
35 vigilar la velocidad del viento y los perfiles de temperatura para aplicaciones meteorológicas, incluida la vigilancia y predicción del tiempo.

**[0123]** De forma similar, las realizaciones de la Figura 13 también se pueden colocar en un aeropuerto y alineadas a lo largo de una ruta de aproximación y trayectoria de planeo. Como el avión volará hacia ellas, es necesario que  
40 estos sistemas utilicen longitudes de onda largas tales como 1500 nanómetros que son invisibles y no dañinas para el ojo humano. Estos dispositivos miden la velocidad y dirección del viento a varias distancias a lo largo de la trayectoria de planeo; estos datos pueden ser procesados para proporcionar avisos de inestabilidad convectiva, cizalladura de viento a baja cota, remolinos de polvo, tornados, vientos cruzados peligrosos, microrráfagas y similares condiciones peligrosas relacionadas con el viento.

**[0124]** En una realización alternativa del sistema de datos del aire basado en tierra 900, como se ilustra en la Figura  
45 14, un conjunto transmisor 902 está adaptado para proporcionar modulación pseudoaleatoria del modulador 903 a tres (o más) conjuntos conjuntos transmisor transmisor láser - telescopio RMCW incoherentes 904, 906, 908. Cada uno de los tres (o más) transmisor láser - telescopio 904, 906, 908 están alineados en un eje diferente 910, 912, 914, los ejes orientados de forma que los tres ejes no sean mutuamente coplanares, y orientados a través de la ventana 916 en una carcasa 918. Cada uno de los conjuntos transmisor láser - telescopio transmite radiación láser modulada  
50 en el aire a lo largo de su eje asociado, donde tendrá lugar dispersión de Mie y Rayleigh. En una realización particular, los conjuntos transmisor láser - telescopio trabajan a 1550 nanómetros.

**[0125]** De forma similar, un conjunto receptor 920 tiene tres (o más) conjuntos fotodetector - telescopio 922, 924, 926 cada uno alineado sobre un eje 928, 930, 932. Cada uno de estos ejes receptores 928, 930, 932 está alineado  
55 paralelo a, y ligeramente convergente con, un eje transmisor 910, 912, 914. La electrónica del receptor 940, 942, 944 recibe señales de un conjunto fotodetector - telescopio asociado 922, 924, 926 y correlaciona la señal recibida con modulación muestreada del modulador 903 para proporcionar mediciones con resolución de distancia del desplazamiento Doppler de la radiación dispersa Mie y Rayleigh recibidas por el conjunto fotodetector - telescopio asociado.

**[0126]** El ordenador 950 recibe información de todas las tres (o más) electrónicas receptoras 940, 942, 944 y calcula la velocidad de viento y la dirección del viento a varias distancias desde el aparato 900 a partir de los datos de dispersión de Rayleigh y de Mie; actualizando las mediciones de velocidad del viento y dirección del viento cada décimo de segundo, o más rápido, si se requiere.

5 **[0127]** En una realización particular, uno de los transeptores 904/926, o un transeptor láser adicional 952 como se describió previamente con referencia a las Figuras 1-10, se usa para determinar la temperatura a varias distancias desde la unidad. Esta unidad por lo tanto puede proporcionar un perfil de velocidad del viento, dirección y temperatura con la altitud, estas mediciones se pueden comparar con límites para proporcionar aviso de cizalladura de viento en aeropuertos o registrarse con un registrador digital para realizar un estudio del lugar para sistemas de energía eólica. Además, con la ayuda de un sensor de humedad aparte a nivel del suelo, se procesan los datos de temperatura frente a altitud del sistema para proporcionar una medida de la inestabilidad convectiva; esta medida de inestabilidad convectiva proporciona un aviso temprano de condiciones en las que es probable que se desarrolle actividad convectiva tal como remolinos de polvo, microrráfagas, tormentas, y tornados incluso si dichas condiciones de viento aún no existen en el campo de visión del sistema.

15 **[0128]** Las mediciones de temperatura frente a altitud se pueden combinar con una medición de humedad de otro aparato para dar una medida de la inestabilidad del aire. Como el aire inestable puede dar lugar a y alimentar la actividad convectiva, variando desde simples remolinos de polvo a tornados todos los cuales pueden producir condiciones borrascosas; los umbrales de plegado pueden ser reducidos por un controlador de aerogenerador cuando existen condiciones de inestabilidad.

20 **[0129]** Una realización alternativa del OADS 1000 se ilustra en la Figura 15. En esta realización al menos un transmisor láser de datos del aire, 1002, y un receptor, 1004, como se debatió anteriormente con referencia al OADS RMCW de las Figuras 1-10, están orientados a un prisma de escaneo, 1006, o una red de difracción holográfica o espejo orientable, por ejemplo, que barre un área de interés. El prisma de escaneo 1006 está acoplado a una montura motorizada 1008 que mueve el prisma para escanear el campo de visión del transmisor y receptor láser de datos del aire 1002, 1004 verticalmente para que el campo de visión sea escaneado a lo largo de un rango de ángulos tal como ángulos que varían desde la horizontal a directamente encima del OADS.

25 **[0130]** En una realización, el transmisor láser de datos del aire 1002, el receptor 1004, el espejo 1006 y la montura motorizada 1008 están montados en una torreta giratoria 1010, la torreta giratoria 1010 está dispuesta de tal forma que el campo de visión del OADS se escanea horizontalmente a lo largo de una región de 360 grados alrededor del OADS. En una realización alternativa, el transmisor láser 1002 y el receptor 1004 están fijos, pero el prisma de escaneo 1006 gira mediante la montura motorizada 1008 para escanear. De esta forma el campo de visión del OADS se escanea a lo largo de un volumen hemisférico de aire centrado en el emplazamiento del OADS y de radio hasta dos o más kilómetros.

30 **[0131]** Una realización adicional el OADS parecida a la de la Figura 15 incluye un transmisor láser de datos del aire, 1002, y receptor, 1004, como se debatió anteriormente con referencia al OADS RMCW de las Figuras 1-10, está orientado a prismas o redes de difracción holográficas dobles, (no mostrados) para dirigir el escaneo a cualquier punto predeterminado en un campo de visión cónico.

35 **[0132]** Una realización alternativa del OADS de la Figura 15 tiene tres transeptores láser 1002, 1004 y usa mediciones Doppler de todos los tres con discriminación de alcance RMCW, para determinar la velocidad del viento y la dirección del viento en varias regiones de interés en el volumen de aire hemisférico.

40 **[0133]** Una realización alternativa del OADS de la Figura 15 obtiene las tres mediciones Doppler requeridas para las mediciones de dirección del viento en una región del volumen de aire hemisférico a partir de un solo transmisor láser 1002 y receptor 1004 registrando el desplazamiento Doppler medido a dos ángulos verticales ligeramente diferentes y dos ángulos de la torreta horizontal o prisma de escaneo ligeramente diferentes. Esta realización también es capaz de elaborar un mapa de la velocidad del viento y la dirección del viento en todo el volumen de aire hemisférico.

45 **[0134]** El OADS de la Figura 15 puede estar ubicado 714 (Figura 12) cerca de un aerogenerador 702, o cerca de un grupo de aerogeneradores, para proporcionar datos del aire a una diversidad de posiciones y altitudes para el control de los aerogeneradores 702. Este OADS es capaz de detectar cizalladura de viento y condiciones de viento adversas, y de ajustar el aerogenerador 702 ajustando cíclicamente el paso de la pala durante la rotación del aerogenerador, en algunas realizaciones reduciendo la guiñada mediante el ajuste de un subsistema de orientación activo, y plegando cuando es necesario, para reducir las cargas incurridas por las palas 704; permitiendo por ello que el aerogenerador 702 sobreviva mejor. En una realización, el aerogenerador es por consiguiente más capaz de sobrevivir a la turbulencia y cizalladura de viento que tiene diferencias en la dirección del viento así como velocidad del viento con la altitud y se le permite proporcionar energía en condiciones que en caso contrario requerirían plegado. El sistema por lo tanto proporciona mejor protección y utilidad de los aerogeneradores que los sistemas conocidos en la técnica. En una realización, el ordenador del OADS RMCW se programa para ignorar la dispersión desde ángulos y retardos, y por consiguiente, emplazamientos, coincidentes con emplazamientos de aerogeneradores para evitar leer los movimientos de las palas como viento.

- 5 **[0135]** En otra realización, el OADS RMCW de la Figura 15 se puede montar en la góndola 708 de un aerogenerador y programarse para ignorar la dispersión desde ángulos y retardos, y por consiguiente, emplazamientos coincidentes con las palas del aerogenerador. En una realización, el ordenador del OADS RMCW se programa para ignorar la dispersión desde los emplazamientos de otros aerogeneradores del parque eólico para evitar leer los movimientos de las palas como viento.
- [0136]** De forma similar, el OADS de la Figura 15 se puede colocar cerca de una pista de aterrizaje para elaborar un mapa del viento cerca de un aeropuerto o se puede colocar en un emplazamiento de parque eólico propuesto con fines de estudio del lugar.
- 10 **[0137]** De forma similar, el OADS de la Figura 15 se puede colocar en una zona, tal como un puerto de montaña, en la que vientos fuertes, racheados, o turbulentos pueden alcanzar niveles que planteen peligro a camiones y otros vehículos de perfil alto. El ordenador de este OADS se programa para generar alertas de tráfico cuando se detectan vientos fuertes, racheados, o turbulentos que excedan un umbral predeterminado.
- 15 **[0138]** En una realización alternativa, un OADS RMCW como se describe con referencia a las Figuras 1-10 o la Figura 13 está colocado 722 en un buje 704 de un aerogenerador 702. Este OADS está montado con un eje descentrado con respecto a un eje del aerogenerador, de modo que elabora un mapa de la velocidad y dirección del viento a varias distancias de un cono 724 delante del aerogenerador 702. El ordenador del OADS RMCW se programa para ignorar la dispersión desde ángulos y distancias coincidentes con emplazamientos de otros aerogeneradores del parque eólico para evitar leer el movimiento de las palas como viento.
- 20 **[0139]** Como el OADS puede detectar la dirección del viento, y la variación de la dirección del viento con el alcance y la altitud, así como la velocidad del viento, detecta la dirección así como las componentes de velocidad de la cizalladura de viento. El OADS por consiguiente proporciona información para que el aerogenerador 702 se pliegue o compense de otro modo dicha cizalladura de viento.
- 25 **[0140]** En una realización alternativa (no ilustrada), el OADS se monta en una pala de un sistema aerogenerador, y proporciona ambas información del ángulo de ataque y de la velocidad relativa del viento con la pala. Esta información se utiliza para controlar el paso de la pala. La información también se puede almacenar en varios puntos durante una rotación y usarse para ajustar el paso de la pala a lo largo de cada rotación de la pala.
- 30 **[0141]** Como se pueden hacer ciertos cambios en los métodos y sistemas anteriores sin apartarse del ámbito de la declaración en este documento, se entiende que todos los temas contenidos en la anterior descripción o mostrados en los dibujos de acompañamiento sean interpretados como ilustrativos y no en sentido limitativo. A modo de ejemplo, los versados en la técnica deben apreciar que el OADS y los transceptores OADS, como se describen en este documento, pueden ser contruidos, conectados, dispuestos, y/o combinados en formas que sean equivalentes a lo que se muestra.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para teledetección aérea, que comprende:
  - generar radiación láser con un láser sintonizable;
  - dividir la radiación láser en una componente proyectada y una componente de control;
  - 5 convertir la componente de control en una o más señales de control electrónicas;
  - proyectar la componente proyectada en el aire para inducir radiación dispersada;
  - escanear la componente proyectada;
  - recibir una porción de la radiación dispersada como radiación retrodispersada;
  - 10 convertir la radiación retrodispersada en una o más señales electrónicas de radiación retrodispersada, incluyendo convertir una porción de la radiación retrodispersada en una señal electrónica retrodispersada sin filtrar, filtrar al menos una porción de la radiación retrodispersada usando un filtro trampa óptico para formar una porción filtrada, y convertir la porción filtrada en una señal electrónica retrodispersada filtrada;
  - procesar la una o más señales de control electrónicas y la una o más señales de radiación retrodispersada electrónica para determinar el desplazamiento Doppler;
  - 15 en el que la componente proyectada se proyecta a lo largo de al menos dos ejes o al menos tres ejes, en la que el desplazamiento Doppler se determina a lo largo de cada uno de los respectivos al menos dos o al menos tres ejes, y en la que el desplazamiento Doppler a lo largo de cada uno de los ejes se utiliza para determinar la velocidad del viento y la dirección del viento;
  - y
  - 20 un paso adicional seleccionado del grupo consistente del registro periódico de la velocidad del viento para estudiar el lugar del sistema de energía eólica y proporcionar la velocidad del viento como entrada para determinar el paso de la pala para al menos una pala de un aerogenerador.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la señal de control electrónica se obtiene filtrando la componente de control con el filtro trampa óptico para formar una componente de control filtrada, y convertir la componente de control filtrada en la señal de control electrónica.
- 25 3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende determinar la temperatura a partir de una componente dispersada Rayleigh de la radiación retrodispersada.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
  - 30 el escaneo de la radiación láser se realiza para obtener información de la velocidad del viento y la dirección del viento en varios lugares dentro de un volumen de aire, y/o además comprende registrar periódicamente la velocidad del viento y la dirección del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica, y/o además comprende usar la velocidad del viento y la dirección del viento como entrada para determinar el paso de la pala para al menos una pala de un aerogenerador.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende modular el láser con una secuencia pseudoaleatoria, almacenar la radiación retrodispersada recibida en una memoria tipo histograma, y correlacionar la radiación retrodispersada recibida con la secuencia pseudoaleatoria para obtener la velocidad del viento a al menos una distancia particular desde el láser sintonizable, y especialmente en el que escanear la radiación láser se realiza para obtener información de la velocidad del viento y de la dirección del viento en varios emplazamientos dentro de un volumen de aire, y/o registrar la velocidad del viento y la dirección del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica.
- 35 40 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende en el que el paso adicional seleccionado del grupo consistente de registrar periódicamente la velocidad del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica y proporcionar la velocidad del viento como entrada para determinar el paso de la pala para al menos una pala de un aerogenerador es proporcionar la velocidad del viento como entrada para determinar el paso de la pala para al menos una pala de un aerogenerador.
- 45 7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el paso adicional seleccionado del grupo consistente de registrar periódicamente la velocidad del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica y proporcionar la velocidad del viento como entrada para determinar el paso de la pala para al menos una pala de un aerogenerador es registrar la velocidad del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica.
- 50

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la componente proyectada es proyectada en el aire desde un lugar en un aerogenerador, en el que especialmente el emplazamiento en el aerogenerador está en un buje o una góndola de un aerogenerador.
- 5 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende determinar velocidades del viento y direcciones del viento a una pluralidad de altitudes, y para determinar el paso de la pala para el aerogenerador como respuesta a las velocidades del viento y las direcciones del viento.
10. Un sistema para detectar ópticamente datos del aire que comprende:
- un láser sintonizable para generar radiación láser;
- 10 al menos un divisor de haz para dividir la radiación láser en una componente proyectada y una componente de control;
- al menos un filtro trampa óptico;
- al menos un detector de la componente de control acoplado para recibir al menos una porción de la componente de control a través de al menos un filtro trampa óptico y generar una señal de control electrónica a partir del mismo;
- 15 aparato para proyectar la componente proyectada en el aire para inducir radiación dispersada y para recibir una porción de la radiación dispersada como radiación retrodispersada;
- aparato para escanear la componente proyectada;
- al menos un detector de radiación retrodispersada acoplado para recibir al menos una porción de la radiación retrodispersada a través del al menos un filtro trampa óptico y generar una señal de retrodispersión electrónica a partir del mismo;
- 20 aparato de control y cálculo para barrer una longitud de onda del láser sintonizable y para recibir la señal de retrodispersión electrónica y la señal de control electrónica y determinar el desplazamiento Doppler a partir del mismo, y para procesar el desplazamiento Doppler, en el que la componente proyectada se proyecta a lo largo de al menos dos ejes o al menos tres ejes, en el que el desplazamiento Doppler se determina a lo largo de cada uno de los respectivos al menos dos o al menos tres ejes, y en el que el desplazamiento Doppler a lo largo de cada uno de los ejes se usa para determinar la velocidad del viento y la dirección del viento, y
- 25 aparato para registrar periódicamente la velocidad del viento para el estudio del lugar del sistema de energía eólica y/o aparato de control para controlar al menos un paso de pala de al menos un aerogenerador.
- 30 11. El sistema de la reivindicación 10, que además comprende:
- un generador de secuencia pseudoaleatoria para generar una secuencia pseudoaleatoria;
- un modulador para modular la radiación láser con la secuencia pseudoaleatoria; y
- 35 en el que el aparato de control y cálculo correlaciona la secuencia pseudoaleatoria con la señal de retrodispersión electrónica para determinar el desplazamiento Doppler a una pluralidad de distancias del sistema.
12. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en el que el aparato de control y cálculo analiza la señal de retrodispersión electrónica para determinar la dispersión de Rayleigh, y para determinar la temperatura del aire a partir del mismo a una pluralidad de distancias del sistema.
- 40 13. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, que además comprende un registrador de datos digital, y en el que el registrador de datos digital es configurable para registrar datos de velocidad del viento mínima, media, y máxima ráfaga con datos de temperatura del aire al menos cuatro veces por hora, en el que especialmente el registrador de datos digital es configurable para registrar velocidades del viento mínima, media, y máxima ráfaga con temperatura del aire en al menos cuatro distancias desde el sistema, y en el que el registrador de datos digital tiene capacidad de almacenamiento para al menos un mes de datos de velocidad de viento registrados.
- 45 14. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 134, en el que el aparato de control y cálculo analiza la señal de retrodispersión electrónica para determinar la dispersión de Rayleigh, y para determinar la temperatura del aire de ello a varias distancias desde el sistema.



15. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que el aparato de control y cálculo está adaptado para proporcionar aviso de turbulencia atmosférica producida por eventos seleccionados del grupo consistente de inestabilidad convectiva, irregularidades de flujo inducidas por el terreno, irregularidades de flujo inducidas por obstáculos y forzado del viento sobre superficies rugosas.
- 5 16. Un sistema acorde a la reivindicación 10, que además comprende:
- un generador de secuencia pseudoaleatoria para generar una secuencia pseudoaleatoria;
- un láser sintonizable para generar radiación láser modulada por la secuencia pseudoaleatoria;
- 10 en el que el aparato de control y cálculo para barrer una longitud de onda del láser sintonizable, para recibir la señal de retrodispersión electrónica y la señal de control electrónica sirve para correlacionar la secuencia pseudoaleatoria con la señal de retrodispersión electrónica y determinar el desplazamiento Doppler a varias distancias a partir del mismo; y en el que el aparato de control y cálculo analiza la señal de retrodispersión electrónica para determinar la dispersión de Rayleigh, y para determinar la temperatura del aire a partir del mismo a una pluralidad de distancias del sistema.
- 15 17. El sistema de la reivindicación 16, en el que la radiación láser se dirige a lo largo de una pluralidad de ejes y en el que el aparato de control y cálculo determina la velocidad y dirección del viento a una pluralidad de distancias del desplazamiento Doppler determinado a lo largo de la pluralidad de ejes a la pluralidad de distancias, y/o además comprende un registrador de datos digital, y en el que el registrador de datos digital es configurable para registrar datos de velocidad del viento mínima, media, y máxima ráfaga con datos de temperatura del aire a al menos cuatro distancias desde el sistema al menos cuatro veces por hora, y en el que el registrador de datos
- 20 digital tiene capacidad para al menos un mes de datos de velocidad del viento.
18. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, en el que el aparato para proyectar la componente proyectada en el aire para inducir radiación dispersada y para recibir una porción de la radiación dispersada como radiación retrodispersada está adaptado para escanear un volumen de espacio aéreo.
- 25 19. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18, en el que aparato de control y cálculo filtra los datos de velocidad del viento comparando información de determinados ángulo y distancia con información de ángulo y distancia correspondientes a un emplazamiento de al menos un aerogenerador y/o ignora selectivamente al menos algo de la radiación retrodispersada para evitar leer el movimiento de la pala de al menos un aerogenerador como viento.
- 30 20. El sistema acorde a una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 17, en el que el aparato de control y cálculo determina qué radiación retrodispersada ignorar comparando la información de ángulo y distancia con un emplazamiento de al menos un aerogenerador.
- 35 21. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 20, que además comprende aparato de control para controlar al menos el paso de una pala de un segundo aerogenerador, y/o en el que al menos una porción del sistema está colocada dentro de un elemento de un aerogenerador seleccionado del grupo consistente de una góndola y un buje.
- 40 22. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 21, en el que el aparato de control y cálculo está adaptado para proporcionar avisos de condiciones de viento seleccionadas del grupo consistente de peligros de elevada velocidad del viento, turbulencia atmosférica, cizalladura de viento, microrráfagas, y remolinos de polvo en la zona de interés, y/o en el que el aparato de control y cálculo está adaptado para proporcionar aviso de las condiciones de viento que se aproximan y dentro de la ruta de aproximación de un avión en la zona de interés.
- 45 23. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 22, en el que el sistema está colocado cerca de un aeropuerto, la zona de interés comprende la zona patrón de tráfico aeroportuario, y el aparato de control y cálculo está adaptado para proporcionar aviso de condiciones de viento peligrosas en la zona patrón de tráfico aeroportuario, y/o en el que dentro de donde está ubicado el sistema, el área de interés comprende una zona cerca de una autopista, y el aparato de control y cálculo está adaptado para proporcionar alertas de tráfico cuando se detectan condiciones de viento peligrosas en la zona de interés.

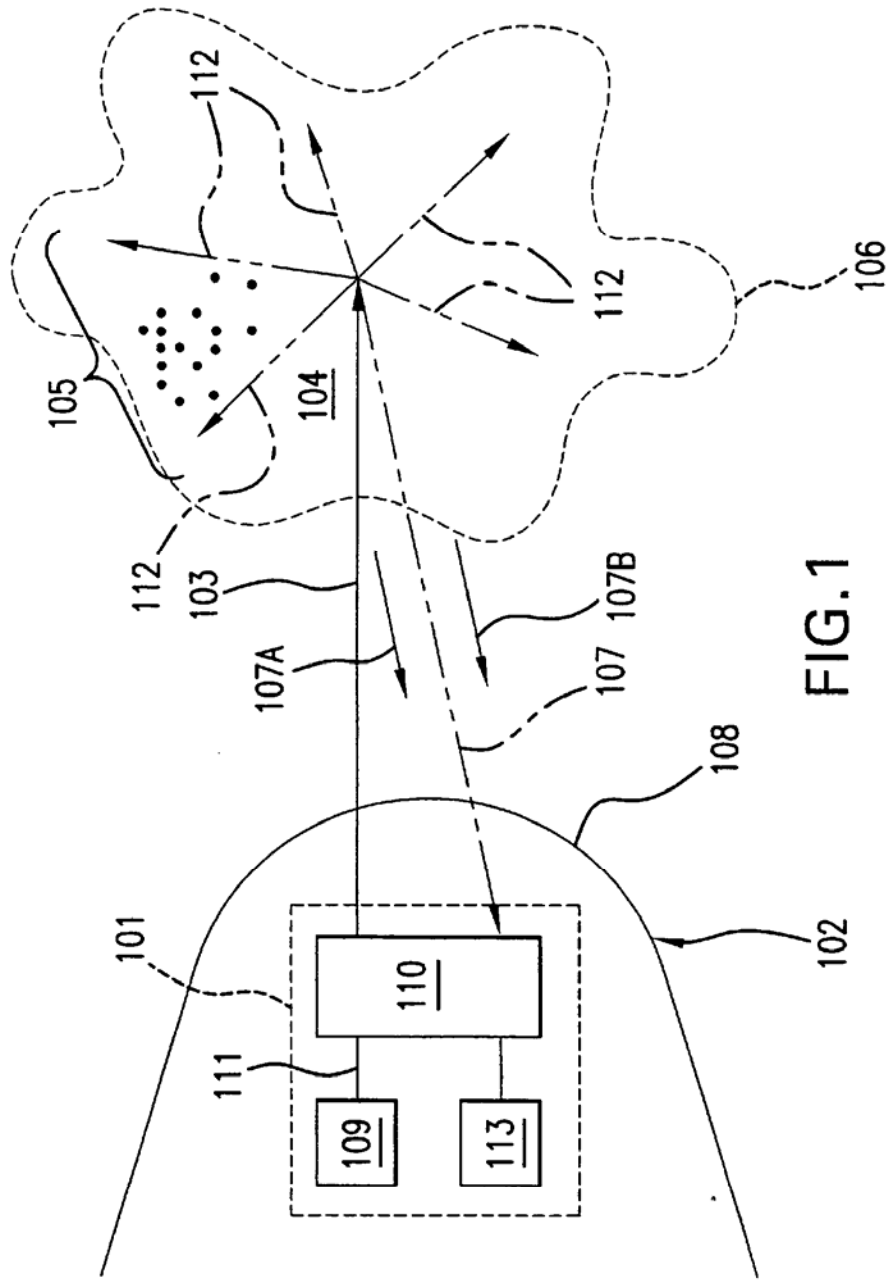


FIG.1

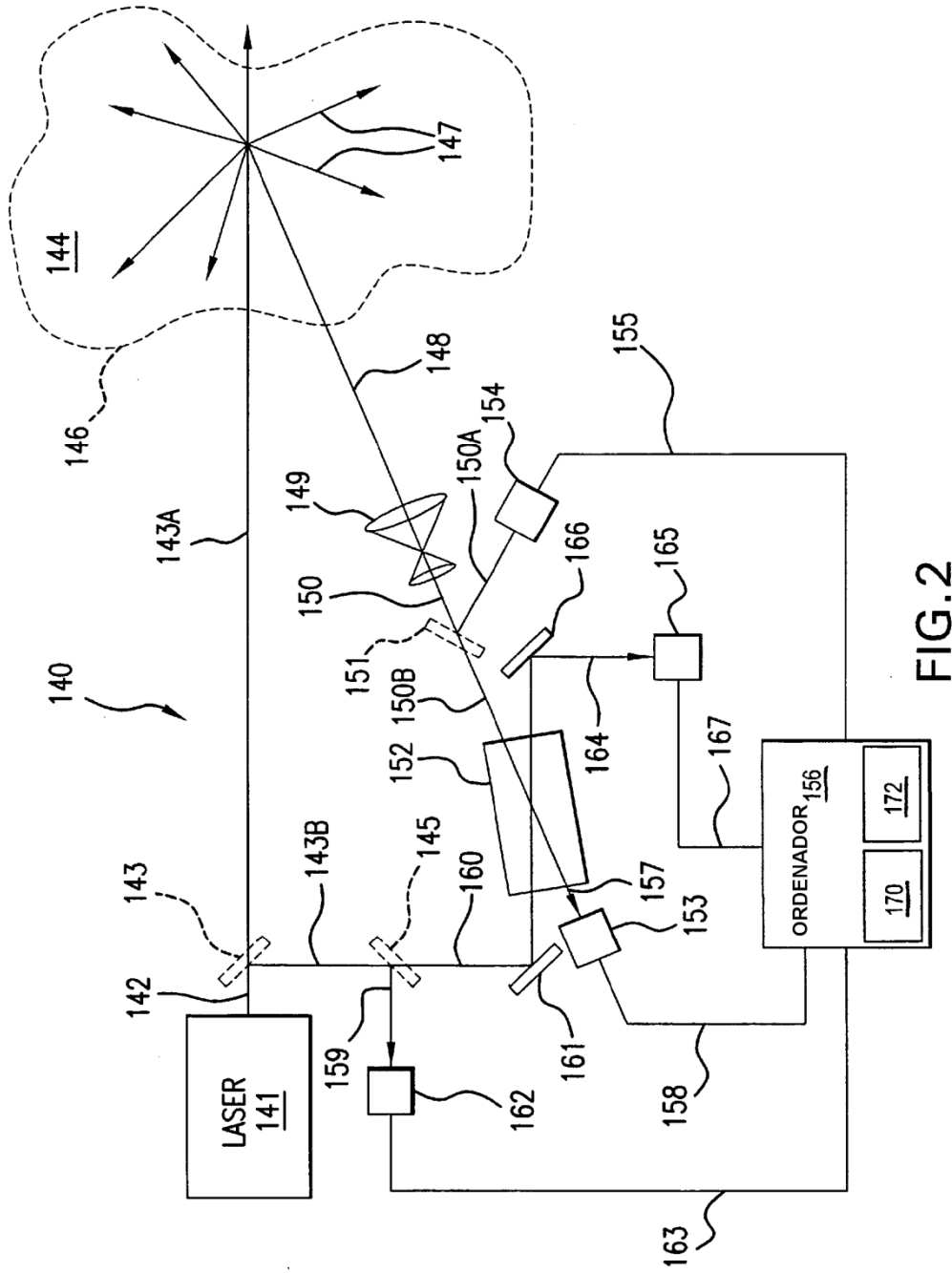


FIG. 2

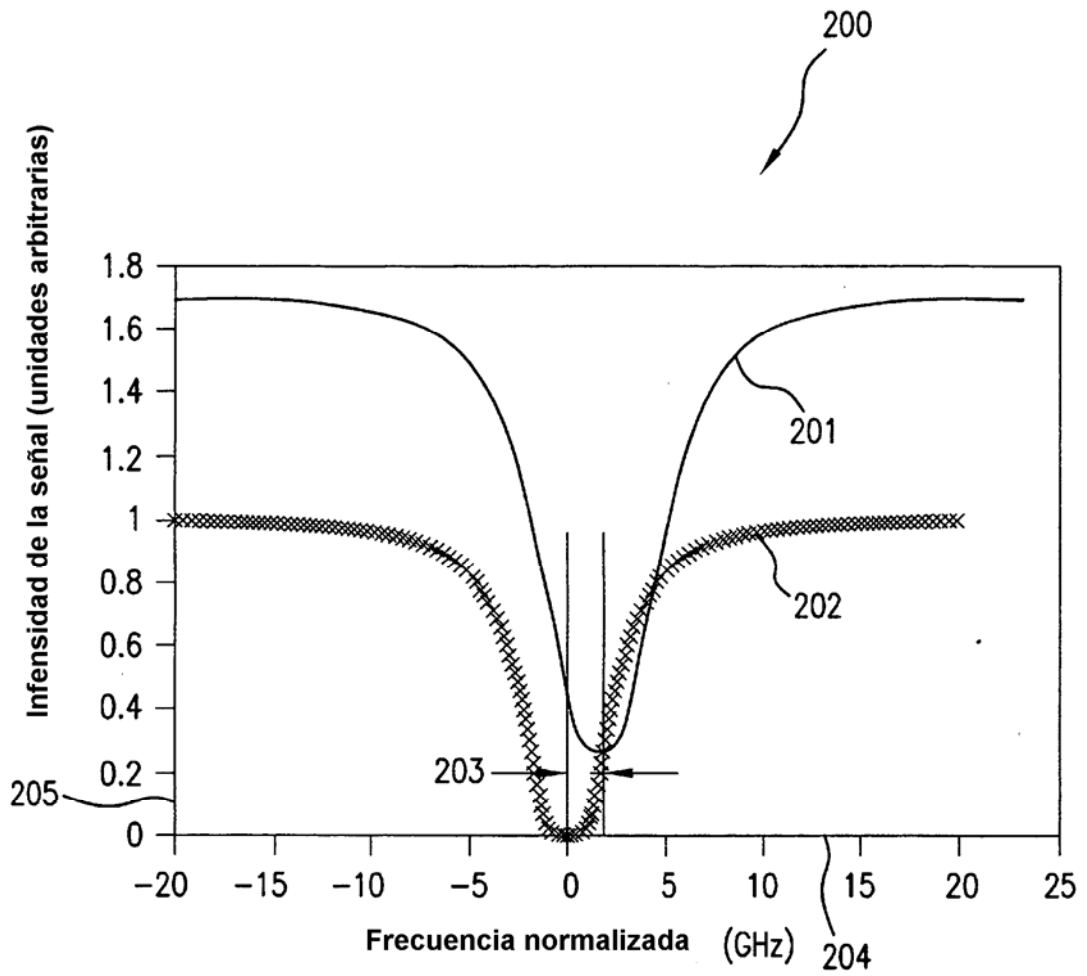


FIG.3

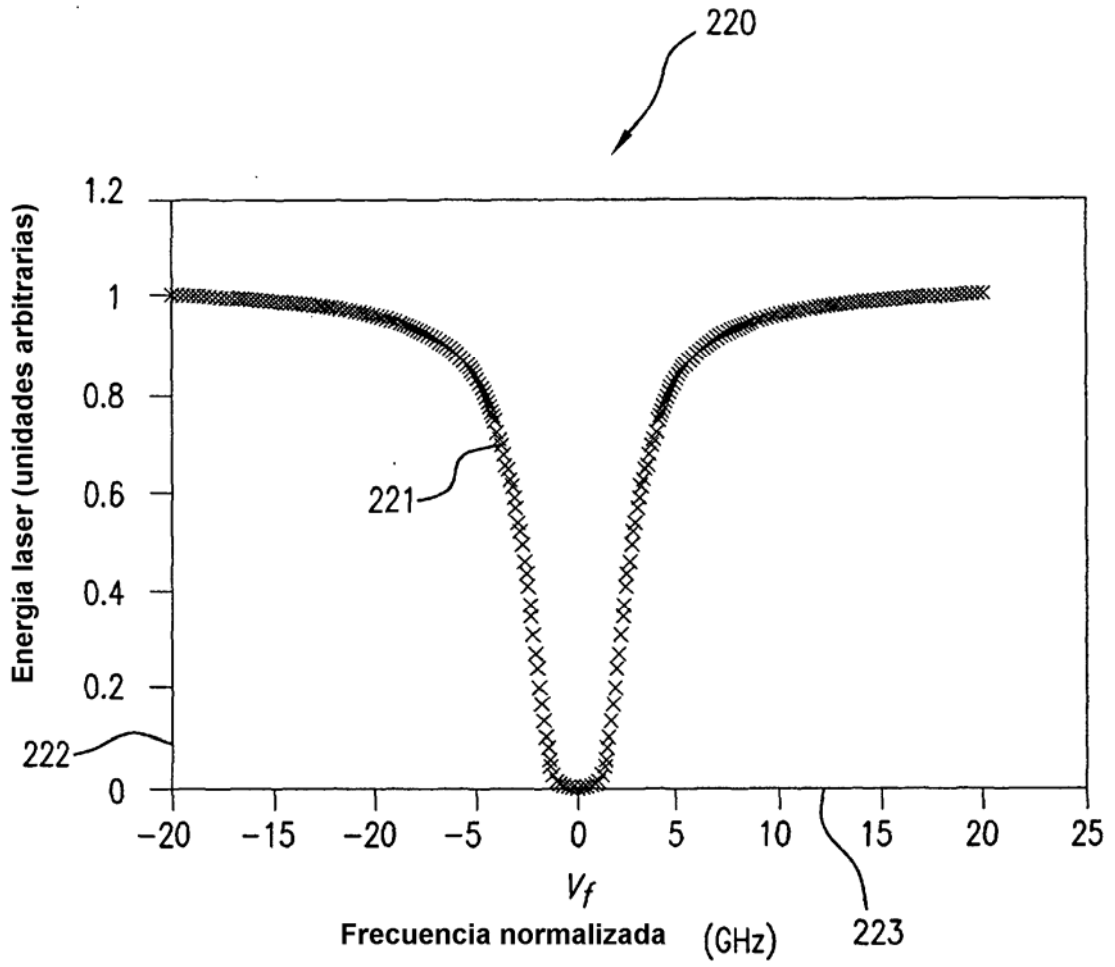


FIG.4

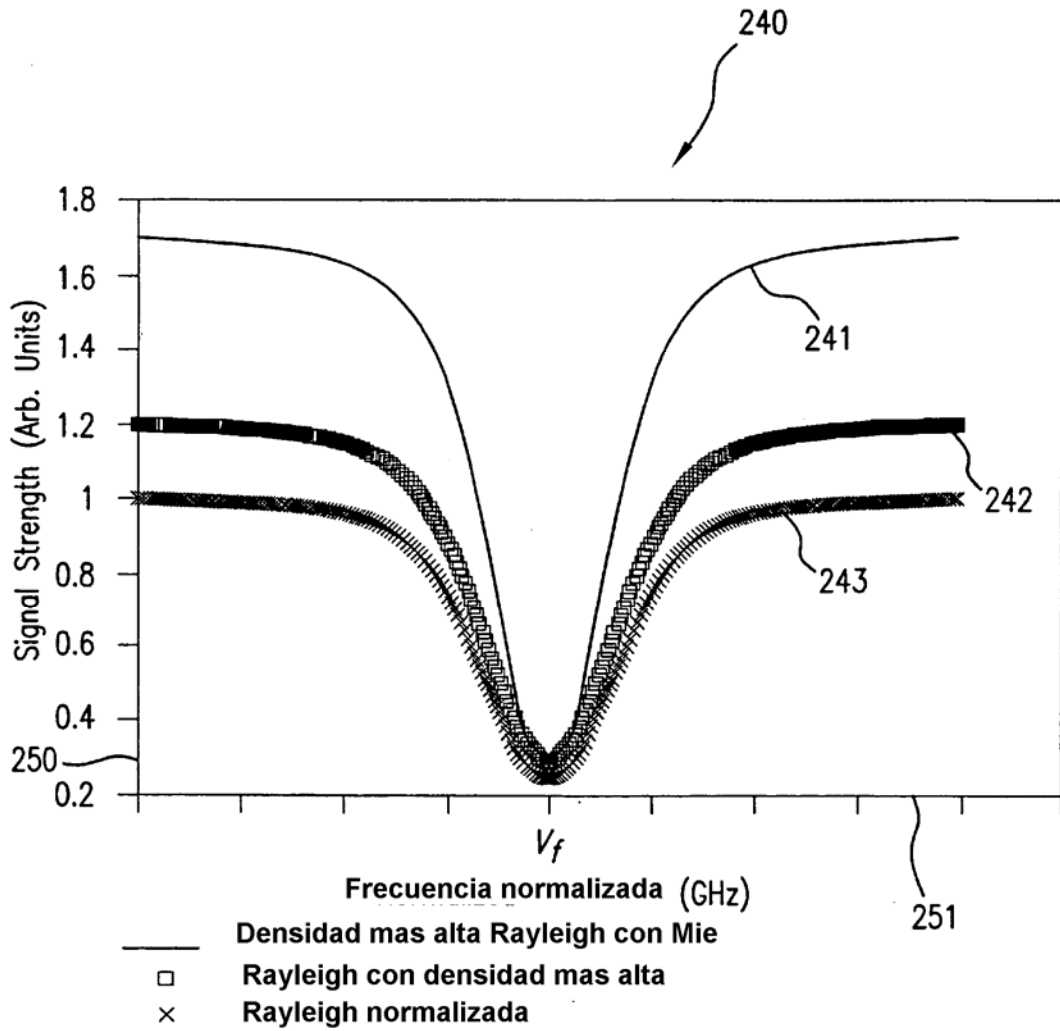


FIG.5

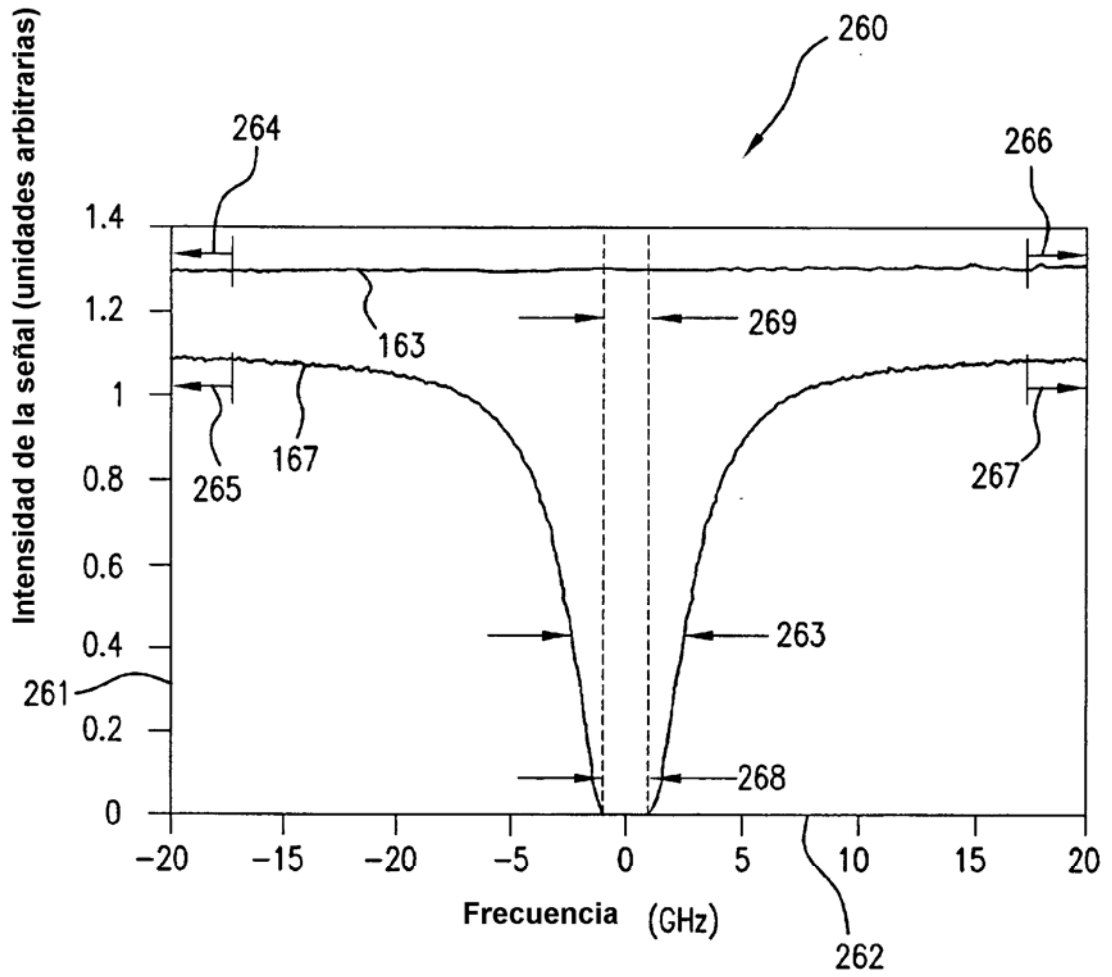


FIG. 6

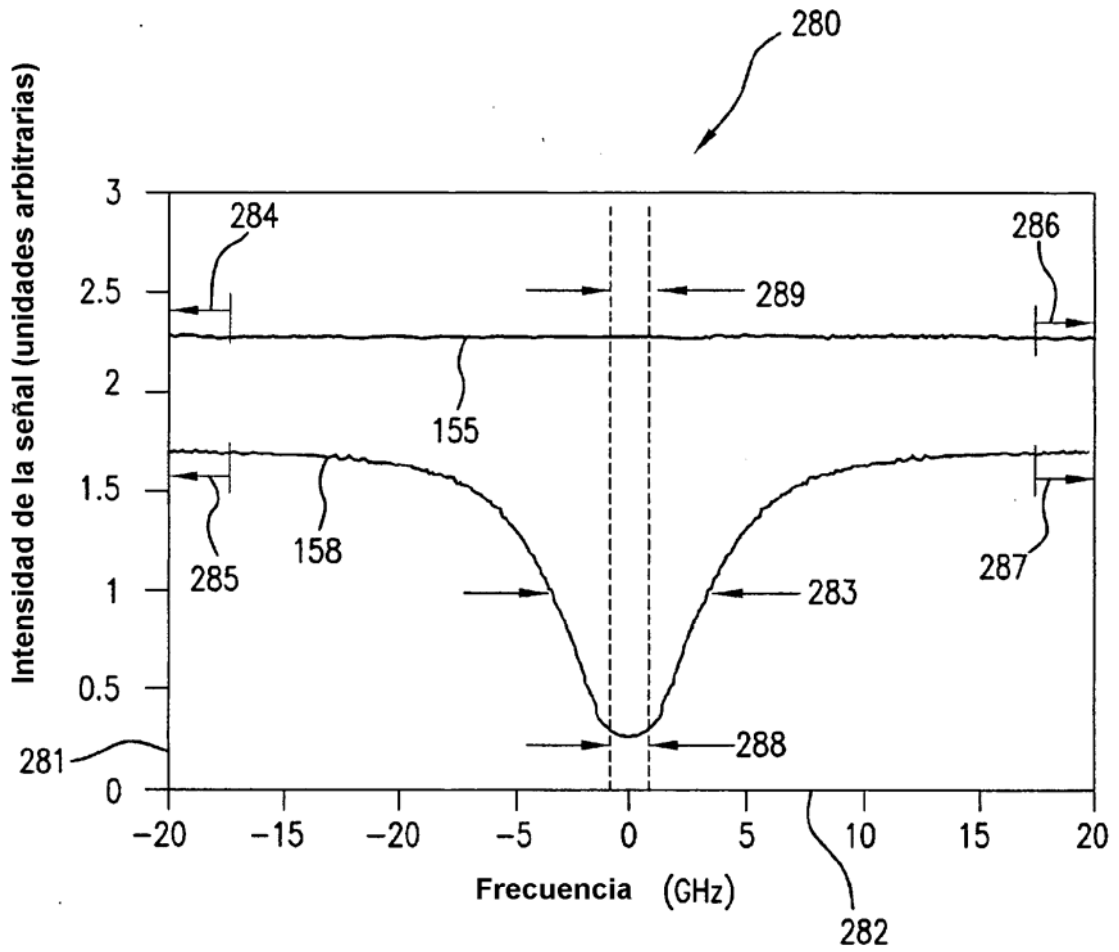


FIG.7



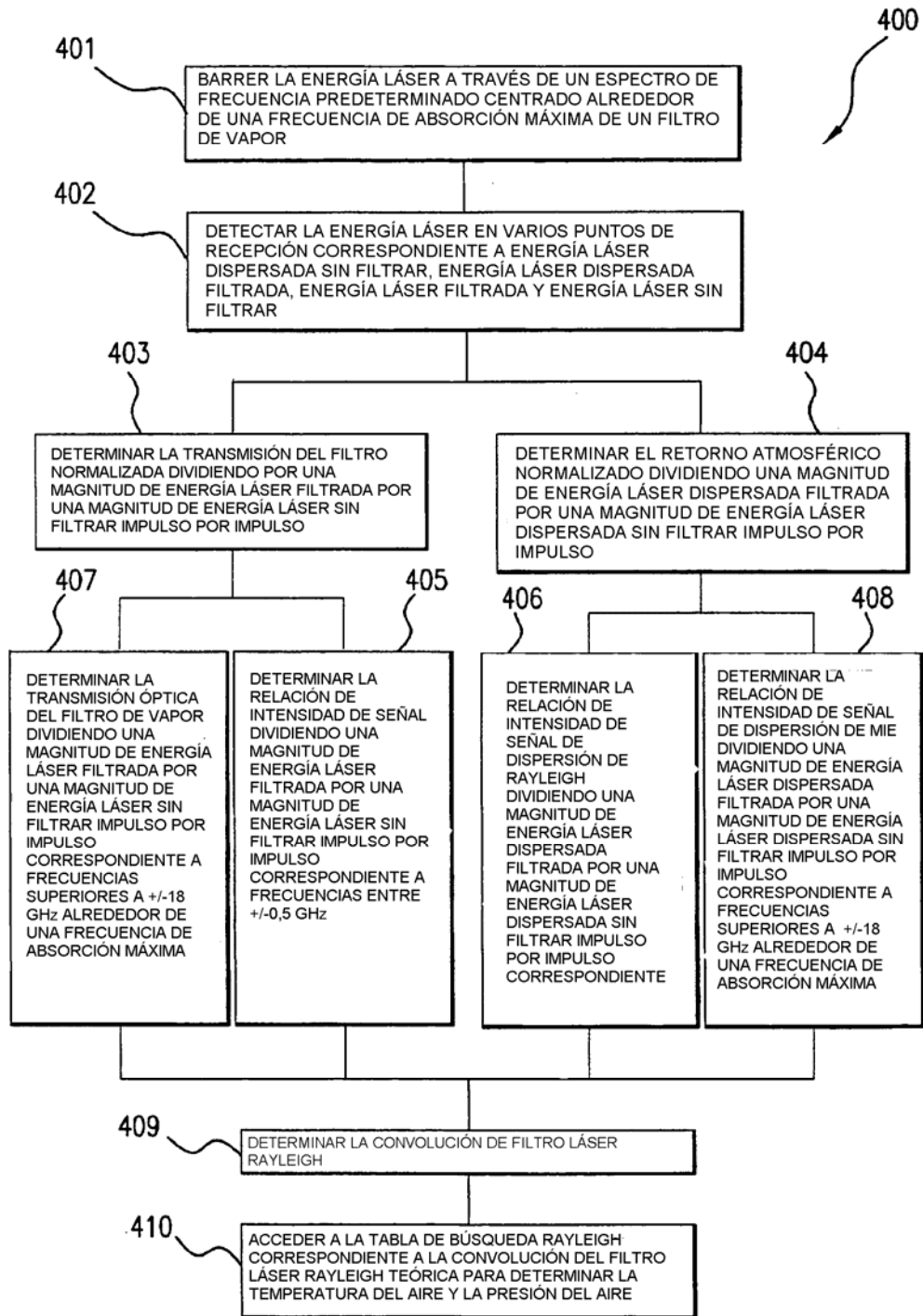
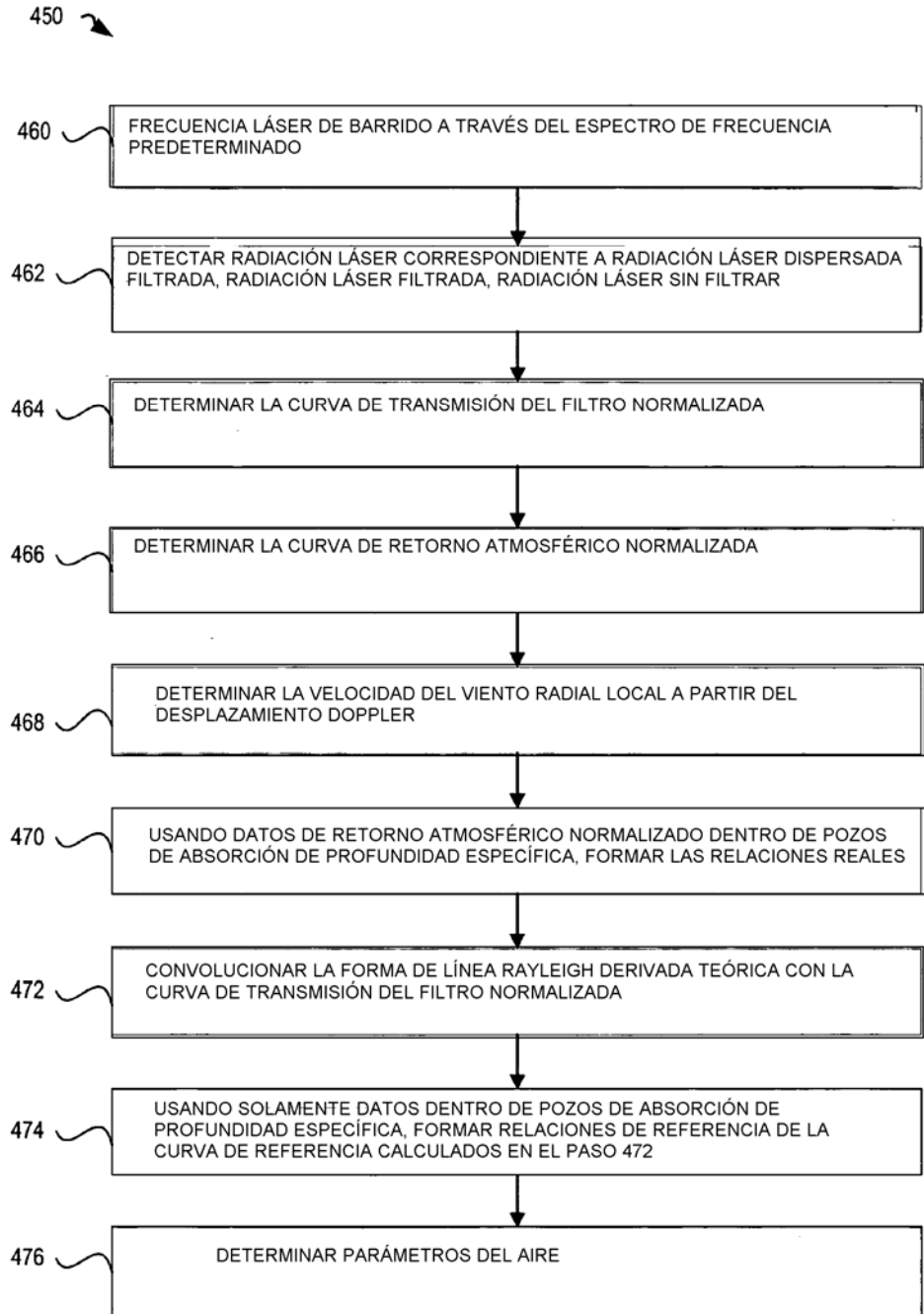


FIG. 8



**FIG. 9**

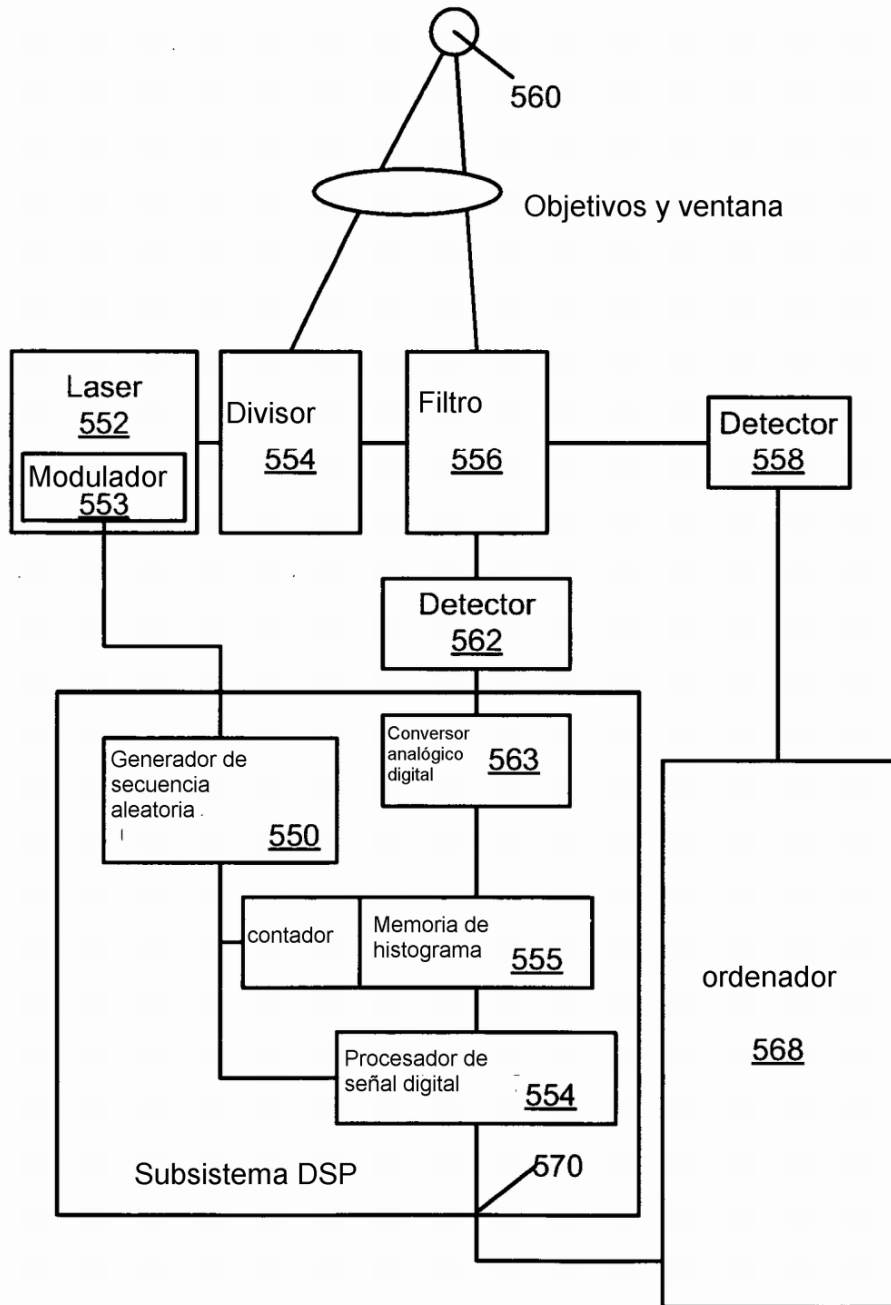


FIG. 10

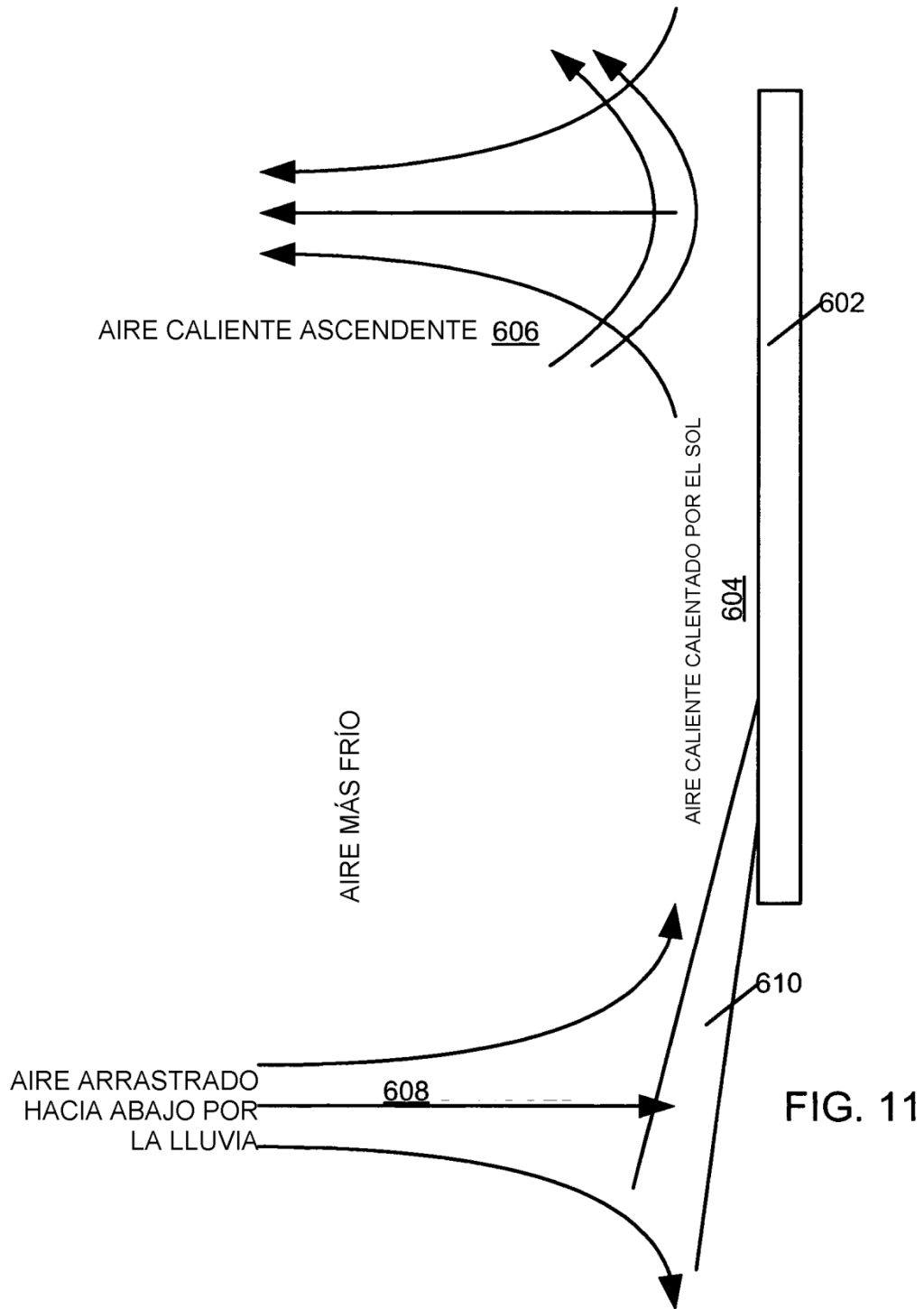
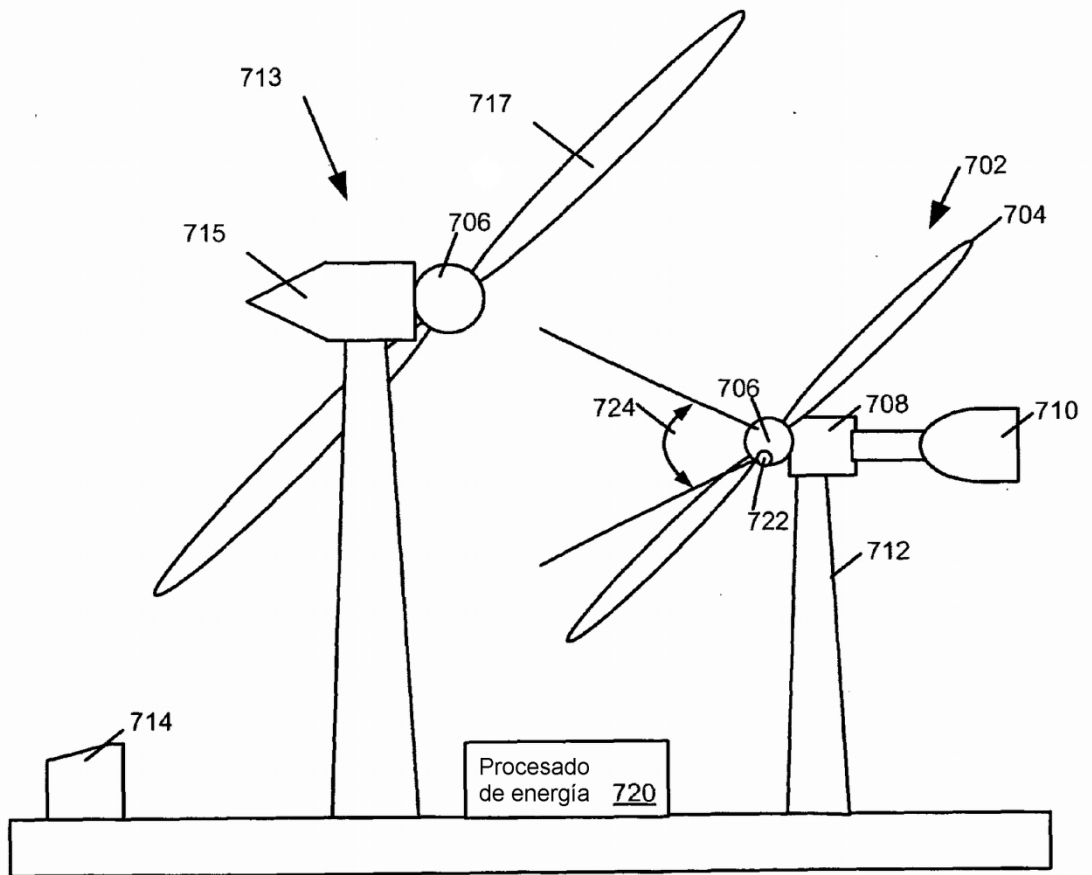


FIG. 12



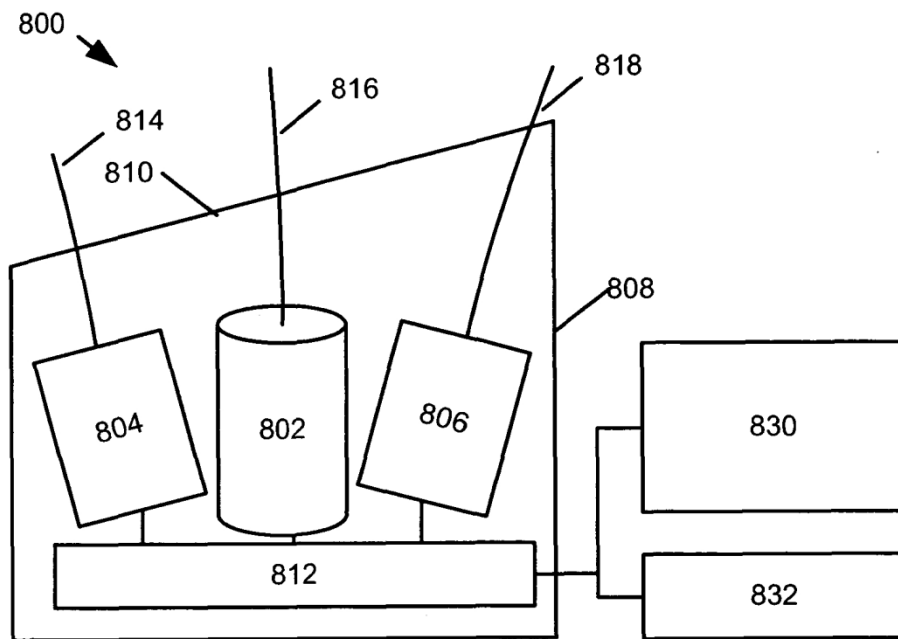


FIG. 13

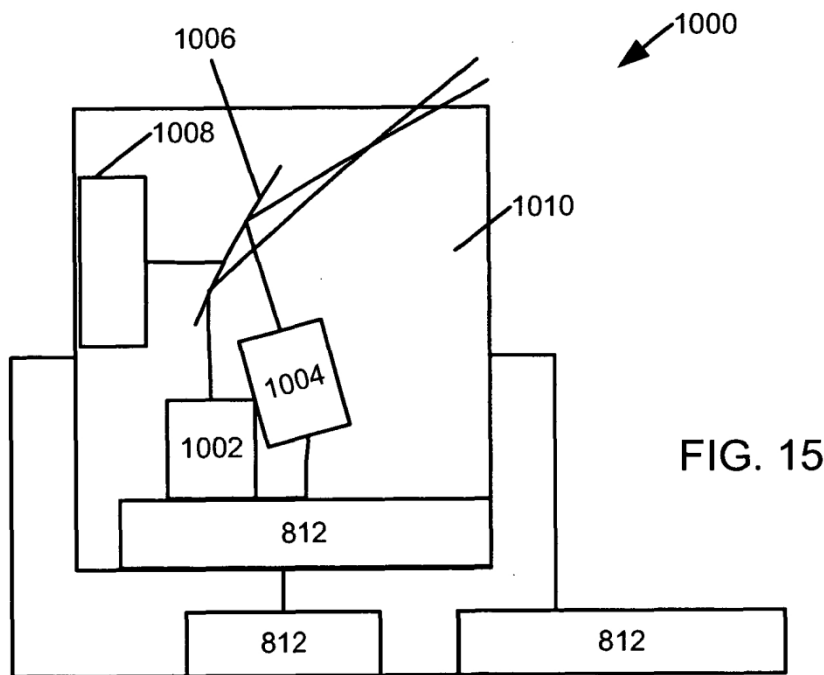
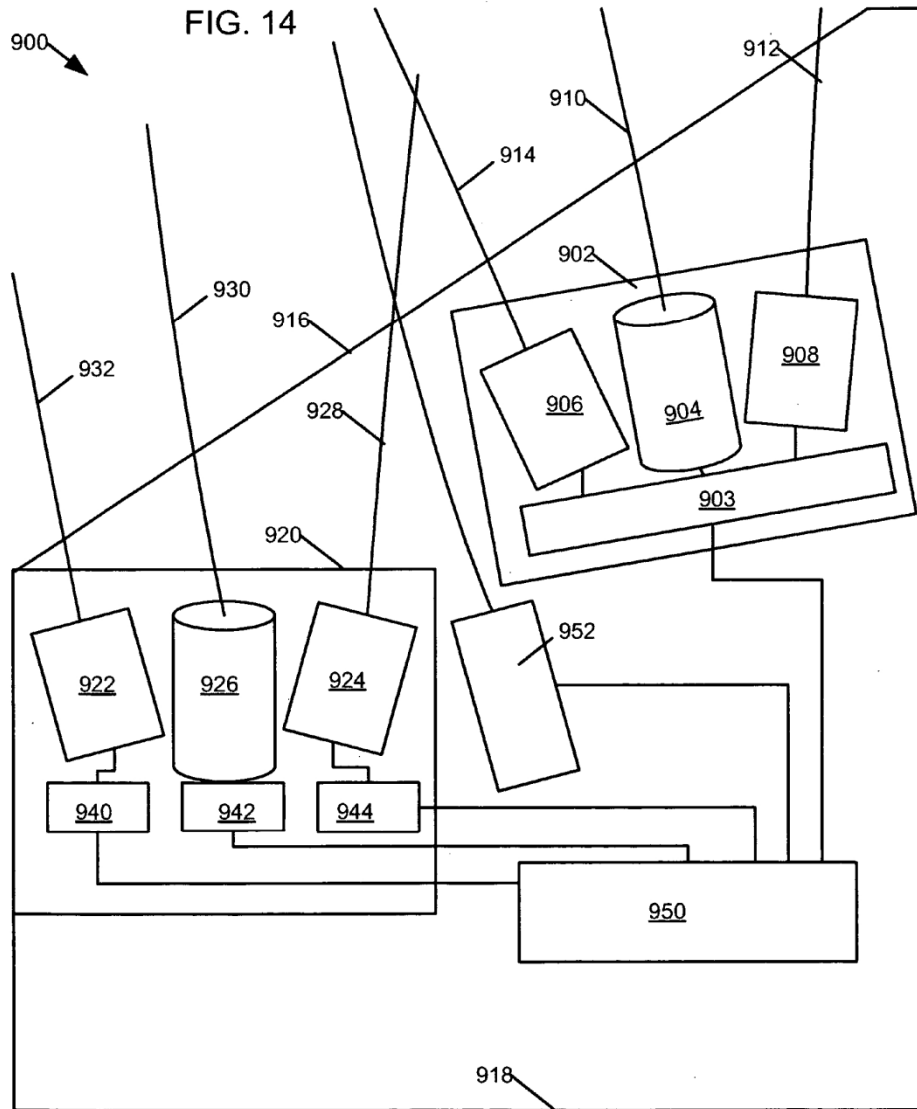


FIG. 15



#### REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

*Esta lista de referencias citadas por el solicitante quiere únicamente ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto un gran cuidado en su concepción, no se pueden excluir errores u omisiones y la OEB declina toda responsabilidad a este respecto.*

#### 5 Documentos de patente que se citan en la descripción

- US 20070075546 A [**0007**]
- US 7281891 B [**0117**]
- US 7342323 B [**0117**]
- US 6320272 B [**0117**]

#### Literatura no-patente que se cita en la descripción

- **G.C. TENI; D. BOLEY; R.C. DESAI.** On The Kinetic Model Description Of Rayleigh-Brillouin Scattering From Molecular Gases. *Canadian Journal of Physics*, 1974, vol. 52, 285-290 [**0063**]