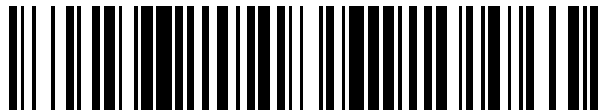


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 678**

51 Int. Cl.:

G01N 21/17 (2006.01)

G01S 17/08 (2006.01)

G01S 7/497 (2006.01)

G01S 7/499 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2012 PCT/US2012/045038**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2013 WO13003771**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2012 E 12804262 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2705350**

54 Título: **Medición remota de profundidades someras en medios semitransparentes**

30 Prioridad:

30.06.2011 US 201161503314 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.08.2017

73 Titular/es:

**THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF
COLORADO, A BODY CORPORATE (100.0%)
1800 Grant Street, 8th Floor
Denver, CO 80203, US**

72 Inventor/es:

**MITCHELL, STEVEN;
THAYER, JEFFREY, P. y
HAYMAN, MATTHEW**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 628 678 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

Medición remota de profundidades someras en medios semitransparentes.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere en general a métodos y sistemas para la medición remota de profundidades someras en medios semitransparentes, y, particularmente, a métodos y sistemas para la medición de la distancia relativa entre superficies con diferentes propiedades de polarización.

10

Antecedentes

La batimetría con detección y determinación de distancias por luz (lidar) es una técnica con capacidad de medir la profundidad de una masa de agua relativamente somera (por ejemplo, inferior a 2 metros). Un haz de láser pulsado se transmite desde el instrumento de lidar a la masa de agua. La luz generada por el haz de láser se sitúa típicamente en la parte azul-verde del espectro, debido a la elevada transmisión de la luz a través del agua en esa longitud de onda. Partes del pulso de láser se dispersan desde la interfase aire/agua, desde el volumen de agua, y desde el suelo de la masa de agua, de vuelta hacia el instrumento, y son captadas por este último. Los tiempos de vuelo de las señales detectadas se convierten en mediciones de distancia y, tras considerar la geometría de observación, los trayectos de propagación y errores asociados, permiten la determinación de la profundidad del agua sondeada.

La medición de la profundidad en régimen de aguas someras constituye un desafío debido a limitaciones de las técnicas batimétricas tradicionales con lidar en cuanto al ancho de banda del sistema. El límite de aguas someras de las tecnologías de lidar actuales se produce cuando existen ambigüedades entre dispersiones de la superficie, dispersiones desde el volumen a lo largo de la columna de agua, y dispersiones del suelo, debido a limitaciones de ancho de banda del sistema asociadas a anchuras de los pulsos del láser y/o de los detectores. Como consecuencia, los sistemas actuales de lidar para batimetría se limitan a mediciones de profundidad no mayores de decenas de centímetros.

30

La memoria de la patente europea n.º EP 2 277 776 A2 divulga un sensor de pequeñas gotas de agua aéreas con múltiples campos de visión, que incluye una parte de iluminación y una parte de detección. La parte de iluminación incluye un primer emisor de haces ópticos configurado para emitir un haz de luz. La parte de detección incluye un caleidoscopio configurado para canalizar una primera parte de la luz retrodispersada, hacia una superficie reflectante interior de un convertor de círculo-a-línea, un subsistema de múltiples campos de visión que tiene por lo menos un primer detector configurado para recibir luz reflejada por el convertor de círculo-a-línea, y un subsistema de un solo campo de visión configurado para recibir una segunda parte de la luz retrodispersada, no habiendo sido reflejada la segunda parte por el convertor de círculo-a-línea. El subsistema de un solo campo de visión puede incluir un detector de polarización circular de canal dual, para diferenciar entre pequeñas gotas de agua líquida y cristales de hielo basándose en información que se encuentra en el campo de visión individual.

La memoria de la patente de Estados Unidos n.º US 2009/ 073442 A2 divulga una serie de formas de realización dirigidas a polarímetros pulsados para efectuar mediciones diagnósticas remotas, no perturbativas, de campos inductores de un medio que presenta actividad óptica inducida. En uno de los aspectos, se divulga un polarímetro de pulsos que incluye una fuente de luz que emite un pulso de luz polarizada, con un alcance espacial suficientemente estrecho a una longitud de onda preestablecida, y un sistema óptico captador de luz que incluye un conjunto óptico captador de luz con un eje óptico dirigido hacia el medio y posicionado para captar y colimar un ángulo sólido predeterminado de una emisión proveniente del medio, obteniendo un haz de emisión colimado, al mismo tiempo que preservando el estado de polarización de la invención. El polarímetro de pulsos incluye un acoplador direccional que consigue que la dirección de propagación del pulso de luz polarizada coincida con el eje óptico, y un sistema de detección de polarización para medir la intensidad y determinar el estado de polarización del haz de emisión colimado continuamente en el tiempo, a medida que el pulso de luz polarizado recorre el medio.

55

La memoria de la patente de Estados Unidos n.º US 7.580.127 B1 divulga un sistema lidar de polarización para identificar de manera remota características de partículas de aerosol atmosféricas, mediante la transmisión de un haz polarizado de luz y el análisis de características de polarización de la retrodispersión recibida. El transmisor se caracteriza por una energía pulsional elevada para identificar de manera remota partículas de aerosol sustancialmente con un pulso. El transmisor utiliza un polarizador de placa con película fina y un convertor de longitud de onda Raman, para obtener energía polarizada linealmente en un solo plano, e inofensiva para los ojos. El haz de transmisión y el campo de visión del receptor son coaxiales. El receptor utiliza un telescopio, una lente colimadora y un divisor de haz. El divisor de haz divide la retrodispersión recibida en un haz polarizado en un solo plano, cuyo plano de polarización es paralelo al plano de transmisión, y un haz polarizado en un solo plano cuyo plano de polarización es perpendicular al plano de transmisión.

65

En la memoria de la patente de Estados Unidos n.º US 7.580.127 B1, cada haz dividido se dirige a través de lentes de enfoque independientes sobre detectores independientes. Las señales de los detectores se amplifican y procesan para determinar de manera remota características de partículas de aerosol atmosféricas.

5 La memoria de la patente de Reino Unido n.º GB 2 256 766 A divulga un filtro óptico que elimina la mayor parte del ruido óptico, por ejemplo, ruido solar, en sistemas submarinos de LIDAR, tratamiento de imágenes, batimetría o comunicaciones. Un haz de láser emitido o retrodispersado, reflejado, se divide en dos haces de polarizaciones diferentes, filtrados por filtros FADOF idénticos, y se recombinan antes de su detección. Sustancialmente la totalidad del resto de longitudes de onda que no se corresponden con la longitud de onda transmitida es rechazada por los FADOF (filtros ópticos de dispersión anómala Faraday), ya que la fuente de láser se sintoniza con la frecuencia de paso de los FADOF. Cada FADOF comprende un vapor de cesio en un campo magnético variable que se calienta para alisar la estructura hiperfina por medio del efecto Doppler, precedido y sucedido por un polarizador.

10 15 La memoria de la patente europea n.º EP 1 391 382 A1 divulga un sistema para aviso de detección de hielo, montable a bordo de una aeronave, y destinado a la monitorización, en vuelo, del espacio aéreo situado delante de la aeronave, que comprende: una primera pluralidad de elementos ópticos configurados para dirigir un haz de láser pulsado, a una primera longitud de onda, desde una fuente de láser hacia el espacio aéreo situado delante de la aeronave; una segunda pluralidad de elementos ópticos configurados para separar la retrodispersión recibida de luz proveniente del haz de láser, en una pluralidad de longitudes de onda predeterminadas; una pluralidad de detectores de luz para detectar la luz de la pluralidad separada de longitudes de onda, respectivamente, y generar una pluralidad correspondiente respectivamente de señales eléctricas representativas de la luz detectada de ese modo; y un procesador para procesar la pluralidad de señales eléctricas con el fin de determinar si es probable que las condiciones del espacio aéreo delante de la aeronave provoquen una acumulación de hielo en la superficie de la aeronave, y para generar un aviso indicativo de ello. En una forma de realización divulgada, el sistema de aviso incluye un escáner óptico operativo para realizar un barrido del haz de láser pulsado en el espacio aéreo situado delante de la aeronave, con un patrón de barrido predeterminado, siendo también operativo el escáner para recibir la retrodispersión de luz del haz de láser pulsado, y dirigirla hacia la segunda pluralidad de elementos ópticos que está configurada para separar la retrodispersión recibida de luz en la pluralidad de longitudes de onda predeterminadas.

20 25 30 La memoria de la patente de Estados Unidos n.º US 2010/025589 A1 divulga métodos y sistemas para procesar una señal analógica que es generada por un detector de fotones de alta energía, como respuesta a una interacción de fotones de alta energía. Se genera un borde digital que representa el tiempo de la interacción a lo largo de un primer trayecto, y la energía de la interacción se codifica en forma de un retardo desde el borde digital a lo largo de un segundo trayecto. El borde digital generado y el retardo codifican el tiempo y la energía de la señal analógica usando modulación por anchura de pulsos.

35 40 No obstante, en la técnica sigue existiendo una necesidad de mejorar la precisión y otros aspectos de sistemas de batimetría con lidar.

Sumario

45 Por consiguiente, la invención va dirigida a métodos y sistemas para la medición remota de profundidades someras en medios semitransparentes, que eluden sustancialmente uno o más de los problemas debidos a limitaciones y desventajas de la técnica anterior.

50 Una de las ventajas de la invención es la provisión de una resolución en alcance mejorada y una medición precisa en la medición de profundidades de aguas someras y el mapeo topográfico de fondos acuáticos. Además, la invención encuentra capacidades y aplicaciones en la medición de espesores de medios semitransparentes y la caracterización topográfica de superficies.

Otra ventaja es permitir el muestreo de distancia sin ningún contacto físico con los medios.

55 Todavía otra de las ventajas es la provisión de una solución de bajo coste, precisa, con autocalibración, y escalable, con una medición diferencial que no requiere conocimiento alguno de la posición de la plataforma del sistema lidar.

60 Características y ventajas adicionales de la invención se expondrán en la descripción que sigue, y, las mismas se pondrán de manifiesto parcialmente a partir de la descripción, o se pueden asimilar al llevar a la práctica la invención. Los objetivos y otras ventajas de la invención se materializarán y obtendrán por medio de la estructura indicada particularmente en la descripción expuesta y sus reivindicaciones, así como los dibujos adjuntos.

65 Para lograr estas y otras ventajas y de acuerdo con la finalidad de la presente invención, según se materializa y describe en términos amplios, un sistema lidar incluye un transmisor configurado para emitir a luz polarizada hacia un blanco, un receptor configurado para captar luz dispersada desde el blanco, un primer detector, un

segundo detector, estando configurados el primer detector y el segundo detector para recibir por lo menos una parte respectiva de la luz dispersada del receptor, y una electrónica de temporización acoplado a cada uno de entre el primer y el segundo detectores.

5 En otro aspecto de la presente invención, un sistema lidar incluye un transmisor de luz configurado para transmitir una señal de luz, un receptor de luz configurado para recibir una señal de luz dispersada, incluyendo la señal de luz dispersada una primera componente y una segunda componente, y un detector configurado para resolver la primera y la segunda componentes de la señal de luz dispersada.

10 Todavía en otro aspecto de la presente invención, un sistema lidar incluye una fuente de luz polarizada y un receptor de luz, estando configurado el receptor de luz para recibir luz dispersada. El receptor de luz incluye un divisor de haz de polarización, dividiendo el divisor de haz de polarización la luz dispersada, en una componente de polarización en plano transversal y una componente de polarización coplanaria. El sistema lidar incluye además un primer detector, estando configurado el primer detector para recibir la componente polarizada en
15 plano transversal, y un segundo detector, estando configurado el segundo detector para recibir la componente polarizada coplanaria.

Todavía adicionalmente en otro aspecto de la presente invención, se divulga un método de medición de una distancia relativa entre una primera superficie y una segunda superficie con diferentes características de polarización, incluyendo el método las etapas de generar luz polarizada, dispersar por lo menos parte de la luz polarizada desde la primera superficie y por lo menos parte de la luz polarizada desde la segunda superficie, recibir la luz dispersada, dividir la luz dispersada en una primera y una segunda componentes, presentado la primera y la segunda componentes una diferencia relativa en polarización, detectar la primera y la segunda componentes, determinar una cantidad de tiempo transcurrido entre la primera y la segunda componentes, y
20 calcular una distancia relativa entre la primera superficie y la segunda superficie sobre la base de la cantidad de tiempo transcurrido.

En otro aspecto de la presente invención, un sistema lidar incluye una fuente de luz de láser, de manera que una salida de la fuente de luz de láser es luz de láser. El sistema lidar incluye además un divisor de haz de polarización, estando alineada la luz de láser con el eje de transmisión del divisor de haz de polarización, y una salida del divisor de haz de polarización es luz polarizada linealmente. El sistema lidar incluye además una placa de cuarto de onda, siendo recibida en la placa de cuarto de onda la luz polarizada linealmente transmitida por el divisor de haz de polarización. En un primer modo de funcionamiento, el eje rápido o lento de la placa de cuarto de onda está orientada a 45 grados con respecto a la salida de luz polarizada linealmente del divisor de haz de polarización, emitiendo la placa de cuarto de onda luz polarizada circularmente. En un segundo modo de funcionamiento, la placa de cuarto de onda está orientada de tal manera que los ejes rápido y lento de la placa de cuarto de onda están alineados con la salida de luz polarizada lineal del divisor de haz de polarización, emitiendo la placa de cuarto de onda luz polarizada linealmente. El sistema lidar incluye además un detector, recibiendo en el detector luz reflejada por el divisor de haz de polarización.
30

Todavía en otro aspecto de la presente invención, un sistema lidar incluye una fuente de luz y una placa de onda variable. En un primer modo de funcionamiento, la placa de onda variable está configurada para emitir luz polarizada en una primera dirección, y en un segundo modo de funcionamiento, la placa de onda variable está configurada para emitir luz polarizada en una segunda dirección relativamente diferente a la primera dirección. El sistema lidar incluye además un detector, estando configurado el detector para recibir luz dispersada de la luz polarizada de salida.
35

Todavía adicionalmente en otro aspecto de la presente invención, un método de medición de una distancia relativa entre superficies incluye medir una distancia relativa con respecto a una superficie preservadora de la polarización, lo cual incluye generar luz polarizada linealmente en un primer tiempo, estando polarizada verticalmente la luz generada, polarizar circularmente la luz polarizada verticalmente en una primera dirección, y dispersar por lo menos parte de la luz polarizada circularmente en una primera dirección, desde la superficie preservadora de la polarización. La luz dispersada se polariza circularmente en una segunda dirección después de ser dispersada por la superficie preservadora de la polarización. La medición de la distancia relativa entre superficies incluye además polarizar linealmente la luz dispersada, y hacer pasar la luz polarizada linealmente a un detector. La luz se recibe en el detector en un segundo tiempo. La medición de la distancia relativa entre superficies incluye además determinar una cantidad de tiempo transcurrido entre el primer tiempo y el segundo tiempo para obtener una primera diferencia de tiempo, y medir una distancia relativa con respecto a una superficie modificadora de la polarización. La medición de una distancia relativa con respecto a la superficie modificadora de la polarización incluye generar luz polarizada linealmente en un tercer tiempo, estando polarizada verticalmente la luz generada, hacer pasar por lo menos una primera parte de la luz polarizada verticalmente a través de la superficie preservadora de la polarización hacia la superficie modificadora de la polarización, siendo dispersada una segunda parte de la luz polarizada verticalmente por la superficie preservadora de la polarización en forma de luz polarizada verticalmente, dispersar la luz polarizada linealmente que se ha hecho pasar a través de la superficie preservadora de la polarización, desde la superficie modificadora de la polarización, modificándose la luz polarizada linealmente, después de ser dispersada por la superficie
40

5 modificadora de la polarización, hacer pasar una componente polarizada horizontalmente de la luz dispersada, con polarización modificada, hacia un detector, siendo recibida la luz en el detector en un cuarto tiempo, no haciéndose pasar hacia el detector luz dispersada por la superficie preservadora de la polarización, determinar una cantidad de tiempo transcurrida entre el tercer tiempo y el cuarto tiempo para obtener una segunda diferencia de tiempo, usar la primera y la segunda diferencias de tiempo, y calcular una distancia relativa entre la superficie preservadora de la polarización y la superficie modificadora de la polarización.

10 En otro aspecto de la presente invención, un método de medición de distancia relativa entre una primera superficie y una segunda superficie con características de polarización diferentes, incluye generar luz, dispersar la luz respectivamente desde la primera superficie y la segunda superficie, recibir cada una de la luz dispersada desde la primera superficie y la segunda superficie, detectar la luz dispersada, y determinar una cantidad de tiempo transcurrida entre la luz dispersada desde la primera superficie y la luz dispersada desde la segunda superficie.

15 **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incluyen para proporcionar una comprensión adicional de la invención y se incorporan a esta memoria constituyendo parte de la misma, ilustran formas de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los fundamentos de la invención.

20 En los dibujos:

25 la figura 1 ilustra un sistema lidar de acuerdo con formas de realización de la presente invención, en un entorno de funcionamiento ejemplificativo;

la figura 2A y la figura 2B ilustran la detección de un pulso de luz dispersada, a lo largo del tiempo, para un sistema con resolución de anchura de pulsos;

30 la figura 2C y la figura 2D ilustran la detección de un pulso de luz dispersada, a lo largo del tiempo, para un sistema con una resolución de anchura de subpulso, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la figura 3 ilustra un sistema lidar de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

35 la figura 4 representa componentes de un sistema lidar según una forma de realización de la presente invención;

40 la figura 5 representa componentes de un sistema lidar según una forma de realización de la presente invención;

la figura 6A ilustra la intensidad recibida, normalizada, de luz para blancos con grados variables de despolarización;

45 la figura 6B ilustra datos de voltaje normalizados de detectores, adquiridos durante la recepción de señales retrodispersadas, usando un sistema analógico para la superficie del agua (línea de puntos) y del suelo (línea continua);

50 la figura 6C ilustra datos de temporización normalizados, adquiridos durante la recepción de señales retrodispersadas de la superficie y del suelo, usando un sistema digital para una profundidad del agua de 3 centímetros (línea continua) y una profundidad del agua de 1 centímetro (línea discontinua); y

la figura 7 ilustra la medición de la profundidad de medios semitransparentes con una resolución de anchura de subpulso.

55 **Descripción detallada**

La invención se refiere a un sistema lidar. Un sistema lidar está configurado para medir la distancia u otras propiedades de una superficie de un blanco, iluminando la superficie del blanco con luz. En una forma de realización, el sistema lidar de la presente invención está configurado para medir profundidades someras de medios semitransparentes. Los medios incluyen una primera superficie y una segunda superficie y la masa de los medios entre la primera y la segunda superficies. En una orientación vertical, la primera y la segunda superficies de los medios pueden ser, respectivamente, las superficies superior e inferior. Luz transmitida es dispersada parcialmente desde las superficies superior de los medios semitransparentes y refractada parcialmente hacia dicha superficie superior. La superficie inferior puede incluir unos medios relativamente opacos o modificadores de la polarización o unos segundos medios semitransparentes. La superficie superior y la masa de medios semitransparentes incluyen, aunque sin carácter limitativo, medios tales como agua o vidrio.

La superficie inferior que es relativamente opaca o modificadora de la polarización incluye, aunque sin carácter limitativo, medios tales como hielo, arena, roca, paredes, piel, hipodermis, células, otras regiones anatómicas, y/o combinaciones de los mismos.

5 En una forma de realización, el sistema lidar incluye un transmisor configurado para emitir luz polarizada hacia un blanco, un receptor configurado para captar luz dispersada desde el blanco, y un primer y un segundo detectores. El primer y el segundo detectores están configurados para recibir por lo menos una parte respectiva de la luz dispersada desde el receptor. El primer y el segundo detectores pueden estar configurados para detectar las partes respectivas de la luz dispersada y sustancialmente al mismo tiempo o con alguna deriva. El sistema incluye también una electrónica de temporización acoplada a cada uno de entre el primer y segundo detectores.

15 El transmisor usado en la invención puede incluir transmisores que generan y transmiten una luz con una polarización conocida. El transmisor puede incluir un láser y un polarizador en comunicación óptica con el láser. El transmisor puede incluir, además, una placa de media onda en comunicación óptica con el láser. El láser puede incluir por lo menos uno de entre un láser polarizado, un láser pulsado, o un láser de onda continua (CW). En un ejemplo específico, un transmisor incluye un láser Teem Photonics de 35 mW, con una anchura de pulso de 450 ps, y con un conjunto óptico que genera y transmite luz polarizada linealmente con un grado de polarización superior al 99,9.

20 El receptor puede incluir uno o más receptores que pueden recibir luz dispersada. El receptor puede incluir un telescopio. El receptor puede incluir, opcionalmente, uno o más componentes para filtrar procesos (es decir, un filtro espectral) y puede incluir, además, un divisor de polarización. En un ejemplo específico, un receptor incluye un telescopio Maksutov-Cassegrain Orion con una apertura de 90 mm y una distancia focal efectiva de 1.250 mm.

30 El primer y el segundo detectores incluyen detectores que pueden detectar y contar fotones en una señal de luz. Los detectores pueden incluir tubos fotomultiplicadores que dan salida a una señal de recuento de fotones. Otros detectores que pueden funcionar en el modo de recuento de fotones o analógico incluyen fotodiodos de avalancha, dispositivos acoplados por carga, u otros detectores de fotones. En un ejemplo específico, los detectores incluyen tubos fotomultiplicadores H7422PA-40 Hamamatsu con una anchura del pulso de 2,5 ns.

35 La electrónica de temporización incluye una electrónica que puede calcular una distancia relativa basándose en una cantidad de tiempo transcurrida entre señales de luz. La electrónica de temporización puede incluir un discriminador de fracción constante (CFD) para discriminar un ápice en una señal de recuento de fotones, un conversor de tiempo-a-digital (TDC), y un procesador. En un ejemplo específico, la electrónica de temporización incluye un CFD SensL con una anchura de pulso de salida 8 ns, y un TDC HRMTime SensL con un ancho de compartimento (*bin width*) de 27 ps y un tiempo muerto de 190 ns.

40 En otra forma de realización, un sistema lidar incluye un transmisor de luz configurado para transmitir una señal de luz, un receptor de luz configurado para recibir una señal de luz dispersada, incluyendo la señal de luz dispersada una primera y una segunda componentes, y un detector configurado para resolver la primera y la segunda componentes de la luz de señal dispersada.

45 Una señal de luz incluye información portadora de radiación electromagnética. La información incluye atributos diferenciadores de la señal de luz, tales como la amplitud, la frecuencia, la fase, la polarización, otros atributos, y/o combinaciones de los mismos. La señal de luz se puede codificar por medios naturales (es decir, luz que contiene una signatura de polarización del blanco, dispersada a partir de una luz incidente polarizada linealmente) o artificiales (es decir, codificación incorporada por una electrónica cuando se genera una luz). Además, la polarización puede ser cualquier tipo de polarización (por ejemplo, linealmente, vertical, horizontal y/o circular). Una señal de luz puede ser cualquier tipo de señal (por ejemplo, láser pulsado o de onda continua (CW), una lámpara, una luz de LED, y/u otras fuentes de luz o combinaciones de los mismos). Las señales de luz pulsada pueden tener delimitaciones en la señal nula entre los pulsos; las señales de luz de CW pueden tener delimitaciones en los lugares en los que la onda cambia de modulación, de fase y/o de otros atributos. Una señal de luz puede incluir señales componentes con atributos variables, que ocupan por lo menos una parte sustancialmente de un tiempo y/o espacio idéntico y/o indistinguible con respecto a la señal de luz.

60 La señal de luz dispersada incluye la luz especular y difusa, dispersada desde el medio seleccionado como blanco. Una señal de luz dispersada incluye una señal de luz dirigida que cambia de dirección como consecuencia de que la señal de luz dirigida incide en una superficie. La superficie podría incluir superficies preservadoras de la polarización o modificadoras de la polarización. La señal de luz dispersada puede tener una intensidad, frecuencia, fase, polarización, otros atributos y/o combinaciones de los mismos, que sean diferentes, debido a las características de la señal de luz dirigida que interacciona con la superficie. Además, cuando la señal de luz dirigida incide en una superficie modificadora de la polarización, la señal de luz dispersada se puede dispersar significativamente en varias polarizaciones y/o direcciones. Una señal de luz reflejada incluye la luz especular dispersada desde un medio que actúa como blanco. Señal de luz reflejada puede referirse además a

la acción de componentes ópticos dentro de un transmisor y un receptor de un instrumento que dirige una señal de luz desde un elemento a otro.

5 Una señal componente de una señal de luz incluye por lo menos algún atributo diferenciador uniforme, tal como amplitud, frecuencia, fase, polarización, otros atributos y/o una combinación de los mismos. En un ejemplo específico, la polarización coplanaria y la polarización en plano transversal, de una señal de luz, son dos componentes de una señal de luz.

10 Todavía en otra forma de realización, un sistema lidar incluye una fuente de luz polarizada y un receptor de luz. Estando configurado el receptor de luz para recibir luz dispersada. El receptor de luz incluye un divisor de haz de polarización. El divisor de haz de polarización divide la luz dispersada en una componente de polarización en plano transversal y una componente de polarización coplanaria. El sistema lidar incluye además un primer detector y un segundo detector. El primer detector está configurado para recibir la componente polarizada en plano transversal. El segundo detector está configurado para recibir la componente polarizada coplanaria.

15 Todavía en otra forma de realización, se divulga un método de medición de una distancia relativa entre una primera superficie y una segunda superficie con características de polarización diferentes. El método incluye las etapas de generar luz polarizada, dispersar por lo menos parte de la luz polarizada desde la primera superficie y por lo menos parte de la luz polarizada desde la segunda superficie, recibir la luz dispersada, y dividir la luz dispersada en una primera y una segunda componentes. La primera y la segunda componentes presentan una diferencia relativa en cuanto a polarización. El método incluye además las etapas de detectar la primera y la segunda componentes, determinar una cantidad de tiempo transcurrida entre la primera y la segunda componentes, y calcular una distancia relativa entre la primera superficie y la segunda superficie sobre la base de la cantidad de tiempo transcurrido.

20 En otra forma de realización, un sistema lidar incluye una fuente de luz de láser, de manera que una salida de la fuente de luz de láser es luz de láser. El sistema lidar incluye además un divisor de haz de polarización, estando alineada la luz de láser con el eje de transmisión del divisor de haz de polarización, y una salida del divisor de haz de polarización es luz polarizada linealmente. El sistema lidar incluye además una placa de cuarto de onda, recibiendo en la placa de cuarto de onda la luz polarizada linealmente, transmitida por el divisor de haz de polarización. En un primer modo de funcionamiento, el eje rápido o lento de la placa de cuarto de onda está orientado a 45 grados con respecto a la salida de luz polarizada linealmente del divisor de haz de polarización, de manera que la placa de cuarto de onda emite luz polarizada circularmente. En un segundo modo de funcionamiento, la placa de cuarto de onda está orientada de tal manera que los ejes rápido y lento de la placa de cuarto de onda están alineados con la salida de luz polarizada lineal del divisor de haz de polarización, emitiendo luz polarizada linealmente la placa de cuarto de onda. El sistema lidar incluye además un detector. En el detector se recibe luz dispersada por el divisor de haz de polarización.

30 Todavía en otra forma de realización, un sistema lidar incluye una fuente de luz y una placa de onda variable. En un primer modo de funcionamiento, la placa de onda variable está configurada para emitir luz polarizada en una primera dirección, y en un segundo modo de funcionamiento, la placa de onda variable está configurada para emitir luz polarizada en una segunda dirección relativamente diferente a la primera dirección. El sistema lidar incluye además un detector. El detector está configurado para recibir luz dispersada de la luz polarizada.

45 Todavía adicionalmente en otra forma de realización, un método de medición de una distancia relativa entre superficies incluye medir una distancia relativa con respecto a una superficie preservadora de la polarización, lo cual incluye generar luz polarizada linealmente en un primer tiempo, estando polarizada verticalmente la luz generada, polarizar circularmente la luz polarizada verticalmente en una primera dirección, y dispersar por lo menos parte de la luz polarizada circularmente en una primera dirección, desde la superficie preservadora de la polarización. La luz dispersada se polariza circularmente en una segunda dirección después de ser dispersada por la superficie preservadora de la polarización. La medición de la distancia relativa entre superficies incluye además polarizar linealmente la luz dispersada, y hacer pasar la luz polarizada linealmente a un detector. La luz se recibe en el detector en un segundo tiempo. La medición de la distancia relativa entre superficies incluye además determinar una cantidad de tiempo transcurrido entre el primer tiempo y el segundo tiempo para obtener una primera diferencia de tiempo, y medir una distancia relativa con respecto a una superficie modificadora de la polarización. La medición de una distancia relativa con respecto a la superficie modificadora de la polarización incluye generar luz polarizada linealmente en un tercer tiempo, estando polarizada verticalmente la luz generada, hacer pasar por lo menos una primera parte de la luz polarizada verticalmente a través de la superficie preservadora de la polarización hacia la superficie modificadora de la polarización, siendo dispersada una segunda parte de la luz polarizada verticalmente por la superficie preservadora de la polarización en forma de luz polarizada verticalmente, dispersar la luz polarizada linealmente que se ha hecho pasar a través de la superficie preservadora de la polarización, desde la superficie modificadora de la polarización, modificándose la luz polarizada linealmente, después de ser dispersada por la superficie modificadora de la polarización, hacer pasar una componente polarizada horizontalmente de la luz dispersada, con polarización modificada, hacia un detector, siendo recibida la luz en el detector en un cuarto tiempo, no haciéndose pasar hacia el detector luz dispersada por la superficie preservadora de la polarización, determinar una cantidad de tiempo transcurrida entre el tercer

tiempo y el cuarto tiempo para obtener una segunda diferencia de tiempo, usar la primera y la segunda diferencias de tiempo, y calcular una distancia relativa entre la superficie preservadora de la polarización y la superficie modificadora de la polarización.

5 En otra forma de realización, un método de medición de distancia relativa entre una primera superficie y una segunda superficie con características de polarización diferentes, incluye generar luz, dispersar la luz respectivamente desde la primera superficie y la segunda superficie, recibir cada una de la luz dispersada desde la primera superficie y la segunda superficie, detectar la luz dispersada, y determinar una cantidad de tiempo transcurrida entre la luz dispersada desde la primera superficie y la luz dispersada desde la segunda superficie.

10 A continuación se hará referencia de manera detallada a una forma de realización de la presente invención, ilustrándose ejemplos de la misma en los dibujos adjuntos.

15 La figura 1 ilustra un sistema lidar 104 de acuerdo con formas de realización de la presente invención, en un entorno de funcionamiento ejemplificativo 100. El sistema lidar 104 genera luz transmitida 108 que se dirige hacia un blanco 112. El blanco 112 puede comprender una masa de agua 116 que tiene una superficie superior 120 y un suelo 124. En un primer modo de funcionamiento, luz 128 dispersada desde la superficie 120 del blanco 112 es recibida por el sistema lidar 104. El tiempo transcurrido entre la generación de un pulso de luz 108 dispersada desde la superficie 120 del blanco 112 y devuelta al sistema lidar 104 en forma de una señal dispersada 128, se usa para determinar una distancia relativa entre la superficie 120 del blanco 112 y el sistema lidar 104. En un segundo modo de funcionamiento, el tiempo transcurrido entre la generación de un pulso de luz transmitida 108 y una señal 132 dispersada desde el suelo 124 del blanco 112, se usa para determinar la distancia relativa entre el sistema lidar 104 y el suelo 124 del blanco 112. Considerando la diferencia entre la distancia a la superficie 120 y la distancia al suelo 124, puede determinarse la distancia relativa entre la superficie 120 y el suelo 124. Por consiguiente, se puede determinar la profundidad relativa del agua 116. En el ejemplo de la figura 1, el sistema lidar 104 está asociado a una plataforma 136 que comprende un avión. No obstante, un sistema lidar 104 de acuerdo con formas de realización de la presente invención se puede asociar a plataformas diferentes 136. Los ejemplos de plataformas adecuadas 136, además de un avión, incluyen satélites, vehículos aéreos no tripulados, helicópteros, globos, barcos, u otras plataformas. Además, un sistema lidar 104 de acuerdo con formas de realización de la presente invención no se limita a la batimetría de aguas someras. Por ejemplo, el sistema lidar 104 se puede usar para el mapeo de superficies de fondos, o para determinar la distancia entre cualquier superficie preservadora de la polarización que sea transmisora, por lo menos parcialmente, de luz 108, y una superficie modificadora de la polarización situada tras la superficie preservadora de la polarización, particularmente en el caso en el que la distancia de separación de otro modo sería irresoluble debido a limitaciones de ancho de banda del sistema asociadas a anchuras de los pulsos del láser y/o de los detectores. La superficie modificadora de la polarización incluye, aunque sin carácter limitativo, medios tales como hielo, arena, roca, paredes, piel, hipodermis, células, otras regiones anatómicas, y combinaciones de los mismos.

40 La figura 2A y la figura 2B ilustran la detección de un pulso de luz dispersada, a lo largo del tiempo, para un sistema con una resolución de anchura de pulsos.

45 La figura 2A representa un entorno ejemplificativo de aguas someras 280 con una masa de agua somera 203 que presenta una superficie acuática 201 y un suelo acuático 202. El eje y representa la distancia de una sección transversal vertical del entorno de aguas someras 280. El eje x representa el tiempo. El nivel de la superficie acuática 201 se encuentra a la distancia $h=0$; el nivel del suelo acuático 202 se encuentra a la distancia h . La masa de agua 203 con un medio acuático tiene un índice de refracción de $n=1,33$. El medio aéreo por encima de la superficie acuática 201 tiene un índice de refracción de $n=1$.

50 El pulso transmitido (Tx) 210 es un pulso de luz que tiene una longitud $c\tau$. En el tiempo t_0 , se genera el pulso Tx 210 por medio de un sistema lidar, tal como el sistema lidar 104, o por medio de otras fuentes de luz. En el entorno 280, el pulso Tx 210 se está transmitiendo sustancialmente normal a la superficie acuática 201. No obstante, el pulso Tx 210 se puede transmitir con otros ángulos, siempre que el pulso Tx 210 se pueda dispersar por lo menos parcialmente y refractar parcialmente a través de la superficie acuática 201.

55 En el tiempo $t_{\text{superficie}}$, el pulso Tx 210 llega a la superficie acuática 201. Tal como se ha mencionado, el pulso Tx 210 será dispersado parcialmente desde la superficie acuática 201, de manera que el pulso de luz dispersada será el pulso recibido (Rx) 220, y se refractará parcialmente a través de la superficie acuática 201 hacia la masa de agua 203, de manera que el pulso de luz refractada será pulso refractado 240. Así, en el tiempo $\tau/2$, la mitad del pulso Tx 210 se ha dispersado como pulso Rx 220 con una longitud $c\tau/2$, y la mitad del pulso Tx 210 se ha refractado como pulso refractado 240 con una longitud $0,376 c\tau$ (debido al índice de refracción en la masa de agua 203). En el momento τ , el pulso Tx 210 en su totalidad o bien se ha dispersado como pulso Rx 220 o bien se ha refractado como pulso refractado 240.

65 En el momento t_{suelo} , el pulso refractado 240 llega al suelo acuático 202 y será dispersado por lo menos parcialmente como pulso Rx 230. El pulso Rx 230, igual que el pulso refractado 240, presentará un acortamiento

relativo de su longitud cuando se desplace en la masa de agua 203, debido al índice de refracción de la masa de agua 203 ($n=1,33$) en contraposición con el aire ($n=1$). El pulso Rx 230 se alargará hasta la longitud $c\tau$ cuando salga de la superficie acuática 201.

- 5 Así, cuando el pulso Rx 230 sale de la superficie acuática 201, la diferencia de tiempo entre t_{suelo} y $t_{\text{superficie}}$ puede obtenerse a partir de la diferencia de tiempo entre el pulso Rx 220 y el pulso Rx 230. Además, la relación entre la diferencia de tiempo de t_{suelo} y $t_{\text{superficie}}$ y la distancia física entre la superficie acuática 201 ($h=0$) y el suelo acuático 202 (h) viene dada por

$$h = \frac{c\Delta t}{2n}$$

(1)

Por lo tanto, puede determinarse la profundidad de la masa de agua 203.

La figura 2B representa diagramas de temporización para pulsos Rx 220 y 230 correspondientes a escenarios específicos de profundidad de agua. Cuando la distancia entre la superficie acuática 201 y el suelo acuático 202 (h) es mayor que una profundidad de agua mínima (h_{min}) para la cual se ha dispersado la mitad del pulso Rx 220 desde la superficie acuática 201 ($h > h_{\text{min}}$), existe un espacio discernible entre los pulsos Rx 220 y 230, y la diferencia de temporización entre los pulsos Rx 220 y 230 (Δt) es $t_{\text{suelo}} - t_{\text{superficie}}$. Cuando la distancia entre la superficie acuática 201 y el suelo acuático 202 (h) es igual a h_{min} , el pulso Rx 230 viene directamente después de Rx 220 sin ningún espacio discernible y ninguna parte solapada entre los pulsos Rx 220 y 230. Cuando la distancia entre la superficie acuática 201 y el suelo acuático 202 (h) es menor que h_{min} ($h < h_{\text{min}}$), el pulso Rx 230 viene antes de que haya pasado la parte completa del pulso Rx 220, creando un solapamiento intrapulso ambiguo 225.

Por lo tanto, se produce una limitación para el método de detección según se describe en la figura 2A y la figura 2B. Esta limitación es que los pulsos dispersados denominados pulso Rx 220 e pulso Rx 230 deben ser sustancialmente separables. Es decir, el pulso Rx 230 no debe comenzar a salir de la superficie acuática 201 antes de que el pulso Rx 220 se haya dispersado completamente desde el suelo acuático 201. Efectivamente, este requisito necesita una profundidad de agua mínima (h_{min}) para la cual el pulso Rx 230 no se puede dispersar desde el suelo acuático 202 antes de que la mitad del pulso Rx 220 se haya dispersado desde la superficie acuática 201 en el tiempo $\tau/2$. En esta forma de realización, h_{min} es $0,376 c\tau$ (debido al índice de refracción en la masa acuática 203 según se ha descrito previamente) y depende de la longitud del pulso Tx 210.

Cuando $h < h_{\text{min}}$, los dos pulsos dispersados, pulso Rx 220 y 230, presentan un solapamiento intrapulso ambiguo 225 que no es separable para resolver la diferencia de tiempo entre t_{suelo} y $t_{\text{superficie}}$ con respecto a los pulsos Rx 220 y 230. En la práctica, h_{min} está limitada por restricciones del equipo para generar y detectar pulsos de luz con una longitud mínima τ .

La figura 2C y la figura 2D ilustran la detección de un pulso de luz dispersado a lo largo del tiempo, para un sistema con resolución de anchura de subpulso, según una forma de realización de la presente invención.

En referencia a la figura 2C, un entorno de aguas someras ejemplificativo se representa con el número de referencia 290. El entorno 290 incluye una masa de agua somera 206 que tiene una superficie acuática 204 y un suelo acuático 205. El eje y representa la distancia de una sección transversal vertical del entorno de aguas someras 290. El eje x representa el tiempo. El nivel de la superficie acuática 204 se encuentra a la distancia $h=0$, y el nivel del suelo acuático se encuentra a la distancia h . La profundidad de la masa de agua 206 se encuentra a la distancia h , que es menor que la profundidad de agua mínima (h_{min}) para el pulso Tx 230. Por lo tanto, un pulso Rx 240 que se dispersa desde la superficie acuática 204 y un pulso Rx 250 que se dispersa desde el suelo acuático 205 incluyen una parte 245 de solapamiento intrapulso ambiguo. El solapamiento intrapulso ambiguo 245 se crea de manera similar al solapamiento intrapulso ambiguo 225 según se ha descrito con respecto a la figura 2A y la figura 2B.

En esta forma de realización, el pulso Tx 230 es un pulso de luz que tiene una polarización conocida. Por ejemplo, el pulso Tx 230 está polarizado en la dirección del plano transversal al vector de propagación del pulso Tx 230, que es normal a la superficie acuática 204 en observación nadiral directa. El pulso Tx 230 se puede polarizar mediante un sistema lidar, tal como el sistema lidar 104, o mediante otras fuentes de luz de polarización según es conocido en la técnica. Cuando el pulso Tx 230 llega a la superficie acuática 204 en el tiempo $t_{\text{superficie}}$, el pulso Tx 230 es dispersado parcialmente por la superficie acuática 204 en forma del pulso Rx 240. Puesto que la superficie acuática 204 es una superficie preservadora de la polarización, el pulso Rx 240 mantiene sustancialmente la misma polarización que el pulso Tx 230. El pulso Tx 230 es también refractado parcialmente hacia la masa de agua 206. La parte refractada del pulso Tx 230 es dispersada por el suelo acuático 205 en el tiempo t_{suelo} . El suelo acuático 205 es una superficie modificadora de la polarización, y crea una dispersión de la

polarización en la luz dispersada. Por lo tanto, el pulso Rx 250 tendrá una polarización diferente al pulso Tx 230 y al pulso Rx 240 cuando se dispersa desde el suelo acuático 205.

5 La figura 2D representa diagramas de temporización para los pulsos Rx 240 y 250 en correspondencia con una profundidad acuática de $h < h_{\min}$. Los pulsos dispersados denominados pulso Rx 240 e pulso Rx 250 tendrán un solapamiento 245 debido a $h < h_{\min}$. En referencia a las vistas 1 y 2, en esta forma de realización, el solapamiento intrapulso ambiguo 245 puede eliminarse, y los pulsos Rx 240 y 250 se pueden separar como dos señales distintas, ya que el pulso Rx 240 tiene solamente la polarización en plano transversal que se dispersa desde la superficie acuática 204, y el pulso Rx 250 presenta una variedad de polarización debido a la retrodispersión al dispersarse desde el suelo acuático 205. Esta separación se puede lograr por varios medios mecánicos (es decir, espejos móviles mecánicamente), ópticos (es decir, prismas o polarizadores divisores), electrónicos (es decir, detectores de recuento de fotones), y/o una combinación de los mismos.

15 Aunque las Figs. 2A a 2D se han descrito con respecto a un pulso de luz polarizado, transmitido, de acuerdo con una forma de realización de la invención, pueden usarse otras configuraciones. Por ejemplo, en lugar de luz por pulsos, también puede utilizarse un láser de onda continua (CW) (es decir, donde los espacios entre cada "pulso" se pueden obtener de manera similar mediante modificación de la fase inducida por dispersión). Además, en lugar de la luz polarizada en el plano transversal, o como complemento a la misma, también pueden usarse dos o más pulsos de luz transmitidos, con polarizaciones diferentes. Por ejemplo, de acuerdo con una forma de realización de la invención según se describe en referencia a la figura 5, pueden transmitirse dos pulsos de luz, cada uno de ellos con una polarización diferente, de tal manera que, después del filtrado, un pulso recogerá la señal solamente de la superficie preservadora de la polarización y otro pulso recogerá la señal solamente de la superficie modificadora de la polarización. En esta configuración, se requiere solamente un detector para contar los dos pulsos de luz. Todavía adicionalmente, se prefieren polarizaciones que estén alineadas con el pulso transmitido (es decir, polarización coplanaria y en el plano transversal) aunque ello no es un requisito. Pueden utilizarse otros ángulos de polarización y los mismos pueden resultar más adecuados para otras aplicaciones (es decir, superficies posicionadas en ángulo o superficies constituidas por otros materiales, tales como hielo).

20 La figura 3 ilustra un sistema lidar de acuerdo con una forma de realización de la invención.

30 En referencia a la figura 3, el sistema lidar se representa de manera general con el número de referencia 300. El sistema lidar 300 incluye un transmisor de luz 310, un receptor de luz 330, y una electrónica de temporización 340. El transmisor de luz 310 está configurado para generar y emitir por lo menos una señal de luz (por ejemplo, láser pulsado o de onda continua (CW)). En una forma de realización preferida, la señal de luz a la que se emite presenta una polarización conocida. El blanco 320 es una masa de agua somera o cualquier otro tipo de cuerpo con una respectiva superficie relativamente preservadora de la polarización y semitransparente (primera superficie) y una superficie relativamente modificadora de la polarización (por ejemplo, opaca y/o despolarizante) (segunda superficie). La señal de luz a la que se emite desde el transmisor de luz 310 está configurada para dispersarse tanto desde la primera como desde la segunda superficies. El receptor de luz 330 está configurado para recibir las señales de luz dispersadas desde el blanco 320, y separar las señales de luz dispersadas en sus componentes respectivas. La electrónica de temporización 340 está acoplada eléctricamente al receptor de luz 330, y está configurado para calcular una distancia relativa basándose en una cantidad de tiempo transcurrida entre señales de luz.

45 La figura 4 ilustra componentes de un sistema lidar según una forma de realización de la invención.

50 En referencia a la figura 4, el sistema lidar 400 incluye el transmisor de luz 410, el receptor de luz 430, y la electrónica de temporización 440. En esta forma de realización, el transmisor de luz 410 incluye el láser 412, el expansor de haz 413, la placa de media onda 414, el polarizador 415, y prismas 416. El láser 412 actúa como una fuente de luz para el sistema lidar 400, y está configurado para emitir una luz enfocada, como base de la señal de luz transmitida. El láser 412 puede ser un láser pulsado, un láser de onda continua (CW), un láser polarizado, u otros tipos de láseres. En otras formas de realización, el láser 412 puede incluir genéricamente otras fuentes de luz tal como es sabido en la técnica (es decir, una lámpara o luz LED). En una forma de realización, como láser 412 se usa un láser pulsado de 450 ps. El expansor de haz 413, la placa de media onda 414, el polarizador 415, y los prismas 416 son opcionales, y están configurados para enfocar y alinear la señal de luz transmitida hacia el blanco 420. En esta forma de realización, la cadena del expansor de haz 413, la placa de media onda 414, el polarizador 415 y los prismas 416 se agregan y se alinean, cada uno de ellos, al trayecto óptico de la señal de luz transmitida. El expansor de haz 413 está configurado para expandir la señal de luz transmitida para blancos de puntos difíciles. La placa de media onda 414 se puede accionar mecánica o eléctricamente (es decir, usando un retardador variable de cristal líquido) para controlar la retardancia de la señal de luz enfocada a lo largo del trayecto óptico. El polarizador 415 está configurado para polarizar la señal de luz con una polarización conocida. Como láser 412 también se puede utilizar un láser de polarización para una polarización conocida. Los prismas 416 están configurados para dirigir y enfocar coaxialmente la señal de luz transmitida, hacia el blanco 420, tal como es conocido en la técnica.

65

Durante el funcionamiento, el activador 411 se puede acoplar eléctricamente al láser 412 u otros componentes del transmisor de luz 410 para iniciar la transmisión de la señal de luz. En otras formas de realización, el transmisor de luz 410 puede funcionar continuamente sin el activador 411. La señal de luz se transmite desde el transmisor de luz 410 al blanco 420. El blanco 420 incluye por lo menos una primera superficie y una segunda superficie según se describe en la presente. La señal de luz transmitida se dispersa parcialmente desde la primera superficie, como primera señal de luz dispersada, y se refracta parcialmente hacia el blanco. La luz refractada se dispersa desde la segunda superficie, como segunda luz dispersada.

La primera señal de luz dispersada tiene sustancialmente la misma polarización que la señal de luz transmitida, mientras que la segunda señal de luz dispersada tendrá una polarización diferente debido a la dispersión desde la segunda superficie. La primera y la segunda señales de luz dispersadas pueden presentar una parte intrapulso solapada que forma una señal de luz dispersada combinada.

El receptor de luz 430 incluye el telescopio 431, el limitador de campo 432, el filtro espectral 433, el polarizador divisor 434, el primer detector 435 y el segundo detector 436. Cada uno de estos componentes se agrega y se alinea a un trayecto óptico de la señal de luz dispersada. El telescopio 431 actúa para captar la señal de luz dispersada. El limitador de campo 432 y el filtro espectral 433 son componentes opcionales. El limitador de campo 432 actúa para limitar el campo de visión del receptor de luz 430 en los lugares en donde se recogería la señal de luz dispersada. El filtro espectral 433 actúa para filtrar adicionalmente la luz recibida en el espectro de luz que interese (es decir, limitando el espectro a la frecuencia esperada de las señales de luz dispersadas).

El polarizador divisor 434 actúa para separar la señal de luz dispersada, recibida, de acuerdo con la polarización. En esta forma de realización, el divisor de polarización 434 está alineado con el trayecto óptico de la señal de luz dispersada. Cuando la señal de luz dispersada llega al divisor de polarización 434, la componente de la señal polarizada en el plano transversal pasa sustancialmente a través del divisor de polarización 434, mientras que la componente de la señal polarizada coplanaria sustancialmente se refleja. El ángulo de reflexión es una función del tipo de polarizador utilizado (es decir, ángulo de 90° o ángulo de 62° para un polarizador de tipo Glan Taylor). En este caso, la primera señal de luz dispersada, que se dispersa desde la superficie acuática y que contiene luz polarizada en el plano transversal, sustancialmente se refleja (es decir, con ángulo de 90°), mientras que por lo menos la componente de polarización coplanaria de la segunda señal de luz dispersada, que se dispersa desde el suelo acuático y que contiene luz despolarizada, sustancialmente se transmite. Son también posibles otras orientaciones en función de la metodología de polarización usada sobre la señal de luz transmitida y el tipo de polarizador utilizado para el divisor de polarización 434.

El detector 435 se posiciona en un trayecto óptico de 180° desde la señal de luz reflejada, y está configurado para detectar la componente de polarización en el plano transversal, de la señal de luz dispersada. El detector 436 se posiciona en el trayecto óptico de la señal de luz reflejada (es decir, 90°), y está configurado para detectar la componente coplanaria de la señal de luz dispersada. Por ello, el detector 436 está configurado para detectar la primera señal dispersada desde la superficie acuática, mientras que el detector 435 está configurado para detectar la segunda señal dispersada desde el suelo acuático. Los detectores 435 y 436 pueden ser tubos fotomultiplicadores y están configurados para contar el volumen de fotones en cada señal dentro de un cierto intervalo de tiempo, representando la intensidad de la señal, y para emitir una señal de recuento de fotones. En una forma de realización, los detectores 435 y 436 tienen una resolución de 2,5 ns. Por otra parte, los detectores 435 y 436 se pueden configurar para detectar de manera sustancialmente simultánea señales dispersadas separadas, provenientes del divisor de haz de polarización 434.

Cabe señalar que el divisor de haz de polarización 434 se puede posicionar en una variedad de ángulos para dividir la señal de luz dispersada con otros ángulos. Los detectores 435 y 436 se pueden posicionar en otras configuraciones para recibir dichas componentes divididas de la señal de luz dispersada.

La electrónica de temporización 440 puede incluir un discriminador de fracción constante (CFD) 441, un conversor de tiempo-a-digital (TDC) 442, y un procesador 443. El procesador 443 está acoplado al CFD 441 y al TDC 442 a través de una línea de control, para el control y la retroalimentación de estos componentes. El CFD 441 está acoplado a los detectores 435 y 436 a través de una línea de acondicionamiento de la señal, y está configurado para emitir un ápice de la señal de recuento de fotones a ciertos intervalos, representando el tiempo en el cual la señal ha llegado de manera significativa. En una forma de realización de la invención, el CFD 441 tiene una resolución de 8 ns. El TDC 443 está acoplado al CFD 441 y está configurado para convertir en una señal digital la señal de tiempo a la que emite el CFD 441. En una forma de realización de la invención, el TDC 442 tiene una resolución de 27 ps.

El procesador 443 está acoplado al TDC 442 y está configurado para tomar la señal de temporización digitalizada, y determinar el tiempo de llegada de cada componente (señales polarizadas coplanaria y en el plano transversal, en una de las formas de realización), y para calcular la diferencia en el tiempo de llegada de las dos señales. En esta forma de realización, el procesador 443 está configurado además para transformar la diferencia de tiempo en la profundidad entre las superficies preservadora de la polarización y modificadora de la polarización, en función de la calibración del sistema lidar 400 y del índice de refracción de la masa de agua

somera u otros tipos de cuerpos en cuestión. Se expondrá una descripción adicional de este cálculo con respecto a la figura 5.

5 Además, puede ser necesaria una calibración inicial en el sistema lidar 400 ya que los trayectos de luz hacia los detectores 435 y 436 pueden no ser iguales después de que la luz dispersada sea separada por el divisor de polarización 434. De acuerdo con una forma de realización, esta calibración se puede lograr usando una señal dispersada desde una superficie que es despolarizante, y teniendo en cuenta una diferencia en la valoración de la distancia a esa superficie entre los detectores 435 y 436. La diferencia en la valoración de la distancia es debida probablemente a los trayectos ópticos ligeramente diferentes entre cada uno de los detectores 435 y 436
10 y el divisor de polarización 434. En una forma de realización, esta calibración se puede llevar a cabo una vez y se puede guardar para su ajuste por parte del procesador 443. La corrección y el ajuste se pueden aplicar a datos de profundidad subsiguientes por medio del procesador 443.

15 La figura 5 ilustra componentes de un sistema lidar de acuerdo con formas de realización de la presente invención.

En referencia a la figura 5, el sistema lidar 504 incluye un banco óptico u otra estructura, la cual se puede conectar de manera directa o indirecta a otros componentes. Estos componentes incluyen una fuente de luz (por ejemplo, láser pulsado o de CW) o láser 508. El láser 508 se puede hacer funcionar para generar luz polarizada linealmente 512 que se transmite a lo largo de un eje óptico 516. Como ejemplo, la luz polarizada linealmente 512 puede tener una longitud de onda de 532 nm. A lo largo del eje óptico 516 se puede incluir una placa de media onda 520. La placa de media onda 520 se puede girar en torno al eje óptico 516, por lo menos durante una fase de calibración, para controlar la orientación de la luz polarizada linealmente 512 en torno al eje óptico 516.

25 Un divisor de haz de polarización (PBS) 524, tal como un cubo divisor de haz de polarización, está situado a lo largo del eje óptico 516. Cuando se requiera maximizar la transmisión, la luz polarizada linealmente 512 se puede girar en torno al eje óptico 516 por medio de la placa de media onda 520, de tal manera que la luz 512 se alinee con el eje de transmisión del PBS 524, permitiendo que, a través del PBS 524, pase la cantidad máxima de luz polarizada linealmente 512.
30

Una placa de cuarto de onda 528 está situada a lo largo del eje óptico 516, de tal manera que la luz polarizada linealmente 512 transmitida por el PBS 524 se hace pasar a través de la placa de cuarto de onda 528. Además, la placa de cuarto de onda 528 es libre para girar en torno al eje óptico 516. Tal como se describirá de forma más detallada en algún otro lugar de la presente, la placa de cuarto de onda 528 se puede girar entre una primera orientación, en la cual la placa de cuarto de onda 528 actúa para polarizar circularmente la luz 512 recibida desde el divisor de haz de polarización, y una segunda orientación, en la cual la placa de cuarto de onda 528 está alineada para mantener el estado de polarización lineal de la luz 512 recibida desde el divisor de haz de polarización 224. Como alternativa, en lugar de la placa de cuarto de onda 528 se puede usar una placa de onda variable, controlada electrónicamente.
35
40

Un detector 536 está situado para recibir luz dispersada desde un blanco 513 volviendo a través de la placa de cuarto de onda 528, y que es reflejada, a su vez, por el PBS 524. El detector 536 puede comprender, por ejemplo, un tubo fotomultiplicador, un fotodiodo de avalancha, un dispositivo acoplado por carga, u otro detector de luz.
45

En un primer modo de funcionamiento, el eje rápido de la placa de cuarto de onda 528 está orientado a 45° con respecto a la salida de polarización lineal del PBS 524. En esta orientación, la placa de cuarto de onda 528 retarda la componente de polarización lenta lineal de la luz 512 transmitida desde el láser 508, a través del PBS 524, con respecto a la componente de polarización rápida de esa luz 512 en 90°, dando como resultado la emisión de luz hacia el blanco 513 que está polarizada circularmente en una primera dirección. La superficie de un blanco 513 que comprende una masa de agua preserva la polarización. Por consiguiente, la luz polarizada circularmente se dispersa de vuelta hacia el lidar 504 en el estado de polarización circular opuesto. Por ejemplo, cuando la luz 508 transmitida al blanco 513 esté polarizada circularmente a la izquierda, la luz dispersada desde la superficie del blanco 513 estará polarizada circularmente a la derecha. La luz dispersada de vuelta hacia el sistema lidar 504 se retarda nuevamente por medio de la placa de cuarto de onda 528. El resultado es luz polarizada linealmente que está girada en torno al eje óptico 516 en 90°, en comparación con la luz 512 que salió originalmente del PBS 524. Por ejemplo, cuando la luz 512 que sale del PBS 524 estaba polarizada verticalmente, la luz dispersada por la superficie preservadora de la polarización se polarizará horizontalmente después de pasar de nuevo a través de la placa de cuarto de onda 528. Por consiguiente, la luz dispersada está alineada con el eje de reflexión del PBS 524, y es dirigida por el PBS 524 al detector 536. Por consiguiente, al detector 536 se le entrega un pulso de luz que comprende dispersión de la superficie del blanco 513.
50
55
60

En el segundo modo de funcionamiento, la placa de cuarto de onda 528 se hace girar de tal manera que los ejes rápido y lento están alineados con el plano de transmisión del PBS 524. Así, las componentes de polarización vertical de la luz transmitida son retardadas equitativamente por la placa de cuarto de onda 528. Como
65

consecuencia, hacia el blanco 513 se transmite luz polarizada linealmente (por ejemplo, verticalmente). Debido a que la superficie y la columna de agua de un blanco 513 que comprende una masa de agua son preservadoras de la polarización, se preserva el estado de polarización lineal de la luz incidente. Cuando se dispersa de vuelta al sistema lidar 504, esta luz polarizada linealmente se hace pasar a través de la placa de cuarto de onda 528 sin modificaciones, en forma de luz polarizada linealmente (por ejemplo, verticalmente) que, a continuación, es transmitida por el PBS 524 de vuelta hacia el láser 508. Por consiguiente, la luz dispersada por la superficie o la columna de agua del blanco 513 no es entregada al detector 536. No obstante, el suelo del blanco 513 modifica la polarización de la luz polarizada linealmente transmitida, al producirse la dispersión. Este efecto modificador de la polarización es debido a atributos tales como la tipografía de un suelo típico de una masa de agua. La luz con polarización modificada, dispersada de vuelta al sistema lidar 504 por el suelo del blanco 513, no es modificada por la placa de cuarto de onda 528. Por consiguiente, la mitad de la luz dispersada desde el suelo del blanco 513 es reflejada por el PBS 524 hacia el detector 536 con vistas a su detección. La otra mitad de la luz se transmite a través del PBS 524, de vuelta hacia el láser 508. Como consecuencia, en este segundo modo de funcionamiento, el sistema lidar 504 únicamente deja pasar luz dispersada desde el suelo del blanco 513 al detector 536. Esto facilita la detección del suelo, incluso en relación con blancos 513 que comprenden masas de aguas someras (por ejemplo, menores de 10 centímetros), puesto que el primer retorno desde la superficie y la columna de la masa de agua se hace pasar a través del PBS 524, de vuelta hacia el láser 508, y, por lo tanto, no va dirigido al detector 536.

La superficie de dispersión que se mide en batimetría de aguas someras usando un sistema lidar 504 de acuerdo con formas de realización de la presente invención viene dictaminada por la orientación de la placa de cuarto de onda giratoria 528 y la subsiguiente modulación de estados de polarización transmitidos y recibidos. Una descripción analítica de la técnica comienza definiendo el vector de Stokes asociado del pulso de láser polarizado linealmente, transmitido, 512, S_{Tx} , que está orientado en este caso, aunque sin carácter limitativo sino con fines ilustrativos, a un ángulo θ de $\pi/4$ radianes en torno al eje óptico que sale de la cara de transmisión del láser.

$$S_{Tx} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La placa de media onda 520 usada para hacer girar la luz 512 del láser polarizado linealmente 508 de manera que se alinee con el eje de transmisión del PBS 524, se expresa en forma de una placa de onda variable con desplazamiento de fase γ de π radianes orientada para hacer girar la luz 512 del láser polarizado linealmente 508 hacia el eje de transmisión del PBS 524. Con vistas a manifestar la técnica descrita en la presente, la placa de media onda 520 está orientada a un ángulo θ de $\pi/8$ radianes en torno al eje óptico. La matriz de Mueller resultante para la placa de media onda se define como

$$M_{WVP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(2\theta) & -\sin(2\theta) & 0 \\ 0 & \sin(2\theta) & \cos(2\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ 0 & 0 & -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-2\theta) & -\sin(-2\theta) & 0 \\ 0 & \sin(-2\theta) & \cos(-2\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

El PBS 524 se modeliza como un polarizador orientado a un ángulo θ de 0 radianes, con vistas a la transmisión a lo largo del eje vertical en el transmisor del instrumento, y orientado a θ de $\pi/2$ radianes con vistas a la transmisión horizontal en el receptor.

$$M_{Pol} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(2\theta) & -\sin(2\theta) & 0 \\ 0 & \sin(2\theta) & \cos(2\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-2\theta) & -\sin(-2\theta) & 0 \\ 0 & \sin(-2\theta) & \cos(-2\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Durante la adquisición de mediciones batimétricas, la placa de cuarto de onda 528 se orienta inicialmente a un θ de $\pi/4$ radianes para la transmisión de luz polarizada circularmente hacia el blanco 513, y, a continuación, se gira a un θ de 0 radianes para la transmisión de polarización lineal. La placa de cuarto de onda 528 se expresa en términos de la matriz de Mueller de la placa de onda variable de la referencia (3), con un desplazamiento de fase γ de $\pi/2$ radianes. Tal como se experimenta a lo largo del trayecto de retorno de las señales dispersadas, la placa de cuarto de onda 528 se expresa con una orientación θ de $-\pi/4$ radianes para la recepción de luz polarizada circularmente, y un θ de 0 radianes para la recepción de señales con polarización modificada.

Una matriz de Mueller normalizada, de ejemplo, que describe la dispersión producida por la masa de agua del blanco 513 incorpora un término d que va de 0 a 1, y describe la capacidad del blanco para modificar el estado de polarización (despolarizar) de la polarización del pulso de láser incidente. En este sentido, un valor de d de 0 se corresponde con un blanco preservador de la polarización, tal como la superficie del agua, mientras que un valor de d de 1 define un blanco completamente despolarizante, tal como una topografía de suelo rugosa.

$$M_{Dep_d} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d-1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2d-1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

La combinación del vector de Stokes transmitido en (2) con las matrices de Mueller apropiadas descritas en (3)-(5), producen el vector de Stokes recibido

$$S_{Rx} = \left[VWP_{Tx}^{\lambda_c/2} \cdot Pol_{Tx} \cdot VWP_{Tx}^{\lambda_c/4} \cdot M_{Dep_d} \cdot VWP_{Rx}^{\lambda_c/4} \cdot Pol_{Rx} \right] S_{Tx} \quad (6)$$

cuya intensidad, según es medida por el detector 236, se define como

$$I_{Rx} = [1 \ 0 \ 0 \ 0] S_{Rx} \quad (7)$$

Ejemplos

Sin pretender limitar el alcance de la invención, los siguientes ejemplos ilustran cómo pueden realizarse y/o usarse varias formas de realización de la invención.

Ejemplo 1:

En la figura 6A se ilustra una simulación de la intensidad recibida normalizada para blancos con grados variables de despolarización d . La naturaleza sinusoidal de luz recibida desde un blanco preservador de la polarización 512 (curva indicada con $d=0$) es evidente, mientras que el detector 536 registra una intensidad constante de 0,5 para un blanco completamente despolarizante 512 (curva indicada con $d=1$). Trasladando la placa de cuarto de onda 528 desde una orientación θ de $\pi/4$ radianes a una θ de 0 radianes, las señales dispersadas se modulan entre retornos polarizados de la superficie acuática y del volumen de la masa de agua y retornos despolarizados del suelo.

En la Universidad de Colorado, Boulder, se llevaron a cabo mediciones batimétricas usando un sistema lidar 504 como el que se ilustra en la figura 5. El transmisor consistía en un láser de microchip de Nd:YAG, con conmutación pasiva de Q, bombeado por diodo de CW. El láser emite 2,45 microjulios de luz polarizada linealmente de 532 nm, con una frecuencia de repetición de 14 kilohercios, y una anchura de los pulsos de 450 picosegundos. Una placa de media onda alineaba la polarización de la luz del láser 508 con el plano de transmisión vertical de un PBS de 532 nm. La luz que salía del PBS se transmitía a través de una placa giratoria de cuarto de onda, hacia un blanco controlado que consistía en una columna de agua encima de un sustrato de suelo modificador de la polarización. La luz de láser dispersada, recibida por el instrumento, se captaba con un detector que comprendía un tubo fotomultiplicador en modo de recuento de fotones. El voltaje del fotomultiplicador de salida se analizó en un osciloscopio con una resolución temporal de 550 ps y se guardó para su post-procesado.

En la figura 6B se representan datos adquiridos durante la recepción de señales dispersadas desde el blanco para agua con una profundidad de 3 centímetros según se midió físicamente. La placa de cuarto de onda se posicionó en orientaciones de θ de $\pi/4$ y 0 radianes. La intensidad recibida de la señal analógica del fotomultiplicador ilustra una reducción de señales polarizadas del agua (línea de puntos-continua) cuando el eje rápido de la placa de cuarto de onda se alinea con el plano de transmisión de polarización vertical del PBS para medir señales del suelo con polarización modificada (continua).

El experimento se repitió usando un receptor de lidar digital con resolución temporal de 27 picosegundos, tal como se ilustra en la figura 6C. Para ilustrar la resolución definitiva de la unidad de temporización, se tomaron nuevamente datos para profundidades del agua de 3 centímetros (línea continua) y 1 centímetro (línea discontinua).

Teniendo en cuenta el cambio del índice de refracción del agua n con respecto al aire, la profundidad del agua h se calcula como:

$$h = \frac{c\Delta t}{2n} \quad (8)$$

donde el retardo de tiempo Δt se evalúa diferenciando los puntos de FWHM (línea horizontal discontinua) de los flancos de caída de las curvas de la superficie y del suelo. Los resultados presentados en la figura 6C produjeron mediciones de la profundidad d de 2,7 cm y 1,2 cm. La resolución de 27 ps de la unidad de temporización impone una incertidumbre de ± 3 mm sobre la estimación de la profundidad del agua. Por lo tanto, las profundidades observadas se sitúan bien dentro de la incertidumbre de la medición.

La transmisión de luz polarizada verticalmente a través del PBS y la traslación de la orientación de la placa de cuarto de onda modulan las señales recibidas, entre retornos de la superficie y la masa de agua preservadoras de la polarización y la dispersión del suelo con polarización modificada. Al eliminar los efectos de la superficie y la columna de agua a través de modulación de polarización, se invalidan ambigüedades batimétricas entre retornos de la superficie y del suelo de la masa de agua. Como consecuencia, el límite inferior fundamental sobre la batimetría en aguas someras, impuesto por limitaciones del ancho de banda del sistema, se reduce por encima de las técnicas tradicionales que usan un único canal de detección. La técnica ofrecida en el presente documento ha demostrado una resolución de la profundidad del agua de 1 cm.

Aunque formas de realización descritas anteriormente describen la inclusión de una fuente de luz que comprende un láser, debe apreciarse que no es necesario que la fuente de luz comprenda un láser. Por otra parte, la transmisión y la recepción de luz puede ser a través de aperturas independientes. De acuerdo con dichas formas de realización, no es necesario incluir un divisor de haz de polarización. Por ejemplo, el canal de recepción puede incluir en cambio un filtro u otro elemento de discriminación de la polarización. Por otra parte, aunque ejemplos han descrito la transmisión de luz con polarizaciones particulares, pueden utilizarse otras polarizaciones. En particular, basta con transmitir luz polarizada, y recibir luz con la polarización modificada, para discriminar luz dispersada preservadora de la polarización y modificadora de la misma. Además, aunque métodos y sistemas en el presente documento han descrito las técnicas de polarización dadas a conocer en relación con el lidar, formas de realización de la presente invención encuentran aplicación también en óptica de ondas guiadas, reflectometría óptica en el dominio del tiempo, redes de sensores de fibra óptica, y/u otras aplicaciones que se conocen en este momento o que puedan surgir posteriormente.

Ejemplo 2:

La figura 7 ilustra el resultado de un montaje experimental que mide la profundidad de medios semitransparentes con una resolución de anchura de subpulso. En este caso, se usó una anchura del pulso del láser de 450 ps, correspondiente a una longitud del pulso (rango) de 6,75 cm. Una pieza de vidrio con superficies preservadoras de la polarización y semitransparentes, y con un espesor de 0,95 cm, se situó delante de una pared modificadora de la polarización (despolarizante) a una distancia de 2,4 cm. A una distancia de 30 m con respecto a los medios se colocó un sistema lidar, similar al sistema lidar 400 de acuerdo con una forma de realización de la invención.

En primer lugar, se llevó a cabo una medición de control con la pieza de vidrio retirada. Las líneas de puntos en el gráfico muestran la distancia relativa de la pared a partir de esta medición de control. Las componentes de polarización tanto coplanaria como en el plano transversal en esta medición, se dispersan desde la pared y registran la misma distancia después de la calibración (líneas de puntos).

A continuación, se realiza una medición con el montaje de vidrio que se ha descrito. Las líneas continuas en el gráfico muestran la distancia relativa del vidrio y la pared a partir de esta medición. La componente de polarización coplanaria se dispersa desde la superficie de vidrio. La componente de polarización en el plano transversal es producida por la dispersión desde la pared. La distancia de la superficie de vidrio a la pared puede determinarse entonces sobre la base de formas de realización previas de la invención. Además, en esta medición, la componente de polarización en el plano transversal, dispersada desde la pared, es retardada adicionalmente por el índice de refracción del vidrio. Por lo tanto, en esta segunda medición también puede determinarse, por este retardo, una medición sobre el espesor del vidrio.

Tanto la distancia de la superficie de vidrio a la pared como el espesor del vidrio pueden determinarse usando las mediciones tanto del experimento de control como con el montaje de vidrio. Para la distancia de la primera superficie del vidrio a la pared, puesto que la componente de polarización en el plano transversal se dispersa desde la superficie de vidrio en el experimento con el montaje de vidrio, la distancia es la diferencia entre las mediciones referentes a la pared en el experimento de control y la componente de polarización en el plano transversal en el experimento con el montaje de vidrio. La distancia calculada es 3,7 cm \pm 0,4 cm (la distancia medida real de la pared a la primera superficie de vidrio es 3,4 cm \pm 0,1 cm). Para el espesor del vidrio, puesto que la componente de polarización coplanaria se dispersa desde la pared en el experimento con el montaje de

5 vidrio e incluye además el retardo por el índice de refracción del vidrio, el espesor es la diferencia entre las mediciones relativas a la pared en el experimento de control y la componente de polarización coplanaria en el experimento con el montaje de vidrio. El espesor calculado es $1,4 \text{ cm} \pm 0,4 \text{ cm}$. Comparando el resultado de la distancia calculada (3,7 cm) y del espesor (1,4 cm) con la anchura del pulso del láser (6,75 cm), se confirma que las mediciones tanto de la distancia como del espesor se sitúan en valores por debajo de la anchura del pulso.

10 Por consiguiente, la presente invención se ha descrito con cierto grado de particularidad dirigida a las formas de realización ejemplificativas de la presente invención. No obstante, debe apreciarse que, en las formas de realización ejemplificativas de la presente invención, pueden realizarse modificaciones o cambios sin apartarse de los conceptos inventivos contenidos en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Sistema lidar (104, 300, 400), que comprende:
 - 5 un transmisor (310, 410) configurado para emitir un pulso de luz polarizada (108) hacia un blanco (112, 136, 320, 420, 513), que comprende un láser (412), y un polarizador (415) en comunicación óptica con el láser (412),
 - 10 un receptor (330, 430) configurado para captar luz dispersada desde el blanco, comprendiendo la luz dispersada un pulso recibido que comprende una primera componente y una segunda componente, presentando la primera componente y la segunda componente una diferencia relativa de polarización entre ellas;
 - 15 un primer detector (435);
 - un segundo detector (436), estando el primer detector (435) y el segundo detector (436) cada uno de ellos configurados para recibir por lo menos una respectiva componente del pulso recibido de la luz dispersada desde el receptor; y
 - 20 una electrónica de temporización (340, 440) acoplada a cada uno de entre el primer detector (435) y el segundo detector (436),
 - 25 en el que una salida de la electrónica de temporización (340, 440) comprende un cálculo de una distancia relativa basándose en una cantidad de tiempo transcurrido entre las respectivas componentes del pulso recibido de la luz dispersada, alcanzándose así una resolución de anchura de subpulso.
2. Sistema lidar según la reivindicación 1, en el que el cálculo es habilitado por una separación óptica de entre las respectivas primera y segunda componentes de la luz dispersada.
- 30 3. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el láser comprende por lo menos uno de entre un láser polarizado, un láser pulsado, o un láser de onda continua (CW).
4. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la luz polarizada comprende una polarización conocida, comprendiendo opcionalmente la luz polarizada una polarización circular.
- 35 5. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el receptor comprende un telescopio (431), comprendiendo opcionalmente además el receptor un filtro espectral.
6. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que además comprende un divisor de polarización, estando el primer detector (435) y el segundo detector (436) en comunicación óptica con el divisor de polarización (434).
- 40 7. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la primera componente comprende una componente de polarización en el plano transversal de la luz dispersada, y la segunda componente comprende una componente coplanaria de la luz dispersada, estando opcionalmente el primer detector (435) calibrado para recibir la componente en el plano transversal, y estando el segundo detector (436) calibrado para recibir la componente coplanaria.
- 45 8. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el primer detector (435) y el segundo detector (436) comprenden, cada uno de ellos, un tubo fotomultiplicador, y siendo una salida del tubo fotomultiplicador una señal de recuento de fotones.
- 50 9. Sistema lidar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la electrónica de temporización comprende:
 - 55 un discriminador de fracción constante (441), siendo una salida del discriminador de fracción constante un ápice de una señal de recuento de fotones;
 - un conversor de tiempo-a-digital (442); y
 - 60 un procesador acoplado al discriminador de fracción constante y al conversor de tiempo-a-digital, presentando opcionalmente el conversor de tiempo-a-digital una resolución de temporización conocida.
- 65 10. Sistema lidar según la reivindicación 1, en el que el transmisor además comprende una placa de media onda (414) en comunicación óptica con el láser; comprendiendo opcionalmente el transmisor además un prisma (416) en comunicación óptica con el láser (412).

11. Método de medición de una distancia relativa entre una primera superficie y una segunda superficie con características de polarización diferentes, que comprende las etapas siguientes:

- 5 generar un pulso de luz polarizada;
- dispersar por lo menos parte de la luz polarizada desde la primera superficie y por lo menos parte de la luz polarizada desde la segunda superficie;
- 10 recibir la luz dispersada, comprendiendo la luz dispersada un pulso recibido;
- dividir la luz dispersada en una primera componente y una segunda componente, presentando la primera componente y la segunda componente una diferencia relativa de polarización entre ellas;
- 15 detectar la primera componente y la segunda componente;
- determinar una cantidad de tiempo transcurrido entre la primera componente y la segunda componente; y
- 20 calcular una distancia relativa entre la primera superficie y la segunda superficie basándose en la cantidad de tiempo transcurrido dentro del pulso recibido.

12. Método según la reivindicación 11, en el que la primera superficie comprende una superficie relativamente preservadora de la polarización y la segunda superficie comprende una superficie relativamente modificadora de la polarización, siendo opcionalmente la primera superficie una superficie acuática y siendo la segunda superficie un suelo acuático.

13. Método según la reivindicación 11 o 12, en el que la etapa de generación de luz polarizada comprende las etapas siguientes:

- 30 generar luz a través de un láser; y
- hacer pasar la luz a través de un polarizador.

14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que la primera componente es una componente de polarización en el plano transversal de la luz dispersada, y la segunda componente es una componente coplanaria de la luz dispersada, comprendiendo opcionalmente la componente coplanaria de la luz dispersada sustancialmente la luz dispersada desde la superficie relativamente preservadora de polarización y comprendiendo la componente de polarización en el plano transversal de la luz dispersada sustancialmente la luz dispersada desde la superficie relativamente modificadora de la polarización, comprendiendo opcionalmente la división de la luz dispersada hacer pasar la luz dispersada a través de un divisor de haz de polarización, siendo la componente de polarización en el plano transversal sustancialmente transmitida normal al divisor de haz de polarización y siendo la componente coplanaria sustancialmente reflejada perpendicular al divisor de haz de polarización.

15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que la etapa de cálculo de una etapa de distancia relativa se habilita mediante una separación óptica dentro del pulso recibido de por lo menos parte de la luz polarizada de la primera superficie y por lo menos parte de la luz polarizada de la segunda superficie.

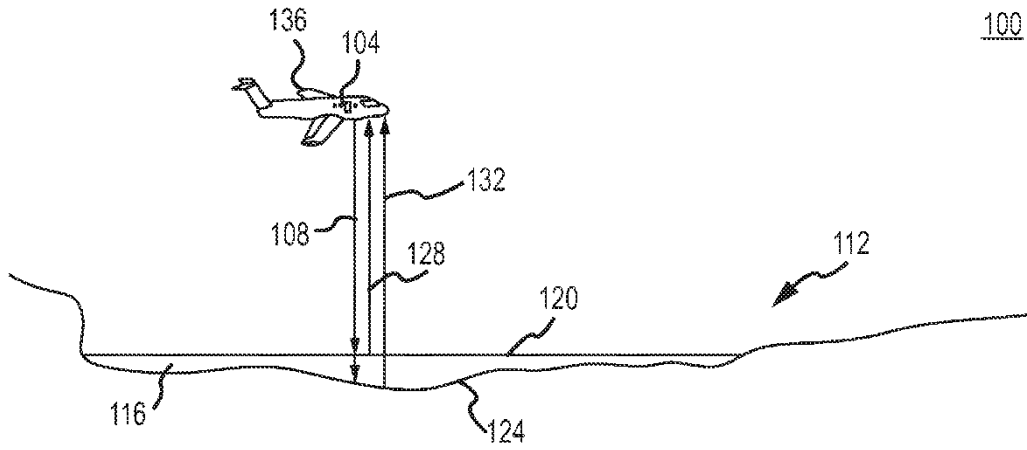


FIG. 1

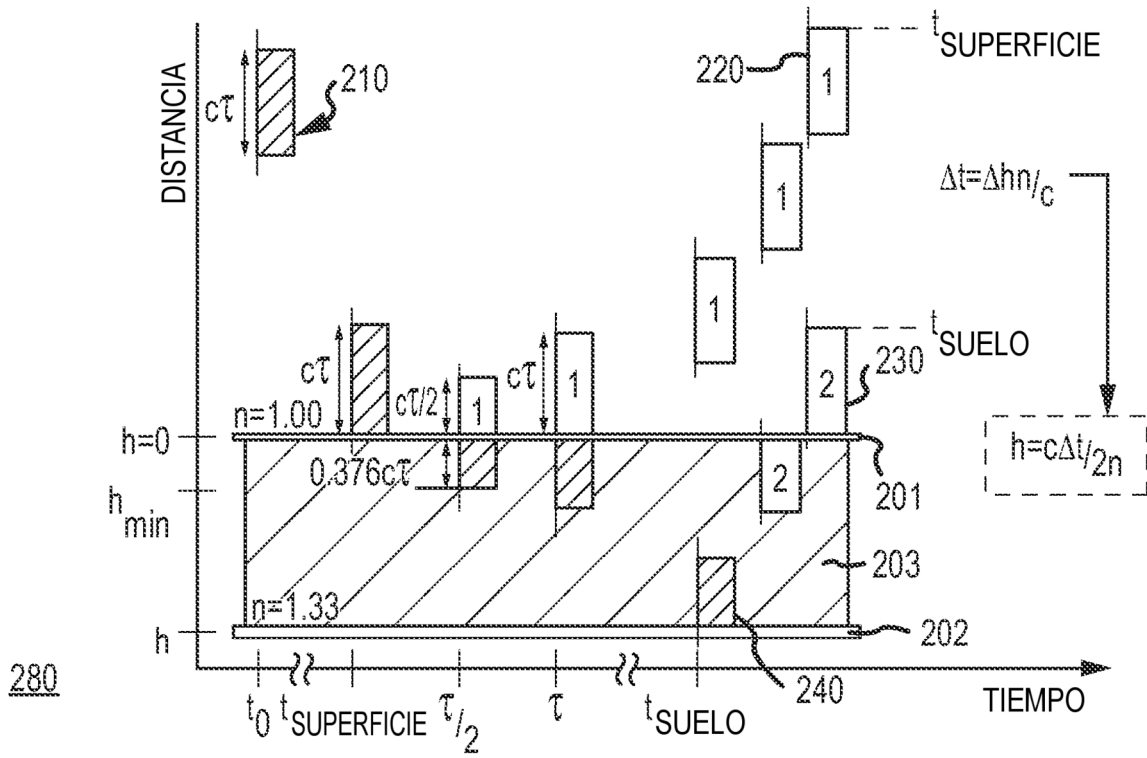


FIG. 2A

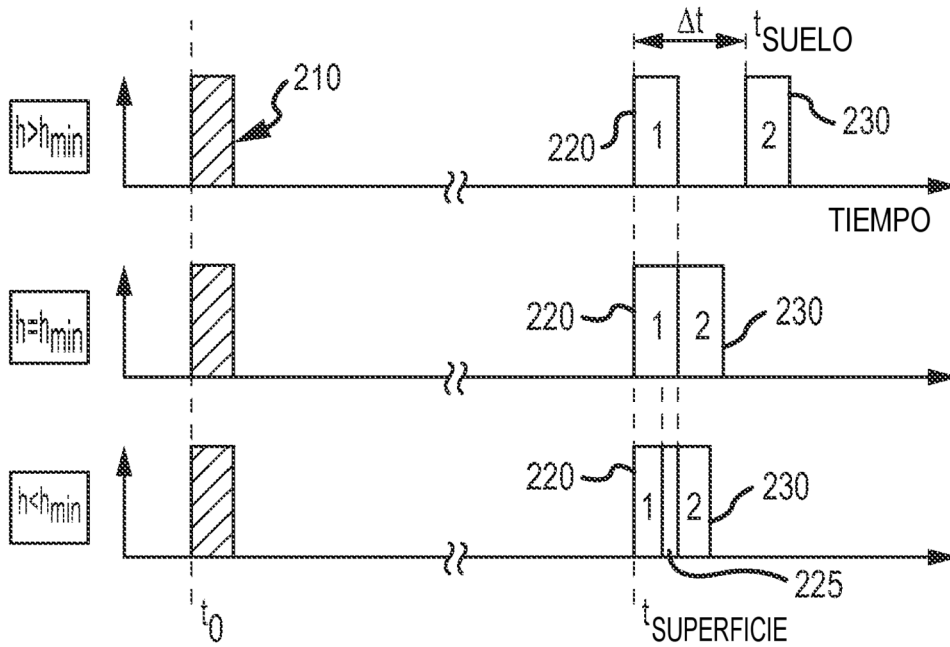


FIG. 2B

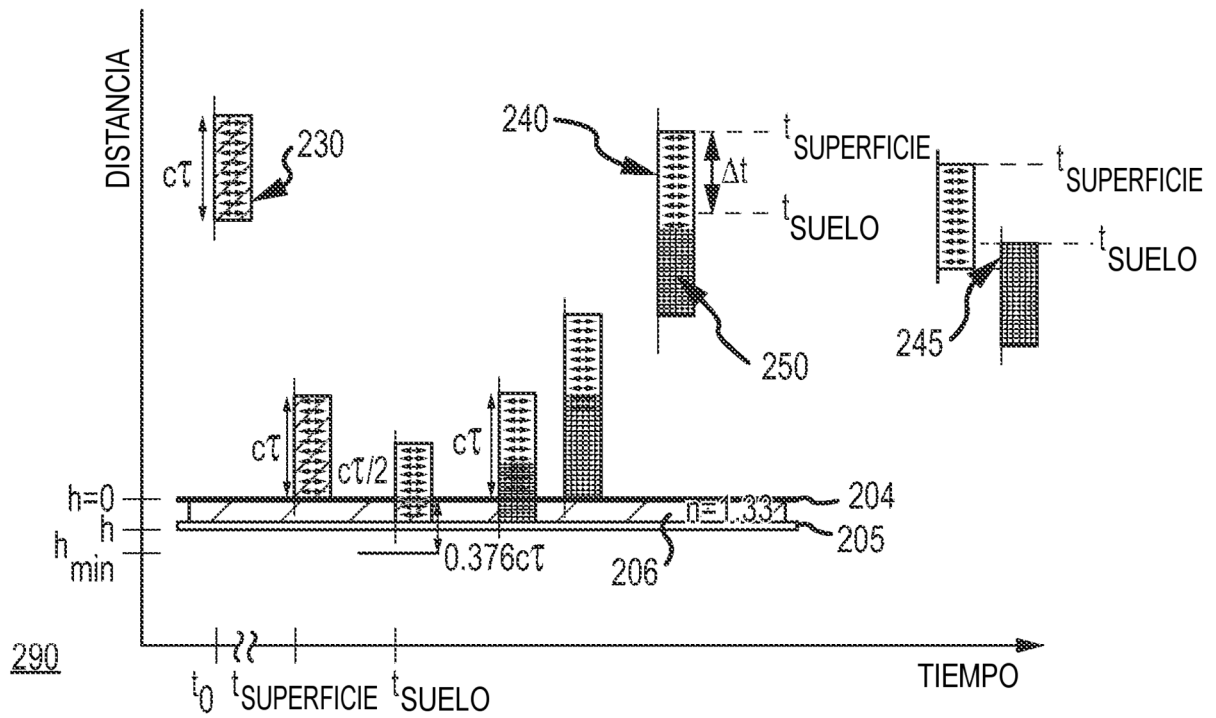


FIG.2C

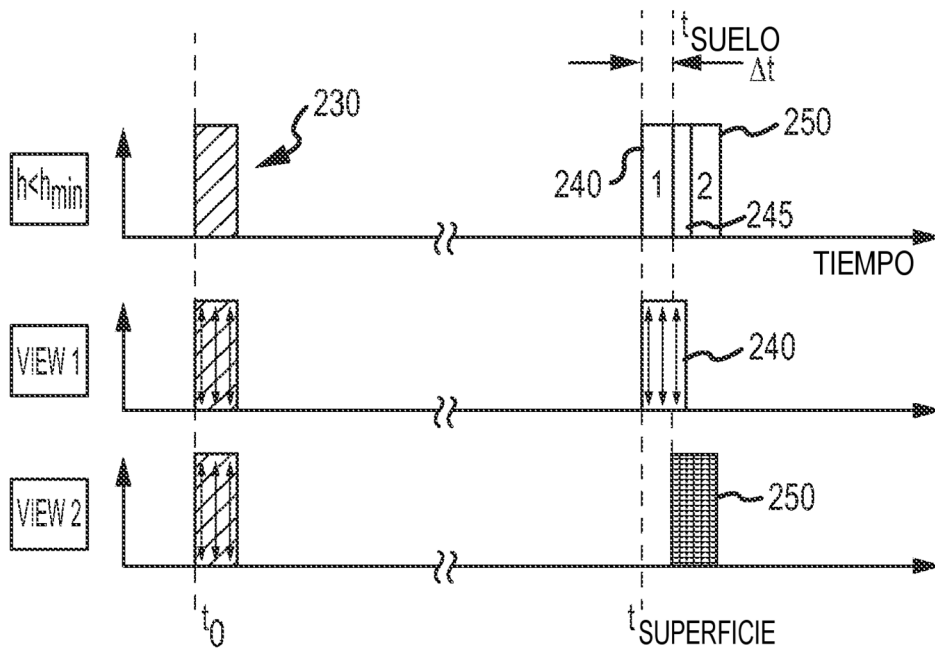


FIG.2D

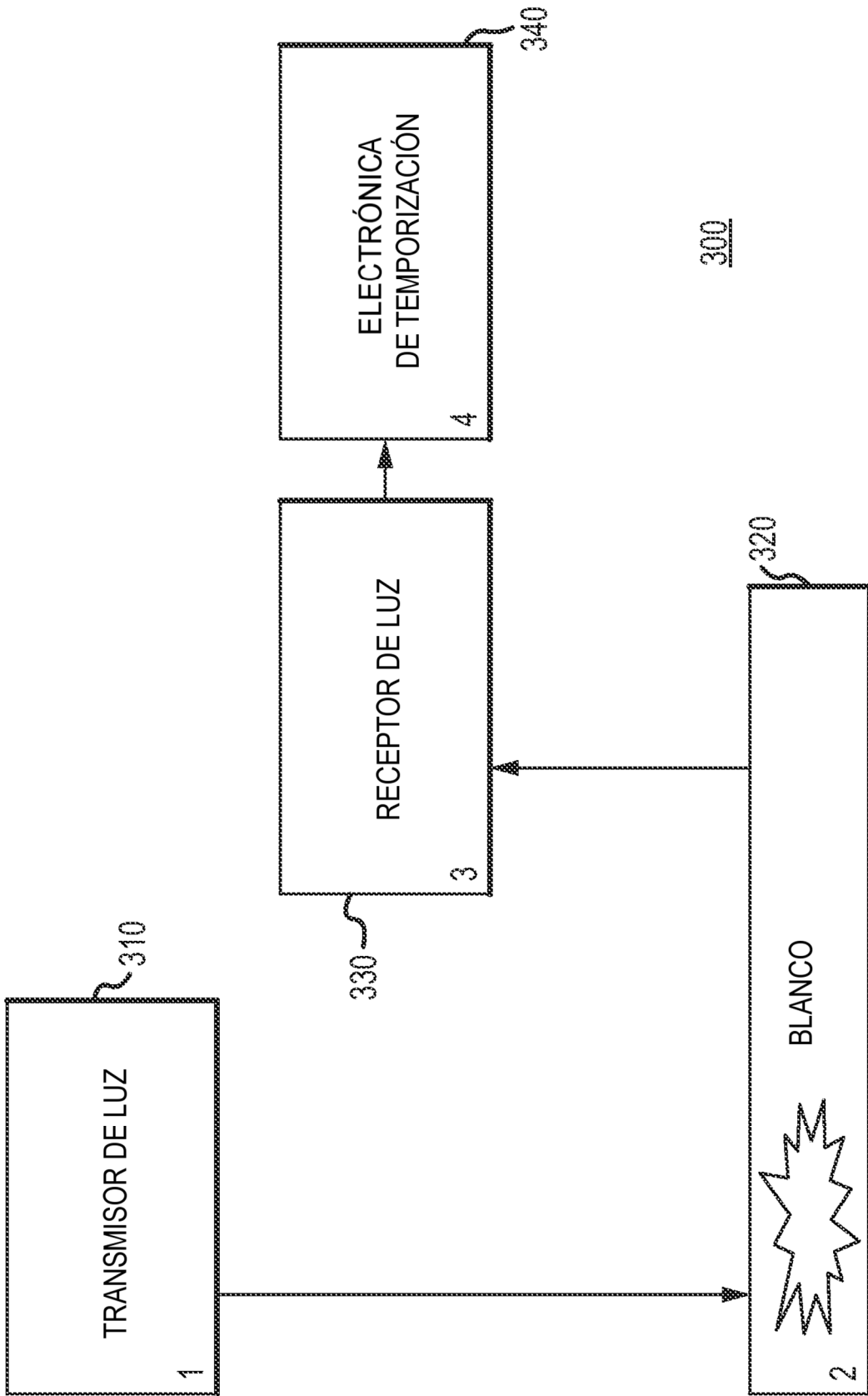


FIG.3

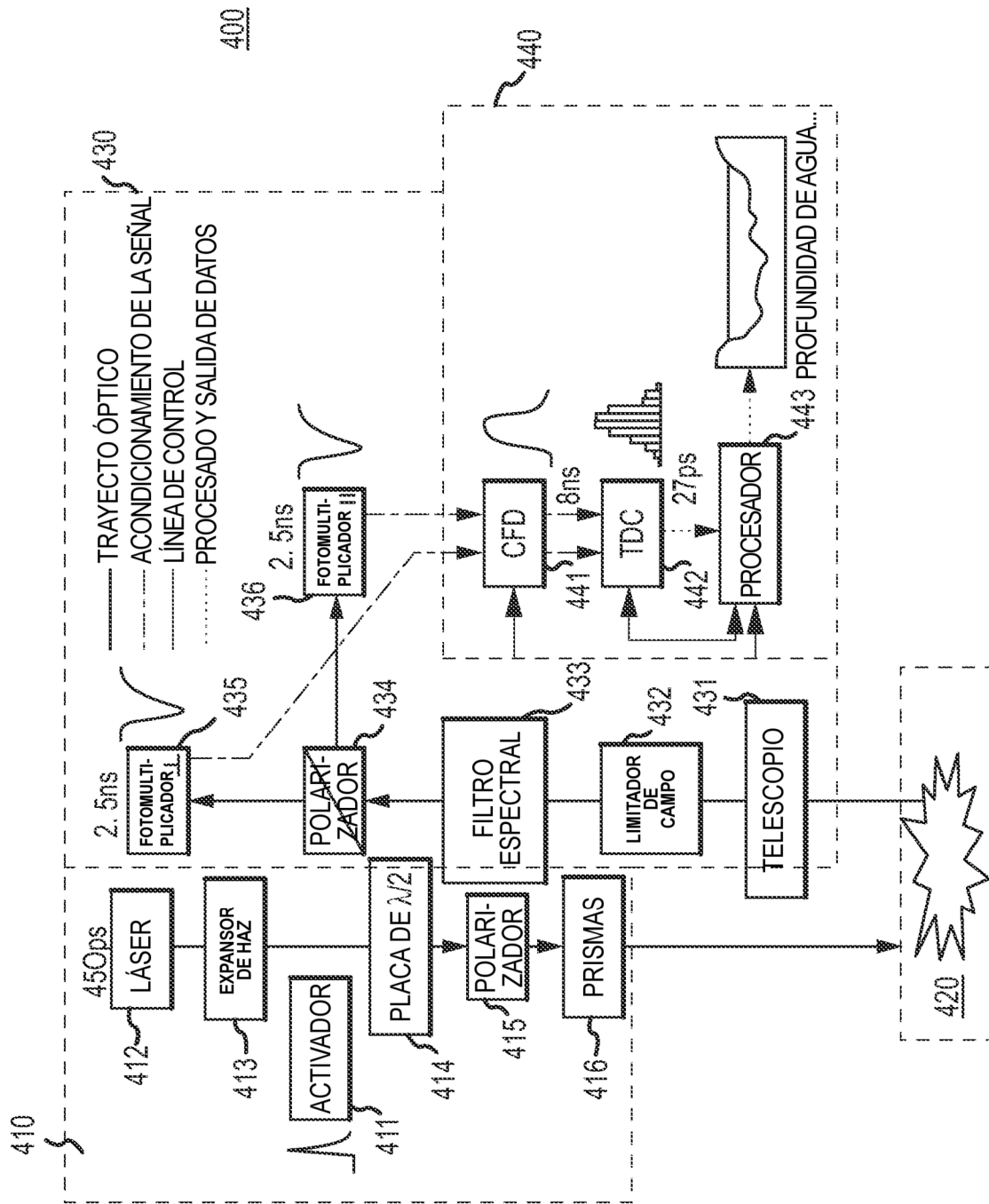


FIG.4

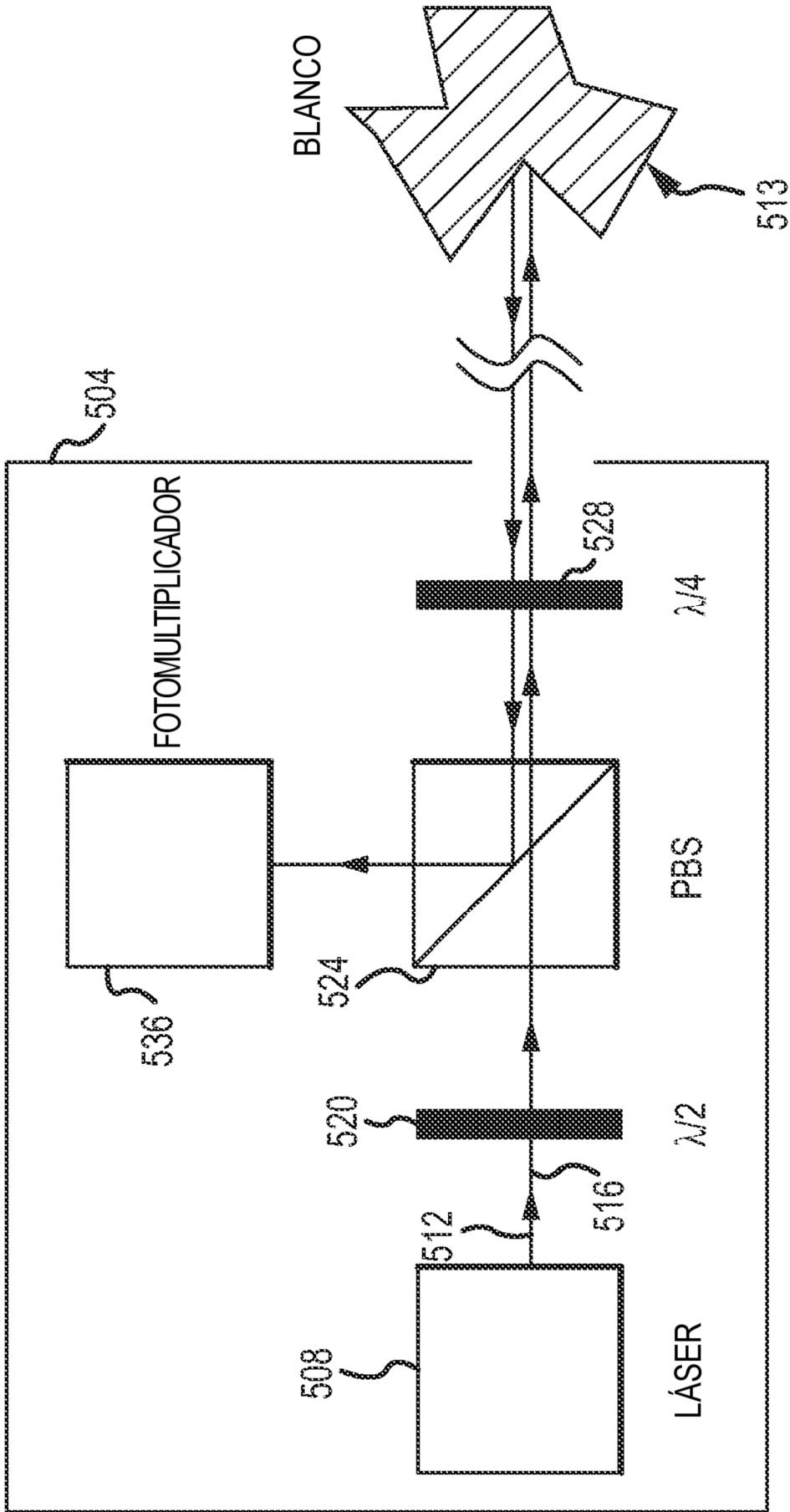


FIG.5

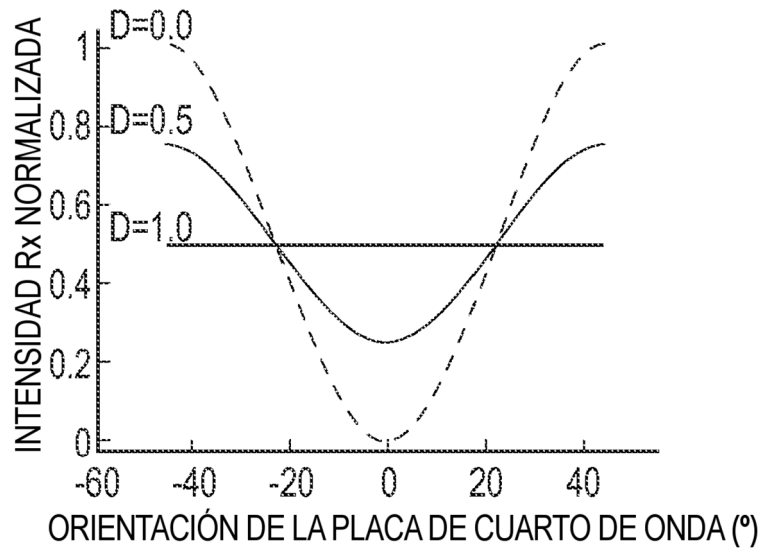


FIG.6A

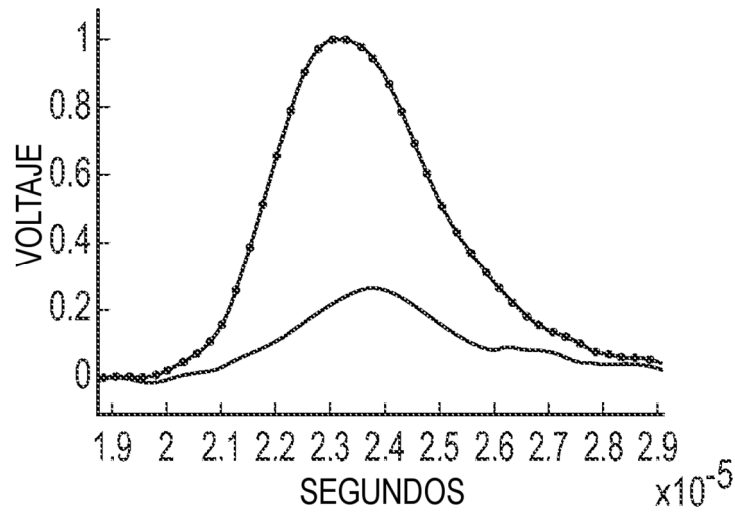


FIG.6B

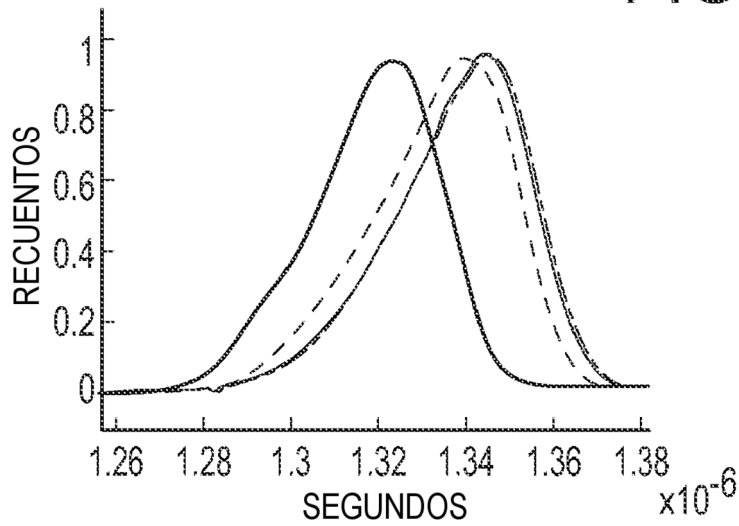


FIG.6C

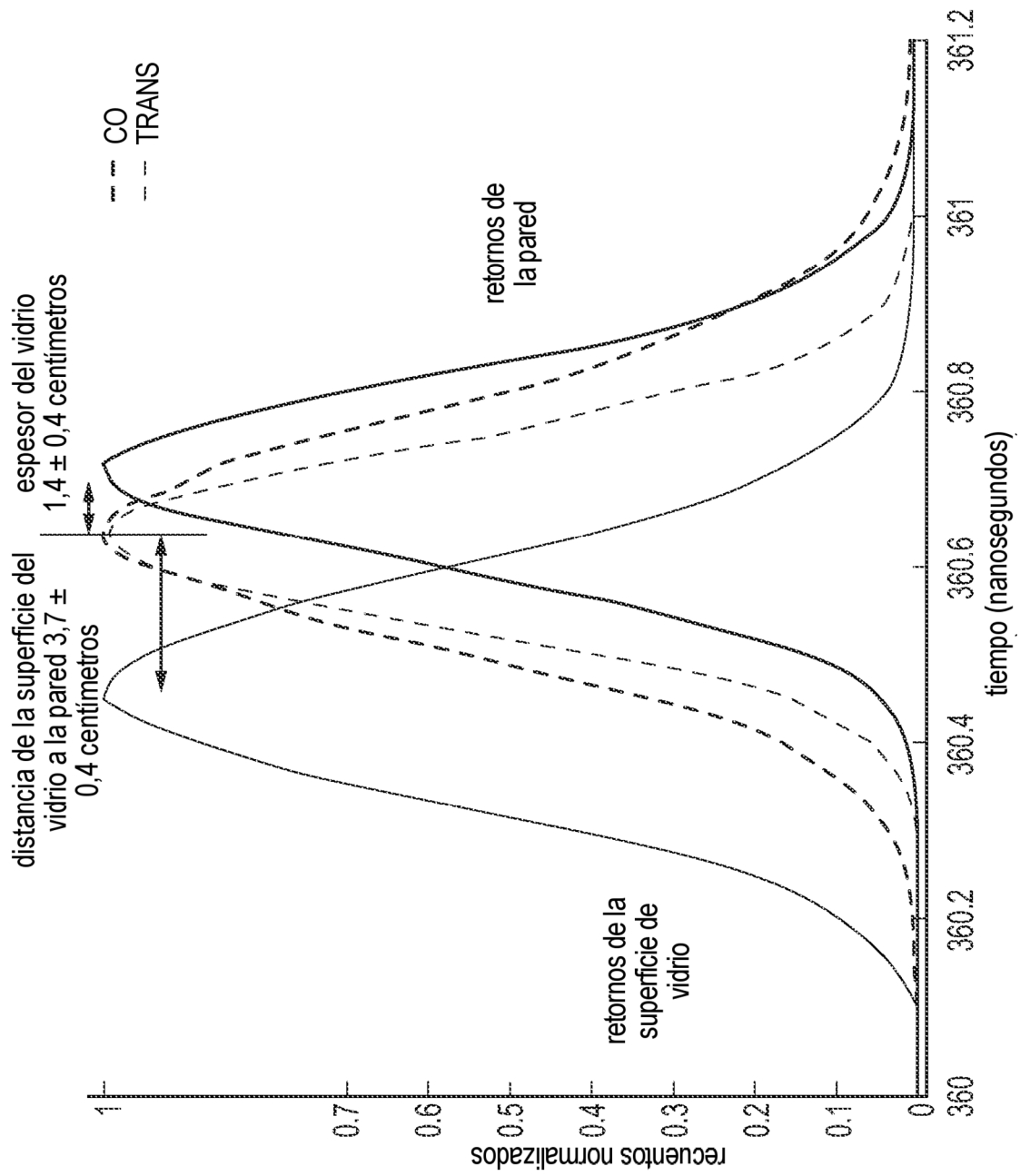


FIG.7

