

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 061**

51 Int. Cl.:
G01S 7/481 (2006.01)
G01S 7/497 (2006.01)
G01S 17/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10001506 .4**
96 Fecha de presentación: **06.11.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2187231**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.05.2010**

54 Título: **Sistema de detección de la luz y medición de la distancia**

30 Prioridad:
14.11.2007 US 940011

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.05.2012

73 Titular/es:
**ROSEMOUNT AEROSPACE INC.
14300 JUDICIAL ROAD
BURNSVILLE, MN 55306, US**

72 Inventor/es:
**Ray, Mark D.;
Swenson, James W. y
Meneely, Cilinton T.**

74 Agente/Representante:
Rizzo, Sergio

ES 2 380 061 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).

89G7F-D7-é B

Sistema de detección de la luz y medición de la distancia5 Antecedentes

[0001] La presente invención hace referencia a un espejo de detección de la luz y medición de la distancia. Se utiliza en especial en conjunción con un sistema de detección y medición del alcance de la luz (LIDAR) y se describirá con relación al mismo. Sin embargo, se apreciará que la invención también es apta para otras aplicaciones.

[0002] El sistema de detección y medición del alcance de la luz (LIDAR) transmite un pulso de luz (p.ej., desde un láser), que es reflejado desde un objetivo. Un receptor óptico detecta la luz reflejada, y la distancia hasta el objetivo se calcula a partir del tiempo de retardo entre la transmisión del pulso de luz y la detección de la luz reflejada. El campo de visión del receptor y el haz de luz transmitido normalmente se ajustan y coalinean para garantizar la máxima eficacia en la recogida de luz. Si el LIDAR contiene un escáner óptico rápido (como un espejo que se mueva con rapidez), es posible que el campo de visión del receptor pierda la alineación con respecto al haz de luz proyectado. Dicha pérdida de alineación es causada por un cambio en la dirección hacia la que apunta que tiene lugar durante el tiempo necesario para que el pulso de luz viaje hasta el objetivo, se refleje, y vuelva al receptor. La magnitud de la desviación es un "ángulo de retardo", que depende de la velocidad del escáner y de la distancia del objetivo. Para un escáner LIDAR que se encuentra "limitado por difracción" (es decir, la divergencia del haz de luz está limitada únicamente por la longitud de onda y el diámetro del haz en la apertura de salida del LIDAR), la velocidad angular del escáner $\omega_{1/2}$ (medida en radianes/segundo) para la que el ángulo de retardo es la mitad de la divergencia del haz de luz transmitido es:

$$\omega_{1/2} = \theta = \frac{0.5 \cdot \lambda \cdot c}{2 \cdot D \cdot R},$$

donde λ es la longitud de onda de la luz transmitida (en metros),

c es la velocidad de la luz ($\sim 3 \times 10^8$ metros/segundo)

D es el diámetro del haz de luz transmitido en la apertura de salida del LIDAR (en metros), y

R es la distancia hasta el objetivo (en metros).

[0003] Si el campo de visión del receptor está alineado inicialmente con un cono de iluminación de la luz transmitida, la señal recibida es reducida por el ángulo de retardo. El efecto empeora en distancias mayores y a medida que aumenta la velocidad del escáner.

- 5 **[0004]** Si el sistema LIDAR no está limitado por difracción y la divergencia del haz transmitido es Δ en su lugar, entonces la fórmula anterior pasa a ser:

$$\omega_{\frac{1}{2}} = \dot{\theta} = \frac{0.5 \cdot \Delta \cdot c}{2 \cdot R}.$$

10 Por ejemplo, si la divergencia del haz de luz transmitido es de 2 miliradianes (mrad) y la distancia al objetivo es de 3 km, la velocidad angular a la que el ángulo de retardo es la mitad del ancho del haz transmitido es de 50 radianes/segundo, o 480 revoluciones/minuto (rpm). En ese caso, si el campo de visión del receptor se ajusta a la divergencia del haz de luz transmitido, el ángulo de retardo seguirá siendo lo suficientemente pequeño para que el receptor óptico detecte alguna cantidad reducida
15 de luz dispersada desde el objetivo, pero para velocidades del escáner superiores a 960 rpm, el efecto del ángulo de retardo provoca que el campo de visión del receptor pierda u oscurezca completamente la señal a partir de los 3 km en adelante. La condición para este oscurecimiento completo es:

$$\omega_{oscuro} = \dot{\theta} = \frac{\Delta \cdot c}{2 \cdot R}.$$

20

[0005] Todos los sistemas LIDAR, tanto si es de barrido como fijo, a menudo deben hacer frente a otra cuestión, el amplio margen dinámico de señal. El margen dinámico de señal es la relación entre la máxima intensidad de la señal de luz detectable (es decir, la saturación del detector) y la mínima intensidad de la señal de luz detectable.
25 La señal detectada decrece rápidamente a medida que aumenta la distancia del objetivo. Por lo tanto, las señales recibidas desde objetivos a distancias más cortas pueden sobresaturar el detector, mientras que aquellas que vienen de objetivos a distancias mayores apenas pueden ser detectadas. Una técnica de diseño conocida como “compresión geométrica” puede reducir el margen dinámico de señal
30 controlando la coincidencia fija de los campos de visión ópticos del transmisor y el receptor, la separación de la óptica del receptor y el transmisor, y el ensombrecimiento del receptor por la óptica del transmisor para atenuar la señal a distancias cortas. El tiempo de retardo de la señal de luz recibida con respecto al pulso de luz transmitido

no entra en este cálculo de compresión ya que estos parámetros de diseño son estáticos. La compresión geométrica puede beneficiar tanto a los sistemas LIDAR de barrido como a los fijos.

5 **[0006]** La patente DE 691 14 461 revela un dispositivo de telemetría para detectar y localizar objetos por retrodispersión, en especial humo de incendios forestales o aerosoles. El dispositivo incluye una fuente láser que emite pulsos repetitivos, un medio de detección del haz retrodispersado, y una cabeza dirigible que orienta el azimut y elevación del haz de láser emitido. Una cabeza reflectante 4 incluye un espejo plano principal 17 (espejo receptor) sobre el que se monta un espejo secundario 18 (espejo transmisor). El espejo secundario 18 está centrado con respecto al espejo principal 17 en un eje pivotante 24. Un haz emitido 19 se refleja en un espejo 20 hacia el espejo transmisor 18. El haz recibido 16 es reflejado por el espejo receptor 17 hacia el espejo 11 y después el espejo 12 antes de ser dirigido por el espejo 12 (y un espejo 15) al detector 2. La dimensión y el ángulo del espejo 20
10
15 protegen el detector 2 del fenómeno de deslumbramiento.

[0007] La patente EP 0 173 617 A revela un sistema de transceptor láser para imágenes de video. Un iluminador láser 1 crea un haz de láser a lo largo de una dirección de observación. El receptor 2 incluye un detector 22 para detectar la radiación de luz láser reflejada por un objetivo iluminado. Un dispositivo de separación de trayectoria y de exploración 3 dirige la radiación reflejada al detector y desplaza el haz mediante una rotación angular para explorar una zona predeterminada. Los medios de desviación óptica 41, 42 producen un desplazamiento angular relativo entre la dirección de observación del iluminador y la del receptor para compensar la rotación de exploración mientras el haz de luz se conduce de un lado a otro entre el sistema y el objetivo iluminado. Los medios de desviación óptica incluyen un deflector óptico 41,
20
25 que es controlado mediante un circuito de control 42 según las variaciones en la velocidad de exploración y distancia al objetivo.

[0008] La patente US 4.311.385 revela un sistema láser de exploración de detección que incluye ópticas 18 que compensan las desviaciones angulares de la señal recibida. Un control 48 rota las ópticas que compensan el ángulo de retardo 18 para alinear ópticamente la señal de referencia y la señal recibida de forma que sean paralelas entre ellas a lo largo de la trayectoria óptica 40.
30

[0009] La patente US 5.485.009 revela un sistema láser de procesamiento de imágenes que incluye un iluminador láser que transmite un haz de luz a lo largo de una dirección de señalización. El receptor incluye un dispositivo de detección que detecta la radiación láser que vuelve de un objeto. El dispositivo de detección incluye un conjunto lineal de N elementos yuxtapuestos. El receptor incluye un circuito
35

electrónico que incluye N canales de detección y cuenta con circuitos de identificación de la distancia mediante el rango de los canales de detección. Los circuitos de compensación del desplazamiento de tiempo que presentan las señales de vídeo en función de la distancia devuelven el objeto iluminado a una posición angular correcta.

[0010] La patente US 4.326.799 revela un sistema de exploración que combina la detección activa y pasiva de radiación desde los objetivos. En el modo activo, se explora un haz de láser con una cuña giratoria con un patrón Palmer orientado hacia abajo. Una parte del haz se refleja desde los objetivos. Cuatro transductores de inclinación, colocados en ángulo recto unos respecto a otros entre una superficie externa de la cuña de exploración 124 y un anillo interior 140, compensan la falta de registro de un haz de señal recibido.

[0011] La patente US 3.523.730 revela un sistema de localización de objetos. Los láseres emiten pulsos “largos” de manera que la duración de cada pulso sea larga en comparación con el tiempo que necesita la luz para propagarse hasta un objeto y volver. Se mide la distancia mediante la exploración de un haz estrecho en un campo de visión en el que se incluye el objeto. Se utiliza el ángulo entre el haz transmitido y el haz reflejado para determinar la distancia hasta el objeto.

[0012] La presente invención proporciona un aparato nuevo y mejorado y un método que trata los problemas arriba expuestos.

Resumen

[0013] En un modo de realización, el sistema de detección de la luz y medición de la distancia incluye una unidad de espejo que gira alrededor de un eje de exploración. La unidad de espejo incluye una parte receptora y una parte transmisora compensada por un ángulo sobre el eje de exploración en relación con un plano de superficie de la parte receptora. Los centroides respectivos de las partes receptora y transmisora están situados en un punto común sobre el eje de exploración mientras las partes receptora y transmisora rotan alrededor del eje de exploración. Un transmisor transmite un pulso de luz hacia la unidad de espejo. La parte transmisora está situada de manera que refleja el pulso de luz hacia el objetivo. El receptor está situado de manera que refleja el pulso de luz reflejado desde el objetivo hacia el receptor. El ángulo de compensación compensa el cambio entre un cono de iluminación de la parte transmisora y el campo de visión de la parte receptora que resulta de la rotación de la unidad de espejo.

Breve descripción de los dibujos

[0014] En los dibujos adjuntos que se incorporan y forman parte de la descripción, se ilustran modos de realización de la invención, los cuales, junto con la descripción general de la invención realizada arriba, y la descripción detallada que se aporta a
5 continuación, sirven para ejemplificar los modos de realización de la presente invención.

[0015] La **FIGURA 1** muestra una vista lateral de un sistema de exploración según uno de los modos de realización de un aparato que ilustra los principios de la presente invención;

10 [0016] La **FIGURA 2** muestra una vista desde arriba del sistema de exploración de la **FIGURA 1**;

[0017] La **FIGURA 3** muestra una representación esquemática de los campos de visión no compensados del transmisor y el receptor;

15 [0018] La **FIGURA 4** muestra una gráfica de la señal recibida frente a la distancia para el cono de iluminación y el campo de visión del receptor sin compensar de la **FIGURA 3**;

[0019] La **FIGURA 5** muestra una representación esquemática de un cono de iluminación del transmisor y el campo de visión del receptor compensados, según un modo de realización de un aparato que ilustra los principios de la presente invención; y

20 [0020] La **FIGURA 6** muestra una gráfica de la señal recibida frente a la distancia para el cono de iluminación del transmisor y el campo de visión del receptor compensados mostrados en la **FIGURA 5**.

Descripción detallada del modo de realización ilustrado

25 [0021] En relación con la **FIGURA 1**, el sistema LIDAR de exploración óptica **10** incluye un transmisor **12** y un receptor óptico **14**. La unidad de espejo **16** incluye una parte transmisora **20** y una parte receptora **22**. En un modo de realización, tanto el transmisor **12** como el receptor óptico **14** rotan (exploran) juntos con una rotación (velocidad) constante en una dirección. Más específicamente, los elementos giratorios,
30 específicamente la unidad de espejo **16**, rotan (como muestra el **24**) a una velocidad predeterminada sobre un eje de exploración **26**. Las partes transmisoras y receptoras **20**, **22**, respectivamente, están situadas de manera concéntrica para tener un centroide común **30**. Los centroides **30** están situados en un punto común sobre el eje de exploración **26**.

35 [0022] El pulso de luz **32** que parte del transmisor **12** pasa a través de al menos una lente **34** para colimar el pulso de luz **32**. A continuación, el pulso de luz **32** es reflejado en un primer espejo **36** (p.ej. un espejo plano) hacia la parte transmisora **20** de la

unidad de espejo **16**, donde el pulso de luz **32** es reflejado hacia un objetivo **40**. El cono de iluminación del transmisor **42** (véase **FIGURAS 3 y 5**) de pulso de luz **32** transmitido desde la parte transmisora **20** al objetivo **40** está definido por la divergencia que determina el tamaño del punto del pulso de luz **32** en el objetivo **40**. El pulso de luz **32** se refleja en el objetivo **40** y vuelve a la parte receptora **22** de la unidad de espejo **16**. El campo de visión del receptor **44** (véase **FIGURAS 3 y 5**) del pulso de luz **32** reflejado desde el objetivo **40** a la parte receptora **22** está definido por el rango total de los ángulos de incidencia que puede detectar un pulso de luz **32** en la parte receptora **22** y normalmente se ajusta en divergencia al cono de iluminación transmitido. El pulso de luz reflejado **32** se refleja en la parte receptora **22** de la unidad de espejo **16** hacia un espejo circular **46** (p.ej. esférico), que refleja el pulso de luz **32** hacia un segundo espejo **50** (p.ej. un espejo plano). El pulso de luz **32** se refleja en el segundo espejo **50**, pasa a través de al menos una lente **52**, y es detectado por el receptor óptico **14**.

[0023] Los sistemas electrónicos **54** que se comunican con el receptor óptico **14** determinan la distancia hasta el objetivo **40** en función del momento en el que se recibe el pulso de luz en el receptor óptico **14**. En un modo de realización, la distancia del objetivo **40** se determina midiendo el tiempo de retardo de la luz recibida en el receptor óptico **14** en relación con la transmisión del pulso de luz original.

[0024] El periodo de tiempo que ocurre entre que el pulso de luz **32** parte del transmisor **12** y es recibido por el receptor óptico **14** es denominado tiempo de retardo. El movimiento de rotación de los elementos giratorios durante el tiempo de retardo desplaza el campo de visión del receptor **44** (véase **FIGURAS 3 y 5**) con respecto al cono de iluminación del transmisor **42** (véase **FIGURAS 3 y 5**). Este desplazamiento entre el cono de iluminación y el campo de visión del receptor **42, 44** resulta en un ángulo de retardo **56** (véase **FIGURA 2**) entre el cono de iluminación del transmisor y el campo de visión del receptor **42, 44**. El ángulo de retardo **56** aumenta en función del tiempo de retardo y la velocidad de exploración. Por lo tanto, el ángulo de retardo **56** aumenta en función de la distancia entre la parte transmisora **20** de la unidad de espejo **16**, el objetivo **40**, y la parte del espejo que actúa como receptor óptico **22**. La distancia entre la unidad de espejo **16** (que incluye los espejos **20** y **22**) y el objetivo **40** es denominada la distancia del objetivo. Si el cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** están coalienados para objetivos a distancias relativamente cortas (como es el caso típicamente de los sistemas LIDAR), el ángulo de retardo aumenta con la distancia al objetivo.

[0025] Como se muestra en la **FIGURA 2**, se realiza una compensación del ángulo (ajuste) entre las partes transmisora y receptora **20, 22** para compensar dicho ángulo

de retardo **56**. Por tanto, el ajuste angular también es denominado como compensación del ángulo de retardo. Más específicamente, la parte transmisora **20** es rotada levemente sobre el eje **26** en la misma dirección **24** que la exploración. Por consiguiente, el cono de iluminación del transmisor **42** siempre conduce el campo de visión del receptor **44**, a la máxima distancia. El ajuste angular es igual al tiempo de retardo de la máxima distancia del objetivo operativa multiplicada por la velocidad de rotación de los elementos giratorios. Por lo tanto, para este ajuste, la coincidencia del cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** y la eficacia de la recogida de luz del receptor es la mayor posible en la distancia del objetivo operativa máxima.

[0026] La **FIGURA 3** ilustra una coincidencia del cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** en un sistema sin compensación del ángulo de retardo. La **FIGURA 4** ilustra un gráfico **60** del logaritmo de la intensidad en el receptor frente a la distancia del objetivo para la configuración de la **FIGURA 3**. En referencia a las **FIGURAS 3 Y 4**, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) es determinada en función de la distancia del objetivo. Por ejemplo, a medida que aumenta la distancia del objetivo, para una reflectividad del objetivo constante, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) disminuye (p.ej., disminuye rápidamente). Por consiguiente, para un objetivo dado, la intensidad de la luz en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) puede variar de manera significativa a lo largo de la distancia de trabajo. La intensidad de luz detectada en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) a la distancia **62** corresponde al umbral del receptor. Debido al tiempo de retardo, se experimenta una coincidencia mínima **64** en la distancia umbral del receptor **62**, lo que contribuye a la débil intensidad en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**). Además, el gráfico **60** ilustra que la coincidencia máxima **66** sucede a la distancia de saturación del receptor **70** (más cerca del receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**)), lo cual contribuye a la saturación del receptor **14** (véase **FIGURA 1**). A distancias muy cortas se produce una reducción de la caída de la señal debido al oscurecimiento del espejo transmisor del campo de visión del receptor **44**, una forma de compresión geométrica. Aunque no sea evidente una reducción de la señal en distancias cortas en la **FIGURA 4** (gráfico **60**), se ilustra una reducción de la señal en la **FIGURA 6** (gráfico **72**).

[0027] La **FIGURA 5** ilustra una coincidencia del cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** en un sistema con compensación de ángulo de retardo. La **FIGURA 6** ilustra un gráfico **72** del logaritmo de la intensidad en el receptor frente a la distancia del objetivo. En relación a las **FIGURAS 5 Y 6**, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) se determina en función de la

distancia del objetivo. Por ejemplo, a medida que la distancia del objetivo aumenta, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) disminuye (excepto a distancias muy cortas). Sin embargo, a diferencia de los modos de realización ilustrados en las **FIGURAS 3 Y 4**, el gráfico **72** muestra que la intensidad de la luz detectada por el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) se encuentra entre el umbral del detector **74** y el límite de saturación del detector **76** a lo largo de toda la distancia de trabajo al objetivo (p.ej., de aproximadamente 2 m hasta aproximadamente 3.000 metros). Además, debido a la compensación del ángulo de retardo, la coincidencia máxima **82** entre el cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** se produce a aproximadamente la distancia máxima al objetivo (p.ej., aproximadamente 3.000 metros), mientras que la coincidencia mínima **84** entre el cono de iluminación del transmisor **42** y el campo de visión del receptor **44** se produce a aproximadamente la distancia mínima al objetivo. La compensación del ángulo de retardo aumenta la señal de la luz detectada por el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) desde un objetivo situado a la distancia máxima de trabajo, y reduce la señal recibida en distancias cortas, y así, el margen dinámico de la intensidad de la luz detectada es condensada a lo largo de la distancia de trabajo completa.

[0028] El margen dinámico disminuido de la señal de la luz en el receptor óptico **14** (véase **FIGURA 1**) reduce la demanda en el sensor del receptor y los dispositivos electrónicos asociados. Los dispositivos electrónicos de alta velocidad con un margen dinámico alto a menudo resultan caros y difíciles de fabricar.

[0029] En un modo de realización, la compensación del ángulo de retardo es más pequeña que el cono de iluminación del transmisor y/o el campo de visión del receptor para todas las distancias de trabajo del sistema. Se obtienen resultados similares si el campo de visión del receptor y la divergencia del transmisor son diferentes y la compensación del ángulo de retardo es igual al máximo ángulo de retardo exportado. La cantidad de retardo con relación al campo de visión del receptor y/o el cono de iluminación del transmisor puede adaptarse para minimizar el rango dinámico de la intensidad de la luz recibida por el receptor, al tiempo que se maximiza la intensidad de la luz recibida en el receptor para objetivos a largas distancias.

[0030] Se considera que el sistema LIDAR explora rápidamente (p.ej., el tiempo de vuelo del pulso de luz no es insignificamente corto con relación al movimiento de exploración asociado en porcentaje del tamaño del punto) y también de manera unidireccional, donde el ángulo de retardo se encuentra siempre en la misma dirección y la magnitud del ángulo de retardo está relacionado linealmente con la distancia. Para un sistema de exploración lenta (p.ej., el tiempo de vuelo del pulso de luz es

insignificamente corto con relación al movimiento de exploración asociado en porcentaje del tamaño del punto), la compresión de la señal mediante la optimización de la compensación del ángulo de retardo (SOLAC) no es necesaria y no es capaz de comprimir de manera significativa el rango de intensidad de la luz recibida. Para sistemas de exploración rápida, en los que la dirección de exploración se invierte o se mueve en diferentes direcciones (p.ej. un escáner de espejo Palmer), también podría utilizarse la SCOLAC, pero podría resultar más difícil de implementar si, por ejemplo, el movimiento inverso no se produce a una velocidad constante (p.ej., como en una exploración sinusoidal).

10

15

20

25

30

35

1. Un espejo de detección de la luz y medición de la distancia (16), que comprende:

5

una parte receptora (22); y

una parte transmisora (20), estando los respectivos centroides (30) de las partes receptora y transmisora (22, 20) situados en un punto común sobre el eje de exploración (26), rotando (24) las partes receptora y transmisora (22, 20) sobre el eje de exploración (26), estando la parte transmisora (20) situada de manera que refleje un pulso de luz hacia el objetivo (40) como un punto transmitido (42), estando la parte receptora (22) situada para dirigir el pulso de luz reflejado del objetivo (40) a la parte receptora (22) como el campo de visión de la parte receptora (44),

10

15

caracterizado porque:

la parte transmisora (20) está compensada por un ángulo (56) sobre el eje de exploración (26) con relación al plano de superficie de la parte receptora;

20

y

el campo de visión de la parte receptora (44) coincide con el punto transmitido (42) en función de la distancia al objetivo (40).

2. El espejo de detección de la luz y medición de la distancia (16) según lo expuesto en la reivindicación 1, en el que el campo de visión de la parte receptora (44) coincide cada vez más con el punto transmitido (42) a medida que aumenta la distancia al objetivo (40).

25

3. El espejo de detección de la luz y medición de la distancia (16) según lo expuesto en la reivindicación 1, en el que la intensidad del pulso de luz reflejado del objetivo (40) a la parte receptora (22) está en función de la coincidencia entre el campo de visión de la parte receptora (44) y el punto transmitido (42).

30

35

Dibujos

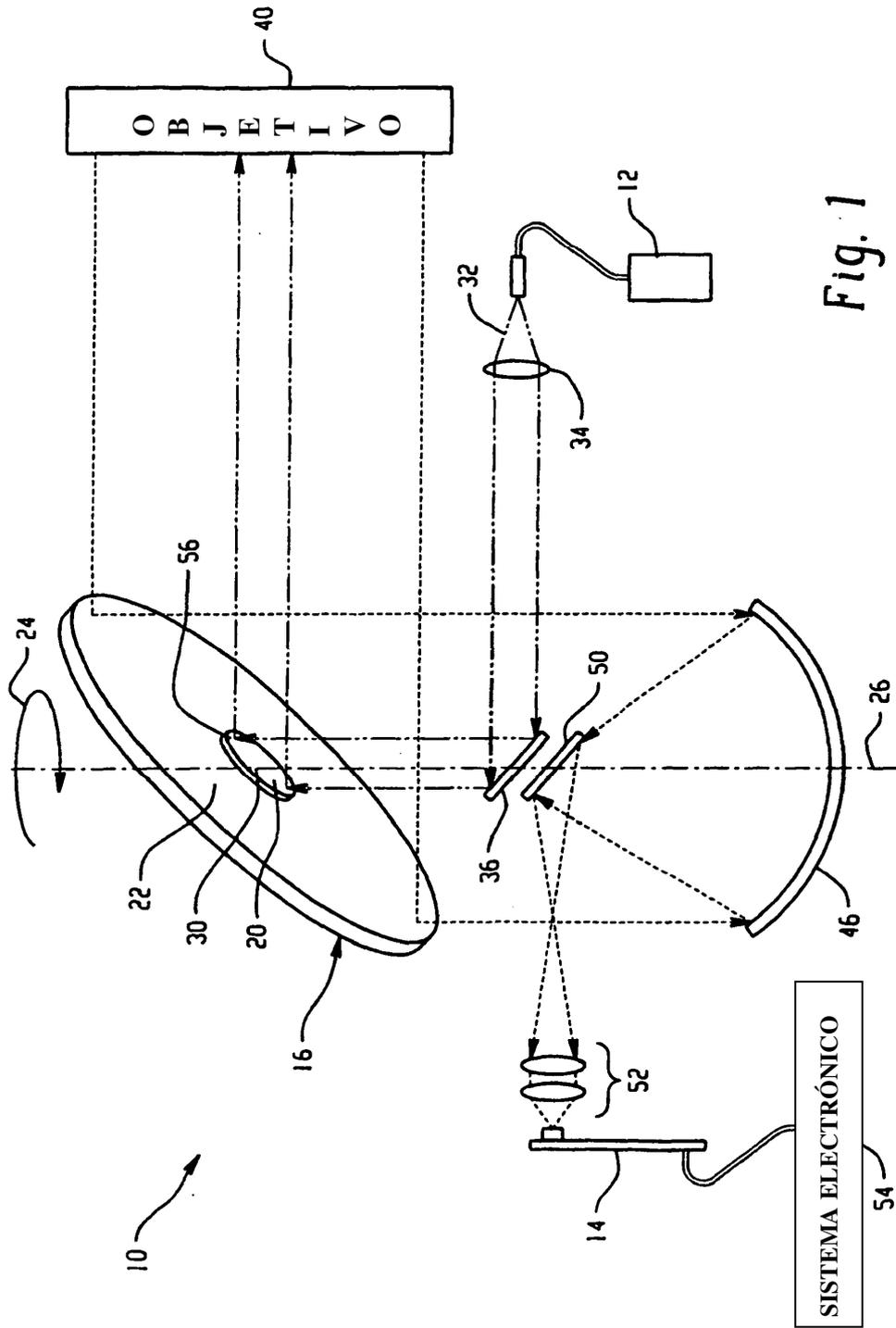


Fig. 1

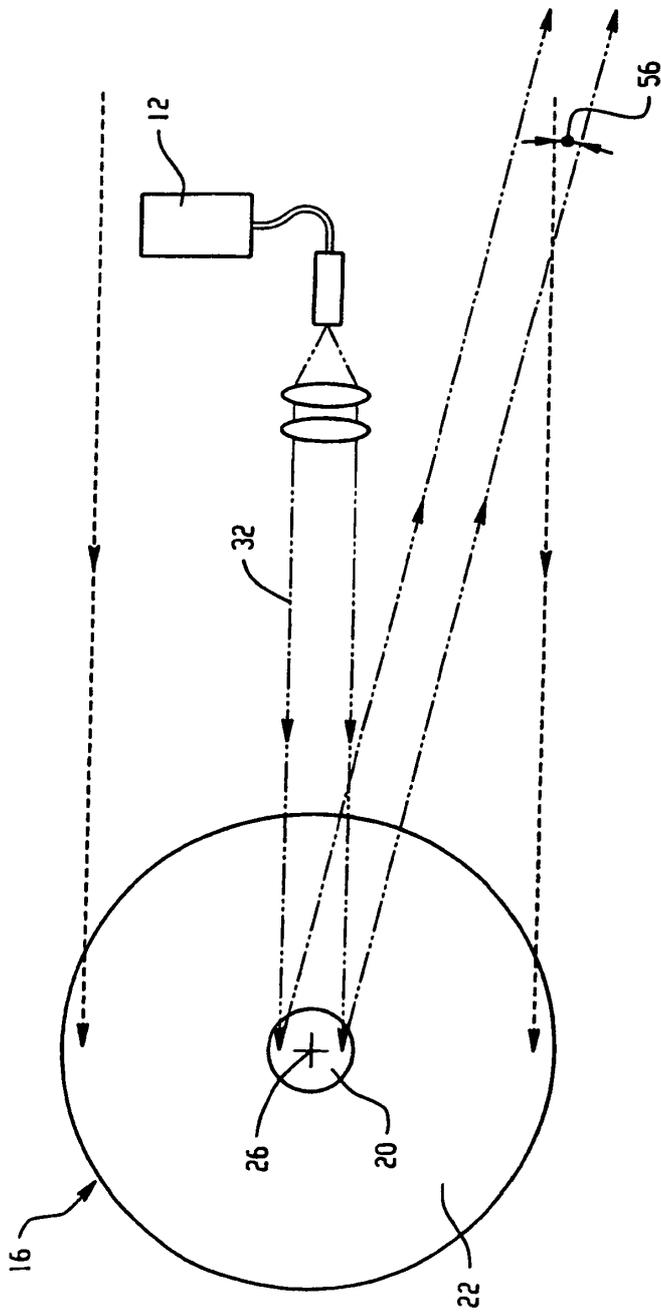


Fig. 2

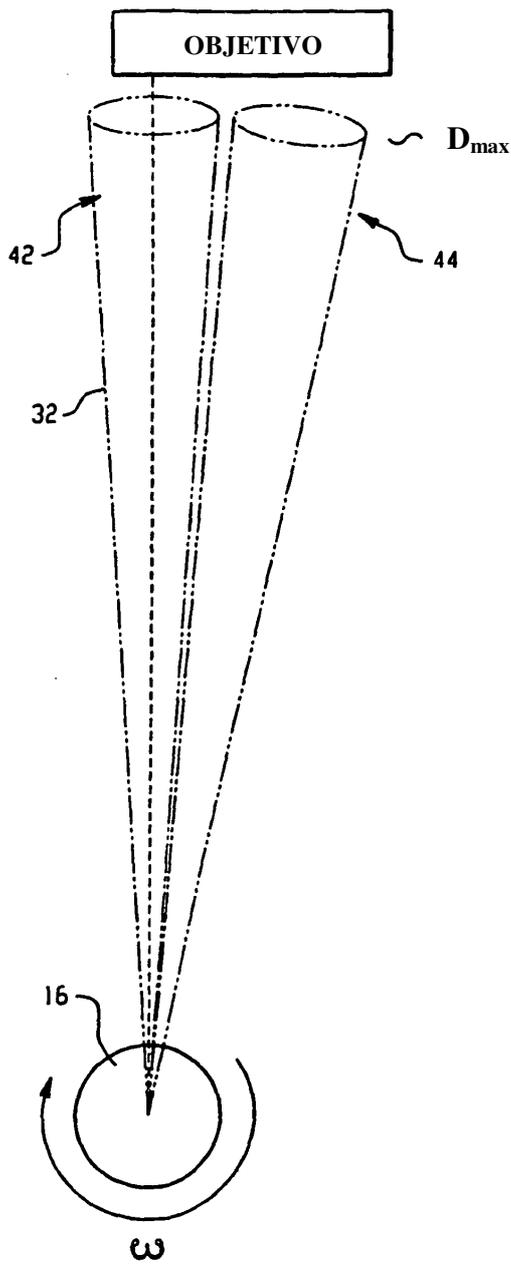


Fig. 3

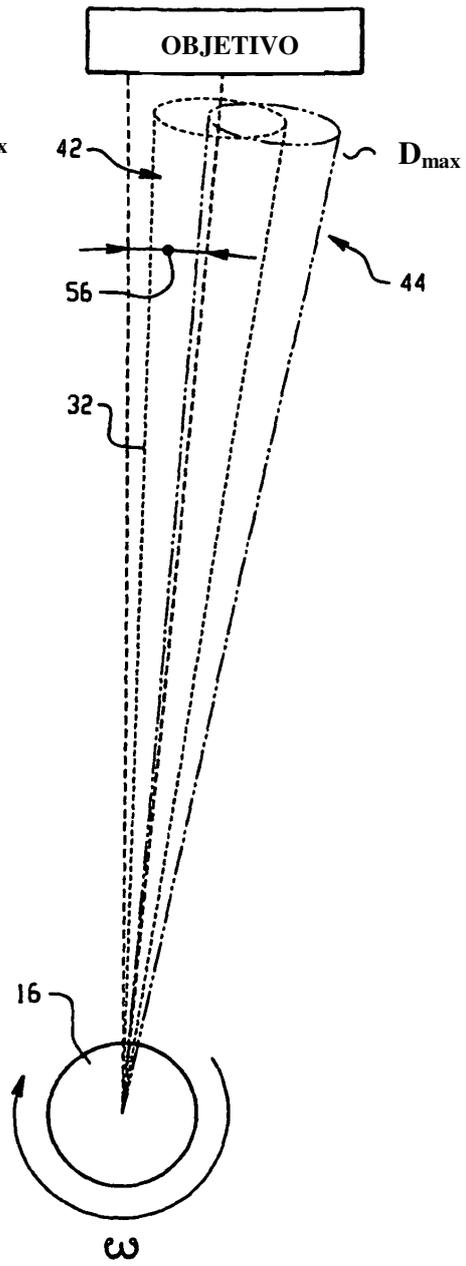


Fig. 5

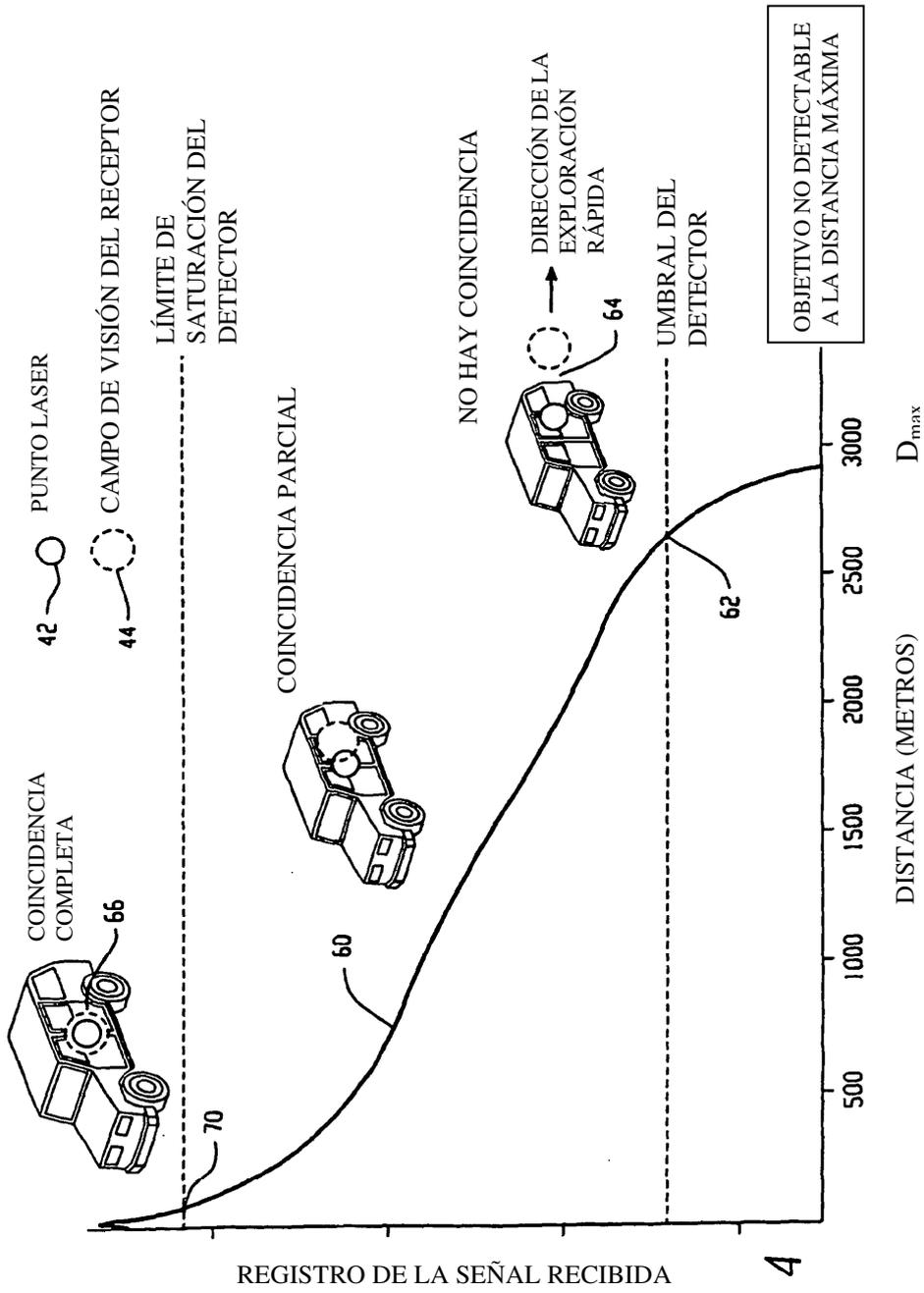


Fig. 4

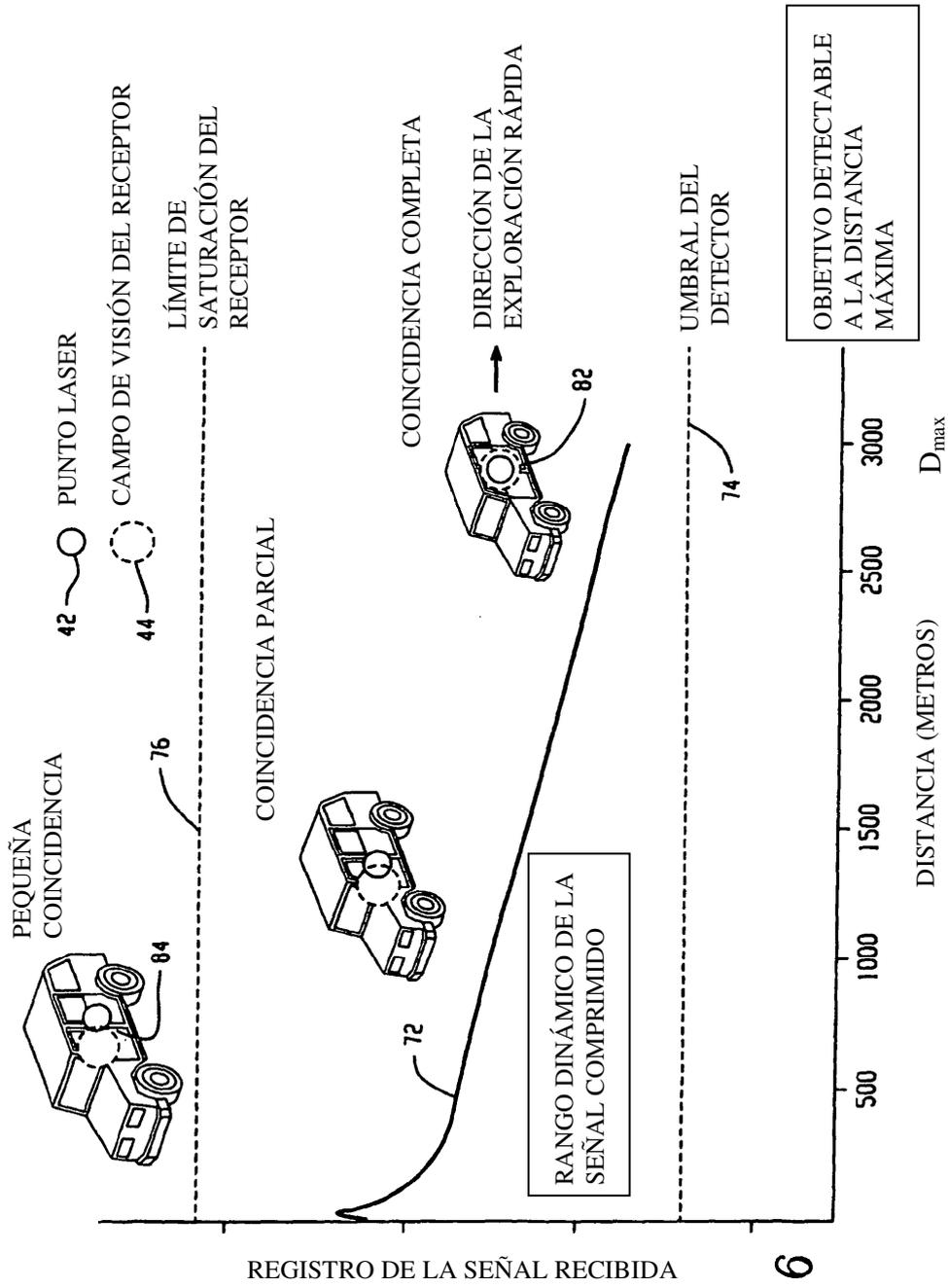


Fig. 6