

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 990**

51 Int. Cl.:

G01C 21/20 (2006.01)
G01S 17/34 (2010.01)
G01S 17/58 (2006.01)
G01S 17/93 (2010.01)
G01S 19/48 (2010.01)
G01C 21/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2019 PCT/GB2019/050893**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2019 WO19186172**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2019 E 19721671 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2023 EP 3775992**

54 Título: **Aparato y método de navegación**

30 Prioridad:

28.03.2018 US 201815932639

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

26.10.2023

73 Titular/es:

**PSIONIC LLC (100.0%)
1100 Exploration Way
Hampton, VA 23666, US**

72 Inventor/es:

**PARKER SANDFORD, STEPHEN y
PIERROTTET, DIEGO FERNANDO**

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 951 990 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

Aparato y método de navegación

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método y aparato de navegación que es particularmente aplicable para su uso en entornos donde el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) no está disponible.

10 Antecedentes de la invención

15 La navegación es un proceso que idealmente comienza con un conocimiento absoluto de la ubicación de uno. El objetivo es llegar a un destino ubicado en otro lugar. Una vez que comienza el movimiento, muchos sistemas de navegación necesitan conocer qué tan rápido se está moviendo (v = velocidad), en qué dirección (rumbo), y cuánto tiempo (t = tiempo transcurrido) uno se mueve a esa velocidad en esa dirección. Si estos se conocen sin error, luego la ecuación $vt = x$ da la ubicación actual, x , en el tiempo t . Los errores de velocidad, temporización o dirección introducirán incertidumbre en la nueva ubicación.

20 Para los vehículos aéreos hay tres ángulos de orientación (inclinación, balanceo y guiñada) y tres coordenadas de posición (x , y y altura sobre la tierra) que pueden cambiar con el tiempo. Estos seis grados de libertad (6-DOF) significan que hay seis variables que necesitan medirse con el fin de conocer dónde se encuentra uno en un momento dado. Para los vehículos terrestres que se desplazan en el plano de una superficie, solo hay dos coordenadas de posición (x e y) y un ángulo (guiñada) que necesitan medirse para saber dónde se está en un momento dado. Este es un problema de 3 grados de libertad (3-DOF). Se aplican los mismos principios generales de navegación y las mediciones de velocidad con bajo error con relación a la tierra proporcionan una nueva y poderosa capacidad de navegación.

25 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) comprende un conjunto de satélites en órbita que transmiten señales hacia la superficie de la Tierra. Una persona en tierra puede usar las señales recibidas por una radio GPS para determinar su ubicación o altura, típicamente mediante triangulación mediante el uso de múltiples señales recibidas y el conocimiento de la posición relativa de sus respectivos satélites.

30 En algunas situaciones y condiciones, el GPS no está disponible. Una ubicación, área o región que no ofrece servicio de ubicación a través del GPS se denomina "entorno denegado por GPS". Este entorno o condición puede ocurrir o provocarse por restricciones geográficas o topológicas, o por la acción deliberada de personas que buscan deshabilitar el servicio de GPS. Por ejemplo, un enemigo en un campo de batalla puede tratar de bloquear o interferir con el servicio de GPS para negar su uso o desviar a un adversario.

35 En esta situación, una persona, un vehículo o algún otro usuario necesita algún otro aparato y/o hardware para determinar con exactitud la ubicación y/o la altura sin el beneficio del GPS.

40 El desarrollo de un sistema que permita a un usuario o a un controlador automatizado determinar información tal como la posición, orientación, ubicación, altura, velocidad, aceleración u otra información geodésica, de calibración o de medición sería un gran avance tecnológico y satisfaría necesidades largamente sentidas en las industrias de satélites y telecomunicaciones.

45 El documento US 2008/239279 describe un sistema de estimación de movimiento basado en LIDAR para la navegación. El documento "Imaging flash LIDAR for safe landing on solar system bodies and spacecraft rendezvous and docking" por Amzajerjian y otros XP 060054770 analiza los usos del LIDAR de destello por parte de la NASA. El documento "Impact of transmitting light's modulation characteristics on LFM CW Lidar systems" por Song y otros XP028391451 analiza los experimentos sobre Lidar en la medición de alcance y velocidad.

Declaración de la invención

50 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para proporcionar datos para la navegación de un vehículo como se reivindica en la reivindicación 1. De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método como se reivindica en la reivindicación 11.

60 Breve descripción de los dibujos

Las modalidades de la presente invención se describirán ahora solo a manera de ejemplo y con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

65 La Figura 1 es una vista generalizada de una modalidad de un Sistema para Navegación en un Entorno denegado por GPS.

Las Figuras 2 y 3 son ilustraciones esquemáticas de marcos de referencia generalizados del sistema de sensores, que incluyen un marco de referencia universal, un marco de referencia del vehículo y un marco de referencia del objetivo.

La Figura 4 presenta una vista esquemática de los elementos de una modalidad de la presente invención.

5 La Figura 5 es un diagrama de bloques esquemático de una modalidad de un Sensor de Referencia para la Navegación.

La Figura 6 es un diagrama de bloques esquemático de una modalidad de un Sensor de Alcance de Área y Velocidad.

La Figura 7 es un diagrama de bloques esquemático de una modalidad de un Procesador Doppler de Alcance.

10 La Figura 8 es un diagrama de flujo que revela las etapas del método que se implementan en una modalidad de un Procesador de ubicación.

La Figura 9 muestra los instrumentos de un helicóptero que proporcionan información para la navegación.

La Figura 10 representa los atributos de navegación que se emplean en una modalidad de la presente invención.

15 La Figura 11 proporciona un diagrama de flujo de las etapas del método pertenecientes a la Operación LIDAR Coherente que se implementan en una modalidad de la presente invención.

La Figura 12 proporciona un diagrama de flujo de las etapas del método pertenecientes a un algoritmo para determinar la ubicación de un vehículo que se implementan en una modalidad de la presente invención.

La Figura 13 ofrece una vista esquemática de un vehículo terrestre que utiliza una modalidad alternativa de la invención para encontrar una ruta optimizada que evite un accidente.

20 La Figura 14 proporciona una vista esquemática de un vehículo terrestre que emplea una modalidad alternativa de la invención para recuperarse después de la pérdida de control.

La Figura 15 representa una Pantalla de Interfaz en el Vehículo para un vehículo terrestre que puede usarse en una modalidad alternativa de la invención.

25 La Figura 16 representa otra vista de una Pantalla de Interfaz en el Vehículo para un vehículo terrestre que puede usarse en una modalidad alternativa de la invención.

La Figura 17 es una vista esquemática de un Sistema de Transporte Inteligente que incluye Conocimiento de la Situación del Área.

La Figura 18 es una vista esquemática de un Sistema de Transporte Inteligente que incluye Conocimiento de la Situación del Área.

30 La Figura 19 proporciona otra vista esquemática que ilustra el Conocimiento de la Situación y la Evasión de Peligros.

La Figura 20 muestra otra vista esquemática de un vehículo terrestre que utiliza el Conocimiento de la Situación y la Evasión de Peligros.

35 La Figura 21 ofrece una vista esquemática de otra modalidad alternativa de la presente invención, que muestra una aeronave aterrizando en la cubierta de un portaaviones.

La Figura 22 representa el contenido de frecuencia de la forma de onda transmitida y recibida asociada en función del tiempo.

La Figura 23 es una representación vectorial de un sistema D-LIDAR usado en una modalidad.

40 La Figura 24 ilustra los ángulos involucrados en los cálculos de inclinación, balanceo y guiñada.

Descripción detallada

I. Descripción de las modalidades alternativas y preferidas de la invención

45 Las modalidades de la presente invención buscan permitir una navegación sigilosa, autónoma, exacta y de larga distancia al usar la luz láser y receptores coherentes configurados para proporcionar velocidad en el marco de referencia del sensor y con respecto a objetos y otros vehículos en su entorno. El uso de la luz láser significa que la detección por parte de los adversarios es extremadamente difícil y además proporciona mediciones de alta precisión. Los receptores coherentes permiten mediciones de velocidad con una relación señal/ruido (SNR) muy alta a lo largo de la línea de visión del haz láser con muy baja probabilidad de interferencia de otras señales cercanas basadas en láser. Para los sistemas terrestres y aéreos, las mediciones de distancia y velocidad son con relación al plano formado por la tierra. Mediante el uso de más de un haz, las modalidades de la presente invención miden la velocidad con respecto a la tierra o a otros objetos/vehículos en más de una dirección, lo que permite la determinación de la posición en 2D o 3D, así como también otros parámetros útiles del estado del vehículo, incluidos la velocidad y dirección de los otros objetos/vehículos en su entorno (marco de referencia del sensor). Un reloj y las actualizaciones de la información del rumbo mediante el uso de brújula, giroscopio, rastreador de estrellas y/o un sistema de coincidencia del terreno completa el sistema de navegación totalmente autónomo de las modalidades preferidas, aunque se apreciará que las modalidades pueden dirigirse a componentes individuales del sistema general y estos pueden proporcionarse como actualización o adiciones a los vehículos o sistemas de navegación existentes.

60 En situaciones en las que no se desea o no es factible proporcionar el control humano o cuando las habilidades humanas son inadecuadas para operaciones seguras, es necesario que los vehículos planifiquen su trayectoria de manera autónoma, naveguen hacia su destino y controlen su posición y actitud. Para lograr este objetivo de manera segura y confiable, deben poder sentir su entorno con suficiente exactitud y precisión para tomar y ejecutar las decisiones adecuadas. Las mediciones de velocidad y alcance sin interferencias y con una alta relación señal/ruido ofrecen una solución particularmente elegante.

Los problemas específicos que exigen este sistema incluyen navegar o aterrizar en cuerpos celestes sin ayuda humana, operaciones de encuentro y proximidad (inspección, atraque, acoplamiento) en el espacio, automóviles, camiones y vehículos militares sin conductor, vehículos aéreos en entornos denegados por GPS.

5 Los sistemas de navegación actuales usan sistemas de medición inerciales que acumulan errores de velocidad con relativa rapidez, lo que provoca grandes incertidumbres en la posición de un vehículo después de períodos de tiempo relativamente cortos. Las balizas basadas en el espacio o en tierra como GPS o LORAN (Navegación de Largo Alcance) pueden proporcionar información de posición a través de técnicas de triangulación, pero son susceptibles a los actores hostiles que pueden interferir estas señales o, lo que es peor, estropearlas de manera que proporcionen lecturas de posición incorrectas e indetectables. Los sistemas anteriores usan sensores como acelerómetros, osciladores, giroscopios, odómetros y velocímetros de varios tipos, señales GPS, otros sistemas de balizas de triangulación, cámaras, RADAR (Detección y Alcance del Radio), SONAR (Navegación y Alcance del Sonido) y LIDAR (Detección y Alcance de la Luz).

10
15 Estos se dividen en dos grupos: sensores a bordo y señales de información suministradas externamente. Las limitaciones de los sensores a bordo son sus errores sistemáticos que se acumulan con el tiempo y brindan un conocimiento inadecuado para una navegación exacta, y un alto grado de interferencia de múltiples objetivos, lo que confunde la interpretación de la señal. La limitación de las señales suministradas externamente es su disponibilidad. No están disponibles bajo tierra o en el espacio y pueden interferirse o suplantarse en la Tierra.

20 Los sistemas de navegación actuales usan sistemas de medición inerciales que acumulan errores de velocidad con relativa rapidez, lo que provoca grandes incertidumbres en la posición de un vehículo después de períodos de tiempo relativamente cortos. Las balizas basadas en el espacio o en tierra, como GPS o LORAN, pueden proporcionar información de posición a través de técnicas de triangulación, pero son susceptibles a los actores hostiles que pueden interferir estas señales o, lo que es peor, estropearlas de manera que proporcionen lecturas de posición incorrectas e indetectables. Las modalidades de la presente invención buscan permitir una navegación exacta con errores generalmente insignificantes durante largos períodos de tiempo mediante el uso de solo instrumentos a bordo que permiten que los vehículos sean autosuficientes en cuanto a la información para la navegación.

25
30 Los sistemas de navegación a bordo anteriores pueden usar el radar para proporcionar información para la navegación superior a los sistemas de medición inerciales que usan giroscopios o acelerómetros, pero estos además proporcionan a los actores hostiles el conocimiento de la trayectoria del vehículo. Las modalidades de la presente invención buscan permitir una navegación exacta y una probabilidad muy baja de detección por parte de otras entidades y un conocimiento de la situación del entorno más rápido.

35 Las ventajas clave de las modalidades de la presente invención sobre los sistemas anteriores son el bajo error sistemático y la baja probabilidad de detección debido a la naturaleza de la luz usada para determinar los parámetros de navegación. La singularidad de la metodología de detección de la presente invención proporciona una adquisición de señal de canal cerrado sin interferencias, lo que hace que el sistema sea capaz de operar en un entorno de alto tráfico de objetivos.

40 Los sistemas existentes no miden con exactitud la velocidad de la tierra. Realizan mediciones de aceleración mediante el uso de un acelerómetro. La velocidad es la integral sobre el tiempo de la aceleración, pero la integración siempre tiene asociada una constante arbitraria. Esto se manifiesta como un error sistemático en la posición que aumenta con el tiempo. Aunque existe un amplio rango de acelerómetros disponibles que varían desde 1 dólar estadounidense hasta miles de dólares estadounidenses cada uno, incluso las mejores unidades presentan errores sistemáticos. Cuanto más largo es el viaje, más se acumula este error sistemático.

45
50 Las modalidades de la presente invención no se basan en mediciones y sensores que introducen un error sistemático a través de la integración. En modalidades preferidas, la velocidad se mide directamente mediante el uso de un lidar doppler de frecuencia modulada como se analiza con más detalle más abajo. Esto, en combinación con mediciones basadas en el alcance a objetivos en el entorno y/o a un objetivo de referencia, permite un posicionamiento y navegación exacta del vehículo en el entorno.

55 En modalidades preferidas, los sensores de referencia se combinan con sensores de detección y evasión en un solo sistema que proporciona datos para la navegación con una exactitud y velocidad no disponibles hasta ahora.

60 En las modalidades de la presente invención, un sensor de referencia permite que el sensor de detección y evasión suministre velocidades de referencia para los objetos en su entorno. A su vez, los sensores situacionales proporcionan datos adicionales que pueden mejorar las mediciones del sensor de referencia, especialmente para fines de orientación, navegación y control.

65 Como se apreciará, las modalidades de la presente invención buscan proporcionar información clave a los sistemas de orientación, navegación y control del vehículo, específicamente, vectores de velocidad y alcance, con información derivable sobre la actitud relativa de la superficie, el ángulo de deslizamiento lateral, el ángulo de aproximación y la altura. Como estos parámetros se miden con alta exactitud, permitirán que los automóviles y camiones autónomos y

conducidos por humanos sean seguros y confiables, y que los vehículos aéreos (con y sin pilotos) naveguen sin GPS u otras señales externas. En los automóviles actuales, una modalidad de la presente invención permite que los automóviles se recuperen de giros y situaciones actualmente incontrolables en las que el vehículo se desliza lateralmente o gira y no puede determinar su posición o dirección.

5 Las modalidades de la presente invención pueden implementarse en vehículos ADAS 3-5 (Asistencia avanzada al conductor), tanto civiles como militares, así como también aeronaves pilotadas y no pilotadas, especialmente aquellas que requieren VTOL (Despegue y aterrizaje vertical) y la capacidad de volar sin señales de navegación GPS. Otra modalidad de la invención puede usarse como sensores de navegación para el suministro de tripulación y carga a
10 cuerpos planetarios tales como la Luna, Marte o asteroides por compañías espaciales comerciales.

La Figura 1 es una vista generalizada de una modalidad de la presente invención 10, que se utiliza en un Entorno denegado por GPS. Un satélite GPS S se muestra sobre el paisaje que se muestra en la Figura 1, pero no está disponible para proporcionar servicios de navegación, debido a los esfuerzos de fuerzas hostiles o no amigas en el
15 área. Estas fuerzas hostiles o no amigas pueden estar interfiriendo o estropeando las señales GPS con radios especializadas.

Se muestra un vehículo aerotransportado 12, tal como un helicóptero, volando sobre una zona hostil HZ bordeada por una cadena montañosa MR. La zona hostil HZ está poblada por tropas enemigas ET, que son capaces de disparar
20 contra el helicóptero 12.

El helicóptero 12 está intentando evitar la cadena montañosa MR, así como también las tropas enemigas ET, y está intentando aterrizar en un sitio de aterrizaje LS cerca de una base militar amiga MB.

25 El helicóptero 12 tiene un sistema de navegación a bordo que incorpora las varias modalidades de la presente invención y que se describe en detalle más abajo. El sistema de navegación a bordo ilumina una porción de la tierra 14, y calcula la ruta de aproximación óptima 16 que permitirá que el helicóptero 12 aterrice con seguridad en el sitio de aterrizaje LS.

30 La Figura 2 es una vista esquemática 18 de los marcos de referencia del sistema sensor generalizado para tres dimensiones que se emplean en la presente invención. La Figura 2 muestra un vehículo aerotransportado, 12, y un objetivo 20. La Figura 2 representa un marco de referencia universal 22, un marco de referencia del vehículo tridimensional 24, un marco de referencia del sensor 25 y un marco de referencia del objetivo tridimensional 26. El marco de referencia universal 22 generalmente se define por un plano que se asocia con el terreno debajo del vehículo
35 12 y el objetivo 20. En el espacio, podría definirse por las características de otra nave espacial.

Tanto el marco de referencia del vehículo 24 como el marco de referencia del objetivo 26 se caracterizan por un conjunto de Coordenadas Cartesianas de tres ejes. Las direcciones definidas por los ejes se etiquetan como x, y y z. Estas direcciones y la rotación alrededor de cada eje definen seis grados de libertad.
40

El sistema de navegación a bordo implementado en una modalidad de la invención ilumina una porción del marco de referencia universal 22, uno o más objetivos 20 y/u otros objetos. Este sistema de navegación a bordo utiliza una variedad de sensores, que se describen en detalle en esta Descripción. Preferentemente, estos sensores se colocan exactamente en el centro de masa y el centro de inercia del vehículo 12, por lo que no hay diferencia entre el marco
45 de referencia del sensor 25 y el marco de referencia del vehículo 24.

La Figura 3 es una vista esquemática similar 27 de los marcos de referencia del sistema del sensor generalizado 18, pero solo muestra las dos dimensiones de libertad disponibles para un vehículo terrestre que se emplean en la presente invención. La Figura 3 muestra un vehículo, 12, y un objetivo 20. La Figura 3 representa un marco de referencia universal 22, un marco de referencia del vehículo plano 28 y un marco de referencia del objetivo plano 30. El marco de referencia universal 20 se define generalmente por el plano que se asocia con el terreno en el que se ubican el vehículo 12 y el objetivo 20.
50

Tanto el marco de referencia del vehículo 28 como el marco de referencia del objetivo 30 se caracterizan por un conjunto de Coordenadas Cartesianas de dos ejes. Las direcciones definidas por los ejes se etiquetan como x e y. Estas direcciones y la rotación alrededor de la vertical o guiñada definen tres grados de libertad.
55

Las modalidades de la presente invención incluyen un sistema sensor de alcance de área y velocidad. En modalidades preferidas, esto puede combinarse con un sensor de referencia para la navegación y otros componentes para formar un sistema de navegación. Los varios componentes posibles, así como también un sistema de navegación general, se describen con más detalle más abajo.
60

La Figura 4 proporciona una vista esquemática 32 de un vehículo generalizado 12. La ubicación del vehículo 12 se caracteriza por tres Coordenadas Cartesianas y se mide a lo largo de los tres ejes de un marco de referencia del vehículo 24 que, en esta modalidad, se ubica en el centro de masa del vehículo. El vehículo generalizado 12 lleva a bordo un sistema de navegación que implementa las varias modalidades de la presente invención. Un procesador de
65

ubicación 34 se conecta a un sensor de rumbo 36, un sensor de ubicación absoluta 38 y un temporizador 40. Un procesador Doppler de Alcance 42 se conecta a un Sensor de Referencia para la Navegación (NRS) 44 y un Sensor de Alcance de Área y Velocidad (ARVS) 46.

5 La Figura 5 ofrece un diagrama de bloques esquemático que muestra los detalles inventivos del Sensor de Referencia para la Navegación (NRS) 44. Un emisor de ancho de línea estrecho 48 se conecta a un generador de forma de onda 50 que, a su vez, se acopla tanto a un transmisor 52 como a un oscilador local 54. El transmisor 52 se conecta a un alineador óptico de la transmisión/recepción 56 y un receptor 58. El oscilador local 54 se conecta además al receptor 58. Un director de haz estático 60 se conecta al alineador óptico de la transmisión/recepción 56. El director de haz estático 60 emite y recolecta haces LIDAR 62.

15 La Figura 6 ofrece otro diagrama de bloques esquemático que muestra los detalles inventivos adicionales de un Sensor de Alcance de Área y Velocidad (ARVS) 46. Un emisor de ancho de línea estrecho 64 se conecta a un generador de forma de onda 66 que, a su vez, se acopla tanto a un transmisor 68 como a un oscilador local 70. El transmisor 68 se conecta a un alineador óptico de la transmisión/recepción 72 y un receptor 74. El oscilador local 70 se conecta además al receptor 74. Un director de haz dinámico 76 se conecta al alineador óptico de la transmisión/recepción. El director de haz dinámico 76 emite y recolecta haces LIDAR de dirección variable 78.

20 La Figura 7 es un diagrama de flujo 79 que representa las etapas del método que se implementan por el Procesador Doppler de Alcance 42 en una modalidad de la presente invención.

- 82 Demodular la salida del receptor.
- 84 Determinar el contenido espectral.
- 25 86 Discriminar las frecuencias de la señal del ruido. Estas frecuencias de la señal son la frecuencia de desplazamiento Doppler y las bandas laterales de la frecuencia de desplazamiento Doppler.
- 88 Obtener la velocidad a partir del Desplazamiento Doppler de la frecuencia de la señal. Al determinar la propia frecuencia Doppler, se calcula la velocidad a lo largo de la dirección de desplazamiento del haz.
- 90 Obtener la distancia de las bandas laterales de frecuencia de la señal. Al determinar las frecuencias de la banda lateral, se calcula el alcance al objetivo u objeto.
- 30 92 Convertir las frecuencias de alcance y velocidad a unidades de ingeniería (o unidades SI).
- 94 Enviar los datos al procesador de ubicación.

El NRS y el ARVS operan de manera casi invertida.

35 Combinar los dos para la navegación es, en mi opinión, la etapa inventiva en la que nadie había pensado antes debido a que combina un método de la ciencia estándar de medición con la nueva capacidad del sensor lidar en un diseño de sistema de navegación.

40 El NRS realiza una medición con relación a un punto de referencia externo (generalmente es la Tierra como referencia, pero podría ser un satélite en una maniobra de encuentro). La referencia es externa al sensor y el sensor usa uno o más haces en dependencia del número de grados de libertad del problema. Un tren necesitaría un haz debido a que es un problema 1-D. Un automóvil necesita dos haces debido a que está contenido en una superficie 2-D. Una máquina voladora necesita tres. Para encontrar la información para la navegación necesaria se requiere la combinación de mediciones de múltiples haces.

45 El ARVS realiza su medición en relación con relación a un punto de referencia interno, mediante el uso de alguna parte como referencia. Mide el alcance y la velocidad de otros objetivos con relación a su propia configuración de sensor. Aquí también se usan uno o más haces en dependencia del número de grados de libertad del problema. Una vez más, la información para la navegación proviene de la combinación de medidas de estos haces.

50 El procesador doppler de alcance procesa los datos de cada uno de los NRS y ARVS con respecto a su punto de referencia.

55 Una vez que se obtienen los datos de las mediciones de NRS, pueden aplicarse a los datos de los objetos en el entorno del vehículo a través de las mediciones de ARS. Uno puede saber dónde está el vehículo no solo con relación al centro de la Tierra, sino además dónde está todo lo que lo rodea con relación al centro de la Tierra (o cualquiera que sea la referencia externa elegida para la medición de NRS).

60 La Figura 8 proporciona un diagrama de flujo 96 que ilustra las etapas del método que implementa el Procesador de ubicación 34 en una modalidad de la presente invención. Las etapas que se muestran en la Figura 8 son:

- 98 Obtener el alcance y la velocidad del marco de referencia universal en el marco de referencia del sensor.
- 100 Obtener la actitud y el rumbo del marco de referencia universal con relación al marco del sensor.

65

102 Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad).

5 104 Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco del vehículo con relación al marco de referencia universal.

106 Obtener el alcance y la velocidad del objetivo en el marco de referencia del sensor.

10 108 Obtener la actitud y el rumbo de un objetivo con relación al marco del sensor.

110 Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad).

15 112 Aplicar la transformación de traslación/rotación del objetivo con relación al marco de referencia universal.

Las etapas etiquetadas 98, 100, 102 y 104 convierten a unidades de ingeniería (o unidades SI) el alcance y la velocidad del marco de referencia del vehículo 12 con relación a un marco de referencia universal.

20 Las etapas 106, 108 y 110 convierten a unidades de ingeniería (o unidades SI) y transforman las coordenadas para el alcance y la velocidad del marco de referencia del vehículo 12 con relación a la pluralidad de marcos de referencia del objetivo.

La etapa 112 transforma las coordenadas de los marcos de referencia del objetivo al marco de referencia universal.

25 La Figura 9 es una ilustración 114 de una modalidad de las pantallas que transportan la información para la navegación al piloto del vehículo 12. La velocidad relativa de la superficie se presenta en instrumentos que muestran Vx 116, Vy 118 y Vz 119. La Figura 9 representa además otra información para la navegación para el vehículo 12, incluida la altura relativa de la superficie 120, el ángulo de ruta del vuelo 122, el vector de velocidad 124, el ángulo de ataque 126 y el ángulo de inclinación relativo de la superficie 128.

30 La Figura 10 es una ilustración 130 que representa los atributos de navegación relacionados con el vehículo 12, incluido el ángulo de deslizamiento lateral 132 y el ángulo de balanceo relativo de la superficie 134.

35 La Figura 1 muestra un vehículo aéreo que intenta aterrizar en una zona hostil sin el beneficio del GPS o cualquier otra señal del sistema de navegación global suministrada externamente. Con el fin de volar con seguridad a la zona de aterrizaje y evitar obstáculos y amenazas, el helicóptero usa una modalidad de la presente invención que se describe en la Figura 4. Las Figuras 2 y 3 muestran que esto puede usarse en aplicaciones 3-D, aéreas y 2-D, de superficie. Aunque no se muestra, podría ser útil en un caso 1-D como un tren. Para aterrizar de forma segura en la zona de aterrizaje y evitar amenazas, las modalidades de la presente invención utilizan dos lidars doppler configurados para proporcionar información para la navegación sobre la posición del helicóptero con relación a la Tierra (una referencia universal), así como también su posición con respecto a los objetos en su entorno inmediato como montañas, líneas eléctricas, árboles, vehículos enemigos, etc. Estos dos lidar juntos permiten una navegación autónoma o pilotada segura y confiable en ausencia de GNSS. El Sensor de Referencia para la Navegación (NRS) que se muestra en la Figura 4 y con más detalle en la Figura 5, se usa para medir la velocidad respecto a la tierra del helicóptero, la altura sobre la tierra y varios parámetros de actitud (ver la Figura 9). Esto permite que el vehículo sepa dónde está con relación a una posición inicial conocida y, por lo tanto, con relación a la zona de aterrizaje, y por lo tanto navegar hasta esa zona de aterrizaje. Además, el Sensor de Alcance de Área y Velocidad (ARVS) que se muestra en la Figura 4 y con más detalle en la Figura 6, se usa para medir la distancia a otros objetos, así como también la velocidad y la dirección de desplazamiento de otros objetos en el entorno del helicóptero. Por lo tanto, las modalidades permiten una navegación segura y fiable a través de amenazas y hacia una ubicación de aterrizaje específico.

50 A medida que el helicóptero se desplaza, el NRS y el ARVS emiten una luz de ancho de línea estrecho. En este ejemplo, el NRS usa 3 o más haces que se dirigen hacia la tierra. El ARVS usa 1 o más haces dirigidos a varios objetos y/o vehículos de interés. Cuando la luz golpea la tierra o el objetivo, adquiere información sobre la velocidad relativa y la distancia entre ellos y el helicóptero. Parte de esta luz, con su nueva información, se refleja de vuelta al NRS o al ARVS, respectivamente. El efecto Doppler proporciona la información clave necesaria en forma de un desplazamiento de frecuencia en la luz que retorna. La luz de retorno se recolecta por el director de haz y la combinación de alineador óptico de la transmisión/recepción, y se desplaza a través de una fibra óptica al receptor. El receptor incluye un detector óptico que convierte la energía de la luz en una señal eléctrica. La información se contiene ahora en la señal eléctrica. Tanto el NRS como el ARVS utilizan un detector óptico para convertir la energía de la luz en señales eléctricas analógicas. Luego, la señal eléctrica analógica se convierte en una señal digital con un muestreo adecuado para conservar la información clave sobre la velocidad relativa y el alcance hasta la tierra o el objetivo. Esta señal digital ahora se procesa mediante el uso de técnicas de estimación de frecuencia para determinar el desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler que proporciona la velocidad relativa y el alcance a lo largo de cada uno de los haces. Al conocer cómo se montan (posicionan y apuntan) los directores de haz NRS con relación al centro de inercia del helicóptero, el Procesador Doppler de Alcance (Figuras 4 y 7) puede combinar la información de los haces para

determinar la velocidad con respecto a la tierra (velocidad relativa de la superficie) del vehículo, la altura sobre la tierra (altura relativa de la superficie), el ángulo de inclinación relativo de la superficie, el ángulo de ataque, el ángulo de balanceo relativo de la superficie y el ángulo de deslizamiento lateral (ver las Figuras 9 y 10). El ARVS usa un sistema de apuntamiento dinámico para apuntar uno o más haces a cada objetivo de interés en su entorno. Al conocer dónde y cuándo apuntan estos haces ARVS, el Procesador Doppler de Alcance determina el alcance y la velocidad (Figura 28) para cada objetivo en el entorno. Estos parámetros de navegación enumerados anteriormente desde el NRS y el ARVS se envían al Procesador de ubicación donde los combina con el Temporizador (tiempo transcurrido), el Sensor de rumbo (dirección de la brújula) y la ubicación inicial y las fijaciones periódicas del Sensor de Ubicación Absoluta (ver las Figuras 4, 8 y 12) datos para trazar un rumbo que evite los obstáculos y amenazas y termine en la zona de aterrizaje.

Los sistemas de navegación actuales utilizan múltiples sensores para determinar la ubicación de un vehículo y trazar un rumbo hacia su destino. La gran mayoría requiere señales GNSS como fuente principal de conocimiento de la ubicación. En los casos en que las señales GNSS no están disponibles, las opciones para una navegación exacta de larga distancia acumulan grandes errores con el tiempo y no pueden evitar obstáculos en el entorno del vehículo anfitrión. Las modalidades de la presente invención usan las mediciones de velocidad directa, en tiempo real, exactas, de alta resolución y de detección remota disponibles a partir del efecto Doppler para proporcionar la información para la navegación crítica que permite la determinación a bordo de la ubicación del vehículo y la determinación de la ubicación relativa del vehículo respecto a los objetos de su entorno. Cuando se combina con los datos de otros sensores convencionales, esta nueva información permite una navegación segura y confiable para vehículos pilotados y autónomos, algo que no está disponible en la actualidad. Esta información para la navegación crítica (velocidad respecto a la tierra, altura sobre la superficie, inclinación y balanceo relativos a la superficie, ángulo de ataque, ángulo de deslizamiento lateral, alcance con relación a otros objetos, y velocidad de otros objetos) actualmente no está disponible a partir de mediciones directas, en tiempo real de sensores remotos con la exactitud y resolución necesarias para la navegación segura y confiable.

III. Modalidades de la invención que pueden usarse para Entornos Denegados por GPS

En una modalidad, el NRS 44 usa un sistema LIDAR coherente con un director de haz estático 62 para medir la velocidad y la distancia del marco de referencia del vehículo 24 con relación al marco de referencia universal 22 en una o más direcciones, de manera que puedan usarse dichas mediciones de velocidad y distancia por el Procesador Doppler de Alcance 42 y el Procesador de Ubicación 34 para determinar los parámetros de planificación, orientación, navegación y control. El NRS 44 usa un emisor de ancho de línea estrecho 48 modulado por un generador de forma de onda 50 para proporcionar una señal transmitida al marco de referencia universal 22 y un Oscilador Local 54 que va al receptor 58. La señal del transmisor se alinea con el receptor 58 mediante el alineador óptico 56 y apunta al marco de referencia universal 22 mediante el director de haz estático 60.

En una modalidad de la presente invención, se emplea un Sensor de Alcance de Área y Velocidad (ARVS) 46 para determinar la ubicación y la velocidad de uno o más objetivos 20. El objetivo 20 puede ser otra aeronave, un edificio, personal o uno o más objetos.

En una modalidad de la invención, el Sensor de Referencia para la Navegación (NRS) 44 puede utilizar un receptor GPS, o una cámara y un mapa de navegación relativa al terreno, o un rastreador de estrellas para obtener su ubicación inicial.

El ARVS 46 usa un sistema LIDAR coherente con un director de haz dinámico 76 para medir la velocidad y la distancia del marco de referencia del vehículo 24 con relación a un marco de referencia del objetivo 26 en una o más direcciones, de manera que las mediciones de velocidad y distancia puedan usarse por el Procesador Doppler de Alcance 42 y el Procesador de Ubicación 34 para determinar los parámetros de planificación, orientación, navegación y control. El ARVS 46 usa un emisor de ancho de línea estrecho 48 modulado por un generador de forma de onda 50 para proporcionar una señal transmitida a un objetivo 20 y un Oscilador Local 54 que va al receptor 58. La señal del transmisor se alinea con el receptor 74 mediante el alineador óptico 72 y apunta a un objetivo 20 mediante el director de haz dinámico 76.

En una modalidad, el Sensor de Ubicación Absoluta (ALS) 38 se usa para determinar una ubicación absoluta en el marco de referencia universal de un vehículo o plataforma 12 a ciertos intervalos. El ALS 38 proporciona la solución inicial para el procesador de ubicación. Los métodos alternativos para obtener una ubicación de inicio incluyen el uso de un receptor GPS, una cámara de coincidencia del terreno, un sistema LIDAR y/o un rastreador de estrellas.

En una modalidad, uno o más sensores de rumbo 36 proporcionan la orientación absoluta al marco de referencia universal 22 del vehículo 12. Los sensores de rumbo 36 indican la dirección de desplazamiento con respecto al marco de referencia universal 22. Los métodos alternativos para determinar la dirección de desplazamiento con relación a algún marco de referencia incluyen el uso de una brújula, un rastreador de estrellas o un sistema de coincidencia del terreno.

ES 2 951 990 T3

Una modalidad usa un temporizador para medir la duración del desplazamiento durante períodos de velocidad y rumbo constantes. La exactitud del reloj se maneja por la necesidad de precisión en la ubicación que se está determinando. Los errores de temporización se traducen directamente en errores de ubicación. Cada usuario tiene sus propios requisitos sobre la exactitud de la ubicación y, por lo tanto, sobre la exactitud del temporizador. El reloj tiene un nivel de precisión y exactitud que son suficientes para cumplir con los requisitos de error de navegación.

Los requisitos de error de navegación del usuario determinan la exactitud y precisión del reloj o temporizador. Dado que la ubicación viene dada por el producto de la velocidad y el tiempo, el error de ubicación se relaciona linealmente con los errores del reloj para una velocidad determinada.

El Procesador Doppler de Alcance 42 combina la información de desplazamiento Doppler de los receptores de desplazamiento Doppler en el NRS 44 y el ARVS 46.

Uno o más procesadores demodulan, filtran y convierten las señales recolectadas en el dominio del tiempo en frecuencias desde donde se recupera la información del contenido espectral. Esta información incluye desplazamientos de frecuencia Doppler que son proporcionales a la velocidad del objetivo y frecuencias de banda lateral que son proporcionales a la distancia a un objetivo. El Procesador Doppler de Alcance contiene una o más unidades de procesador de computadora (CPU). Una de estas CPU puede lograr la tarea de filtrado, mientras que otra demodula la señal.

El Procesador de Ubicación 34 y su algoritmo 96 combinan datos de rumbo, alcance, velocidad y temporización y ubicaciones anteriores de varios sensores (orientación, navegación y computadora de control).

Cada NRS y ARVS 46 incluye un emisor de ancho de línea estrecho, que es una fuente de radiación electromagnética coherente con un controlador de ancho de línea tal como una rejilla o un filtro. El ancho de línea de la fuente proporciona la limitación de exactitud para las mediciones de alcance y velocidad. El ancho de línea del emisor se refiere a la distribución espectral de las frecuencias instantáneas centradas alrededor de la frecuencia primaria pero que contienen amplitudes más pequeñas a ambos lados, por lo tanto reduce la coherencia del emisor. Una modalidad del emisor es un láser semiconductor con un filtro espectral intracavitario de ganancia limitada.

En una modalidad de acuerdo con la invención, el ancho de línea es de 100 kHz o menos:

$$f = c / \lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/seg} \text{ dividido por } 1,5 \times 10^{-6} \text{ m} = 200 \text{ THz};$$

o 1 parte en 10-12. Este ancho de línea es escalable con la frecuencia del emisor.

Un generador de forma de onda manipula la frecuencia, la fase o la amplitud del emisor para servir como método de interrogación o comunicación con la onda portadora. La modulación de frecuencia, fase o amplitud se realiza al aplicar perturbaciones en el tiempo o en el espacio, a lo largo de la trayectoria del emisor, ajustando por lo tanto la forma de onda. Una modalidad del modulador es un cristal electroóptico. Una segunda modalidad del modulador es un cristal acústico-óptico. Otra modalidad del modulador son las variaciones de corriente o temperatura de un emisor.

El modulador crea una frecuencia portadora modulada espectralmente pura que tiene un aumento de frecuencia lineal idéntico (parte 1 en 103) en función del tiempo, a partir del cual las mediciones de distancia se realizan completamente en el dominio de la frecuencia.

Una modalidad utiliza un Receptor de Desplazamiento Doppler de señal/ruido muy alto. El desplazamiento de frecuencia Doppler de la radiación reflejada por los objetivos, planos o referencias en movimiento se obtiene en el dominio de la frecuencia mediante el uso de receptores de desplazamiento Doppler. En estos receptores, el campo electromagnético de la señal a detectarse se combina con un segundo campo electromagnético denominado Oscilador Local 70. El campo del oscilador local es muy grande en comparación con el campo recibido, y su ruido de disparo domina todas las demás fuentes de ruido. El ruido de disparo espectralmente coherente del oscilador local sirve como un amplificador de ancho de banda estrecho para la señal, proporcionando una relación señal/ruido muy alta, superando la relación señal/ruido de los receptores de detección directa más comunes. El alto grado de coherencia obtenido por el Emisor de Ancho de línea Estrecho 64 y el Oscilador Local 70 evita que la luz lateral o la radiación electromagnética del emisor externo sean detectadas por el Receptor 74. Esta capacidad única permite una alta detección de señal a ruido incluso en entornos electromagnéticos de tráfico muy alto. Cada Receptor 58 y 74 obtienen una medida única de distancia y velocidad a lo largo de su línea visual de apuntamiento. En esta modalidad, la alta relación señal/ruido es generalmente superior a 10:1.

En una modalidad, los receptores de los sensores se alinean ópticamente con los emisores.

La alineación óptica de la dirección de la radiación electromagnética entre el transmisor 68 y el receptor 74 permite a la radiación transmitida reflejada por el objetivo capturarse por el receptor 74. Cada vehículo tendrá un alcance diferente de espacio angular en base a sus necesidades. Es necesario usar más de un emisor cuando hay más de un

grado de libertad de traslación. Un tren tiene un grado de libertad traslacional. Un automóvil tiene dos grados y un avión o una nave espacial tiene tres.

En una modalidad de la invención, el director de haz típicamente se fija en el NRS 44, pero es móvil en el ARVS 46. El director de haz determina hacia dónde apunta la radiación transmitida y, por lo tanto, determina un alcance a un objetivo 20 seleccionado. El director de haz transmite y recolecta la radiación de retorno. Hay al menos un director de haz en el NRS y el ARVS. Hay un director de haz para cada haz. Para una aeronave, hay al menos tres directores de haz estático individuales. Para un automóvil, hay al menos dos. Hay tantos directores de haz dinámicos como sean necesarios para el conocimiento de la situación.

En una modalidad, un vehículo 12 lleva la combinación de hardware y/o software que se emplea para implementar la invención. En una modalidad, el vehículo 12 es un helicóptero o alguna otra aeronave. En otra modalidad, el vehículo 12 puede basarse en tierra, como un automóvil o un camión. En otra modalidad, el vehículo 12 puede ser un satélite en órbita. En otra implementación alternativa de la invención, la combinación de hardware y/o software que se usa para operar la invención puede instalarse en una plataforma estacionaria, tal como un edificio o un poste de servicios públicos.

En una modalidad, el Sensor de Alcance de Área y Velocidad (ARVS 46) puede utilizar un sistema LIDAR de tiempo de vuelo de escaneo, o un sistema de destello LIDAR de tiempo de vuelo, o un número de cámaras con fotogrametría.

En una modalidad, el Sensor de Ubicación Absoluta 38 puede incluir un receptor GPS. En otra modalidad, el Sensor de Ubicación Absoluta 38 puede incluir una cámara y un mapa de navegación relativa al terreno.

El sensor de rumbo 36 puede implementarse al usar una brújula, un rastreador de estrellas, un sistema de coincidencia del terreno o una unidad de medición inercial.

El temporizador puede comprender cualquier oscilador con suficiente exactitud para cumplir con los requisitos de navegación y un contador.

El Procesador Doppler de Alcance (RDP) 42 puede incluir cualquier microprocesador que sea capaz de combinar la información de desplazamiento Doppler de los receptores de desplazamiento Doppler en el NRS 44 y el ARVS 46. Estas funciones incluyen la demodulación, el filtrado y la conversión de las señales recolectadas en el dominio del tiempo en las frecuencias desde donde se recupera la información del contenido espectral. Esta información incluye desplazamientos de frecuencia Doppler proporcionales a la velocidad del objetivo, y la distancia al objetivo.

La salida de los receptores de desplazamiento Doppler (58 y 74) se demodula. El receptor de desplazamiento Doppler o detector óptico demodula la forma de onda óptica que retorna del objetivo 20 al mezclarse con el Oscilador Local 54 (además una forma de onda óptica con la misma (llamada homodina) o casi la misma (llamada heterodina) frecuencia). Cuando se demodula la salida de los receptores de desplazamiento Doppler, luego se determina el contenido espectral de la salida del receptor en un alcance limitado. La etapa de demodulación mueve o elimina las frecuencias del espectro que no son deseadas y permite a la señal procesarse. Esta etapa estrecha el alcance de las frecuencias donde las siguientes etapas buscan y determinan específicamente las frecuencias de la señal.

En las varias modalidades, el procesador de ubicación 34 puede ser cualquier microprocesador que sea capaz de combinar los datos de rumbo, alcance, velocidad, temporización y ubicación previa de los varios sensores (orientación, navegación y computadora de control).

En una modalidad, el Emisor de Ancho de línea Estrecho (NLE) es un láser semiconductor combinado con un filtro intracavitario. En otra modalidad, puede emplearse un láser de fibra con una rejilla incrustada. En otras modalidades, el NLE puede incluir un láser de estado sólido con control activo de la longitud de la cavidad, un sistema RADAR o una fuente de microondas.

En las varias modalidades, el generador de forma de onda o el generador de forma de onda puede utilizar un cristal electroóptico, un cristal acústico-óptico o un control láser directo con temperatura. El generador de forma de onda controla el contenido de la frecuencia del haz transmitido. La frecuencia del láser puede cambiarse al cambiar la temperatura del láser. La frecuencia del láser puede cambiarse además al cambiar la corriente a través del láser.

En una modalidad, el receptor de desplazamiento Doppler, que se selecciona de modo que proporcione una relación señal/ruido muy alta, incluye un interferómetro, un detector de borde de filtro, un detector homodino o un detector heterodino.

Un circuito de alineación óptica que se usa para implementar la invención puede ofrecer un control fijo o activo. Puede emplearse cualquier circuito que sea capaz de alinear los haces emitidos por el transmisor y recolectados por el receptor.

Al implementar las varias modalidades, el director de haz puede diseñarse de modo que incluya un telescopio, un espejo de escaneo, conjuntos microelectromecánicos de espejos, conjuntos en fase, una rejilla o un prisma. El lidar Doppler usa un láser oscilador maestro de amplitud constante con una forma de onda modulada de frecuencia lineal (LFM) aplicada. Al igual que en el radar convencional, el Lidar de onda continua (CW) es muy bueno para realizar mediciones Doppler, pero es fundamentalmente incapaz de medir el alcance a menos que la forma de onda se module de alguna manera. Para mantener la operación CW, el D-LIDAR usa la modulación de frecuencia para este propósito. Por lo tanto, el propósito principal de la forma de onda LFM es obtener mediciones de alcance además de las mediciones Doppler.

La Figura 22 representa el contenido de frecuencia de la forma de onda transmitida y recibida asociada en función del tiempo. Este ejemplo muestra D-LIDAR mediante el uso de una forma de onda FMCW para mediciones precisas de alcance, actitud y velocidad, aunque podrían usarse otros emisores y formas de onda. La forma de onda transmitida (trazo azul) consta de una frecuencia que aumenta linealmente con una pendiente de B/T, donde B es el ancho de banda total de la forma de onda, y T es la duración de la rampa. Luego se mantiene constante durante la misma duración T, y finalmente se disminuye linealmente en frecuencia de nuevo durante la misma duración T con una pendiente de -B/T. Las señales recibidas (verde) se retrasan en el tiempo debido al tiempo de ida y vuelta del vuelo de la luz hacia y desde el objetivo y se desplazan en frecuencia hacia arriba o hacia abajo en proporción a la velocidad del objetivo por el efecto Doppler. Una fracción de la luz transmitida sirve como oscilador local de referencia (LO), y esta luz se mezcla con la luz entrante del objetivo en el detector del receptor. La fotocorriente resultante a la salida del detector oscila en la diferencia entre las frecuencias ópticas transmitidas y recibidas. Estas frecuencias intermedias (IF), ilustradas en la Figura 22 en rojo en función del tiempo se digitalizan y procesan para obtener las medidas de distancia y velocidad deseadas.

Cabe destacar que el alcance es independiente del desplazamiento Doppler. La porción no modulada de la forma de onda sirve para proporcionar una segunda medición independiente de la frecuencia Doppler que se genera directamente a partir del movimiento relativo del sensor y el objetivo. La velocidad relativa (o radial) v_r del objetivo con respecto a un Lidar de longitud de onda del láser transmisor λ , obedece a la relación

$$v_r = \frac{\lambda}{2 \cos \theta} f_d \quad (1)$$

donde el ángulo θ es el ángulo total entre la línea de visión Lidar y el vector de velocidad. La frecuencia Doppler medida tiene un ancho espectral finito que finalmente determina la exactitud de la medición y puede expresarse por

$$\Delta f_d = -\frac{2v_r \sin(\gamma) \Delta \gamma}{\lambda} \quad (0,2)$$

Donde Δf_d es el ancho del espectro de media potencia, y $\Delta \gamma$ es el ancho del haz en la dirección γ . A partir de esta ecuación, uno puede calcular fácilmente la mejora de la exactitud que se proporciona por un radar láser tal como el D-LIDAR.

En resumen, el alcance relativo R y la velocidad radial v_r (1) entre el D-LIDAR y el objetivo se obtiene al identificar tres frecuencias de señal:

f_d, f_{IF}^+, f_{IF}^- , que son separables en el tiempo. El D-LIDAR mide estas tres frecuencias a lo largo de LOS de cada uno de sus telescopios.

Para el caso especial cuando al menos tres medidas de velocidad LOS independientes están disponibles simultáneamente, se determina un vector de velocidad relativa. Este vector de velocidad proporciona un conocimiento completo de la velocidad relativa y la dirección del movimiento entre el sensor y el objetivo.

Desde el marco de referencia del sensor, el objetivo (tierra o pista de aterrizaje) se mueve a una velocidad que tiene una magnitud $|\vec{V}|$ y una dirección $\vec{V} = v_x \hat{x} + v_y \hat{y} + v_z \hat{z}$ luego las velocidades LOS (radiales) medidas de ese objetivo son $M_A, M_B,$ y M_C para los canales A, B y C respectivamente, y se obtienen a partir de los productos punto de los vectores unitarios de apuntamiento del haz D-LIDAR (conocidos a priori) y el vector de velocidad:

$$\begin{bmatrix} M_A \\ M_B \\ M_C \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \quad (0,3)$$

La ecuación (0,3) proporciona tres ecuaciones que incluyen las velocidades LOS medidas, así como también los tres componentes de velocidad desconocidos v_x , v_y , y v_z , que describen el vector de velocidad de interés y, por lo tanto, pueden resolverse simultáneamente con gran exactitud.

5 Igualmente, para el caso especial donde al menos tres mediciones de distancia LOS independientes están disponibles simultáneamente, la geometría se reduce de tal manera que la altura medida no es una función de la actitud (y, por lo tanto, la incertidumbre de la actitud), y puede estimarse la actitud relativa de la superficie.

Cálculos de medición de la altura

10 El cálculo de la altura del vehículo sobre el nivel de la tierra (AGL) es un ejercicio sencillo de análisis vectorial. La Figura 23 es una representación vectorial del D-LIDAR. En esta figura, la actitud del marco de referencia del sensor con relación al marco de referencia de la tierra es arbitraria. Los vectores OA, OB y OC son vectores conocidos que corresponden a tres haces láser D-LIDAR designados como canales A, B y C, respectivamente, de magnitud igual al alcance medido por cada haz y dirección definida por el diseño del sensor. O es un punto que corresponde al origen del marco de referencia D-LIDAR y los vectores AB, BC y CA forman el plano de la tierra P. La magnitud y dirección de estos vectores se obtienen a partir de los vectores conocidos OA, OB y OC:

$$\begin{aligned} AB &= OB - OA \\ BC &= OC - OB \\ CA &= OA - OC \end{aligned} \quad (0,4)$$

25 N se define como el vector unitario normal del plano P dado por el producto cruzado de dos vectores cualesquiera en P:

$$N = \frac{BC \times AB}{|N|} \quad (0,5)$$

M se define como un vector mediano que se origina en O y es paralelo al eje z del marco de referencia D-LIDAR. La magnitud de M es R_M . El vector M se define como

$$M = R_M \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} = -R_M \hat{z} \quad (0,6)$$

La amplitud del vector mediano R_M se encuentra al observar que el vector diferencia (M-OA) es un vector que se encuentra en el plano de la tierra P, y por lo tanto puede resolverse a partir de:

$$N \cdot (M - OA) = N \cdot (-R_M \hat{z} - OA) = 0 \quad (0,7)$$

Una vez R_M se conoce, y reconociendo que la altura H es paralela a N, la altura del vehículo sobre el plano P se calcula a partir de

$$H = R_M \cdot \left(\frac{N \cdot M}{|N| \cdot |M|} \right) \quad (0,8)$$

60 Observe que este cálculo de la altura no requiere ninguna información adicional de otros sensores (incluidas las IMU). Si los tres haces intersectan el plano de la tierra, la medición de la altura es la distancia más corta al plano de la tierra. Por el contrario, cuando se mide la altura mediante el uso de un telémetro láser, la altitud se obtiene mediante la medición del alcance y la actitud del vehículo medida por una IMU.

Actitud relativa del plano de la tierra

65 Dada la geometría del telescopio apuntando dentro del marco de referencia del sensor como se muestra en la Fig. 23, el plano de referencia de la tierra se conoce de acuerdo con su vector unitario normal N, puede obtenerse la actitud del marco de referencia del sensor con relación a ese plano de referencia de la tierra. La actitud del vehículo se refiere

al balanceo (α), que es la rotación del vehículo a lo largo del eje x, inclinación (β), rotación a lo largo del eje y y guiñada (γ), rotación a lo largo del eje z como se ilustra en la Figura 24. La descripción del marco de referencia del sensor puede realizarse mediante el uso de una de las convenciones de conjunto de 24 ángulos que mejor simplifica las soluciones para balanceo, inclinación y guiñada para este sistema.

El cálculo del rumbo con relación a la dirección del movimiento puede obtenerse después de aplicar la rotación del balanceo e inclinación al vector de velocidad. Después de la corrección en el balanceo e inclinación, el ángulo de deslizamiento lateral (SSA) viene dado por

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right) \quad (0,9)$$

Dónde V_x y V_y corresponden a las componentes rotadas del vector velocidad. Suponiendo que los ejes x de la plataforma y del sensor sean idénticos, puede darse un parámetro similar para el ángulo de aproximación (AoA), que se define como el ángulo formado por el eje x de la plataforma y la dirección de desplazamiento:

$$AoA = \tan^{-1} \left(\frac{V_z}{V_x} \right)$$

(0,10)V. Descripciones Detalladas de las Modalidades Alternativas de la Invención que pueden usarse en combinación con Vehículos Convencionales y/o Autónomos

A. Las Figuras 13-21

La Figura 13 muestra un automóvil que navega por una ciudad grande donde las señales GPS no están disponibles. El Sensor de Referencia mejora esta navegación. La Figura 13 muestra además el Sensor de Área que proporciona la información para la navegación local sobre peligros al sondear otros vehículos u objetos con haces que se mueven esencialmente de manera horizontal a la tierra.

La Figura 14 muestra un automóvil que pierde el control en un giro y luego se recupera. Esta recuperación del control es posible debido a que nuestro sistema de Sensores de Referencia y Área junto con otros sensores ya disponibles como una IMU, cámaras, etc. permiten que el automóvil se mantenga en rotación y traslación y, por lo tanto, use sus mecanismos de control para recuperarse de manera segura.

La Figura 15 muestra una pantalla que puede usarse en el vehículo que se muestra en la Figura 13.

La Figura 16 muestra otra pantalla que puede emplearse en el vehículo en la Figura 14.

La Figura 17 representa la medición de la ubicación, la velocidad y la dirección de los vehículos en los alrededores de una intersección. Los automóviles autónomos tienen la capacidad de recibir datos como estos de fuentes externas para permitir una mejor gestión del flujo de tráfico.

La Figura 18 muestra el campo de visión de los Sensores de Área montados en la parte superior de los parabrisas frontales y traseros desde una vista lateral.

La Figura 19 muestra el campo de visión de los Sensores de Área montados en la parte superior de los parabrisas frontales y traseros desde una vista superior.

La Figura 20 es una vista de un vehículo combinado con conocimiento de la situación y evasión de peligros.

La Figura 21 muestra el Sensor de Referencia usado para aterrizar en una plataforma móvil como la cubierta de un barco. Permite que el sistema de control realice un aterrizaje suave al seguir la distancia y la velocidad de la cubierta con respecto al helicóptero.

B. Descripción de las modalidades alternativas

Las Figuras 13-21 generalmente proporcionan ilustraciones esquemáticas de aplicaciones de modalidades alternativas. Las Figuras 13-20 se refieren a vehículos 12 que generalmente se desplazan, se trasladan o de cualquier otra manera se mueven sobre, cerca o debajo de la tierra, mientras que la Figura 21 se refiere a la interacción de los vehículos transportados por agua y por aire 12. Todos los vehículos 12 que se muestran en las Figuras 13-21 y se describen en la Sección II de la Descripción Detallada, tales como automóviles, autobuses, camiones, trenes, metros

u otros medios de transporte cercanos a la superficie, pueden utilizar alguna combinación de elementos de la Invención que se muestran en las Figuras 1-12 y descritos en las Secciones I, II, III y IV de la Descripción Detallada.

5 Todos los vehículos 12 que se muestran en las Figuras 13-21 y se describen en la Sección V de la Descripción Detallada proporcionan beneficios de navegación mejorados específicos a los usuarios de vehículos convencionales y/o sin conductor que se obtienen solo a través de la implementación y combinación con los elementos de la Invención que se muestran en las Figuras 1-12 y descritos en las Secciones I, II, III y IV de la Descripción Detallada.

10 En el caso de los vehículos terrestres tales como automóviles y camiones, pueden instalarse varias implementaciones y/o variaciones del hardware del sistema de navegación que se muestra en las Figuras 1-12 cerca de un motor, dentro de un compartimiento de pasajeros, en áreas de almacenamiento de carga, o en algún otro espacio adecuado. Este hardware del sistema de navegación se conecta a sensores, emisores, antenas u otros elementos de transmisión y/o recepción mediante cables conductores, fibras, enlaces inalámbricos u otras vías de datos adecuadas. Algunos o todos estos sensores, emisores, antenas u otros elementos de transmisión y/o recepción pueden montarse, incrustarse o de cualquier otra manera fijarse, acoplarse o unirse a superficies o estructuras apropiadas de un vehículo, o en superficies y/o estructuras cercanas, tales como carreteras, puentes, autovías, autopistas, terraplenes, bermas, rampas, cabinas de peaje, pasarelas, alcantarillas de drenaje, vallas, paredes, vías, túneles, estaciones, plataformas, señalización, señales de tráfico, motocicletas, bicicletas, peatones, mascotas, animales, plazas de aparcamiento, bocas de incendio, tomas de agua, edificios u otras instalaciones, accesorios, electrodomésticos, equipos, cables, peligros u objetos.

25 Se apreciará que pueden usarse otros sistemas vehiculares (autónomos, de asistencia al conductor o de cualquier otra manera) en combinación con las modalidades de la presente invención, que incluyen advertencia de colisión frontal, frenado automático, advertencia de cambio de carril, prevención de cambio de carril, detección de puntos ciegos, faros adaptables, y sistemas de conducción automatizados que usan tecnología de control avanzada para hacer frente a todas las situaciones de conducción hasta los límites dinámicos del vehículo.

30 Se apreciará que además del uso de las señales combinadas del ARVS y el NRS para la determinación de la ubicación y la navegación, los dos sistemas respectivos también proporcionan beneficios al otro. El ARVS mejora el rendimiento del NRS debido a que 1) puede identificar objetos conocidos que proporcionen mejor información sobre la ubicación absoluta; 2) además mejora la navegación solo con NRS debido a que puede identificar y ayudar a evitar objetos desconocidos y, por lo tanto, ayuda a determinar la ruta óptima.

35 El NRS mejora el ARVS debido a que con él 1) el ARVS puede determinar la posición absoluta de objetos y peligros y, por lo tanto, contribuir al mapeo que puede usarse en un momento posterior, por ejemplo, en el viaje de retorno o por otro vehículo; 2) además proporciona contexto al ARVS para permitir escaneos del entorno más inteligentes. Un escaneo del entorno más inteligente podría ser más rápido, más barato, más pequeño, mejor, de menor potencia, más exacto, más inteligente en el sentido de que logra el objetivo del sistema de sensores de la manera que necesita el diseñador. Uno de los problemas clave hoy en día con los vehículos autónomos es la gran cantidad de información que necesita procesarse (que cuesta \$, energía, peso). Un escaneo más inteligente podría reducir la cantidad de procesamiento necesario para una operación segura y confiable.

Aplicabilidad industrial

45 El Sistema de Navegación para Entornos Denegados por GPS proporcionará un aparato y métodos para obtener la posición, orientación, ubicación, altura, velocidad, aceleración u otra información geodésica, de calibración o de medición en entornos sin GPS. La presente invención proporcionará beneficios únicos para los usuarios militares, así como también para las personas en las industrias de la aviación y el transporte terrestre.

50 Lista de caracteres de referencia

	ET	Tropas Enemigas
	HZ	Zona Hostil
	LS	Sitio de aterrizaje
55	MB	Base Militar
	MR	Cadena Montañosa
	S	Satélite
	10	Sistema de navegación en un Entorno Denegado por GPS
	12	Vehículo
60	14	Porción de tierra
	16	Ruta de vuelo
	18	Marco de referencia del sistema sensor generalizado: tres dimensiones
	20	Objetivo
	22	Marco de referencia universal
65	24	Marco de referencia del vehículo en tres dimensiones
	26	Marco de referencia del objetivo en tres dimensiones

ES 2 951 990 T3

	27	Marco de referencia del sistema sensor generalizado: dos dimensiones
	28	Marco de referencia del vehículo en dos dimensiones
	30	Marco de referencia del objetivo en dos dimensiones
	32	Diagrama esquemático de un vehículo generalizado
5	34	Procesador de ubicación
	36	Sensor de rumbo
	38	Sensor de ubicación absoluta
	40	Temporizador
	42	Procesador Doppler de alcance
10	44	Sensor de referencia para la navegación
	46	Sensor de Alcance de Área y Velocidad
	48	Emisor de ancho de línea estrecho
	50	Generador de forma de onda
	52	Transmisor
15	54	Oscilador local
	56	Alineador óptico de la transmisión/recepción
	58	Receptor
	60	Director de haz estático
	62	Haces del director de haz estático
20	64	Emisor de ancho de línea estrecho
	66	Generador de forma de onda
	68	Transmisor
	70	Oscilador local
	72	Alineador óptico de la transmisión/recepción
25	74	Receptor
	76	Director de haz dinámico
	78	Haces del director de haz dinámico
	79	Diagrama de flujo para el procesador Doppler de Alcance
	82	Demodular la salida del receptor
30	84	Determinar el contenido espectral
	86	Discriminar las frecuencias de la señal del ruido
	88	Obtener la velocidad a partir de la frecuencia de la señal
	90	Obtener la distancia desde la frecuencia de la señal
	92	Convertir las frecuencias de alcance y velocidad a unidades de ingeniería
35	94	Enviar los datos al procesador de ubicación
	96	Diagrama de flujo para el Procesador de Ubicación
	98	Obtener el alcance y la velocidad del marco de referencia universal
	100	Obtener la actitud y el rumbo del marco de referencia universal con relación al marco del sensor
40	102	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad)
	104	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco del vehículo con relación al marco de referencia universal
	106	Obtener el alcance y la velocidad del objetivo en el marco de referencia del vehículo
	108	Obtener la actitud y el rumbo de un objetivo con relación al marco de referencia del vehículo
45	110	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad)
	112	Aplicar la transformación de traslación/rotación del objetivo con relación al marco de referencia universal
	114	Pantallas de piloto/navegador
50	116	Velocidad relativa de la superficie: V_x
	118	Velocidad relativa de la superficie: V_y
	119	Velocidad relativa de la superficie: V_z
	120	Altura relativa de la superficie
	122	Ángulo de la ruta de vuelo
55	124	Velocidad
	126	Ángulo de ataque
	128	Ángulo de inclinación relativo de la superficie
	130	Atributos de navegación
	132	Ángulo de deslizamiento lateral
60	134	Ángulo de balanceo relativo de la superficie
	136	Método LIDAR coherente
	138	Emisor de ancho de línea estrecho
	140	El generador de forma de onda produce una salida de emisor modulada
	142	La salida de emisor modulada dividida en dos rutas
65	144	La forma de onda del transmisor se amplifica
	146	La forma de onda del oscilador local se transmite al receptor

ES 2 951 990 T3

	148	La forma de onda transmitida al objetivo y el haz de retorno se recibe por el director de haz
	150	Las señales recibidas se mezclan con el oscilador local
	152	Las señales se procesan para obtener la distancia y la velocidad
	154	Datos proporcionados al procesador de ubicación
5	156	Algoritmo para determinar la ubicación actual
	158	Obtener la posición actual desde las fuentes internas o externas
	160	Iniciar el reloj y el movimiento del vehículo
	162	Determinar el rumbo
	164	NRS mide la velocidad del vehículo
10	166	ARVS mide el alcance y la velocidad relativa de los objetos
	168	Calcular la nueva posición del vehículo
	170	Calcular la nueva posición de otros objetos
	172	Enviar los datos a la computadora GN&C
	82	Demodular la salida del receptor
15	84	Determinar el contenido espectral
	86	Discriminar las frecuencias de la señal del ruido
	88	Obtener la velocidad a partir de la frecuencia de la señal
	90	Obtener la distancia desde la frecuencia de la señal
	92	Convertir las frecuencias de alcance y velocidad a unidades de ingeniería
20	94	Enviar los datos al procesador de ubicación
	96	Diagrama de flujo para el Procesador de ubicación
	98	Obtener el alcance y la velocidad del marco de referencia universal
	100	Obtener la actitud y el rumbo del marco de referencia universal con relación al marco del sensor
	102	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad)
25	104	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco del vehículo con relación al marco de referencia universal
	106	Obtener el alcance y la velocidad del objetivo en el marco de referencia del vehículo
	108	Obtener la actitud y el rumbo de un objetivo con relación al marco de referencia del vehículo
30	110	Aplicar la transformación de traslación/rotación del marco de la caja del sensor al marco del vehículo (centro de gravedad)
	112	Aplicar la transformación de traslación/rotación del objetivo con relación al marco de referencia universal
	114	Pantallas de piloto/navegador
35	116	Velocidad relativa de la superficie: V_x
	118	Velocidad relativa de la superficie: V_y
	119	Velocidad relativa de la superficie: V_z
	120	Altura relativa de la superficie
	122	Ángulo de la ruta de vuelo
40	124	Velocidad
	126	Ángulo de ataque
	128	Ángulo de inclinación relativo de la superficie
	130	Atributos de navegación
	132	Ángulo de deslizamiento lateral
45	134	Ángulo de balanceo relativo de la superficie
	136	Método LIDAR coherente
	138	Emisor de ancho de línea estrecho
	140	El generador de forma de onda produce una salida de emisor modulada
	142	La salida de emisor modulada dividida en dos rutas
50	144	La forma de onda del transmisor se amplifica
	146	La forma de onda del oscilador local se transmite al receptor
	148	La forma de onda transmitida al objetivo y el haz de retorno se recibe por el director de haz
	150	Las señales recibidas se mezclan con el oscilador local
	152	Las señales se procesan para obtener la distancia y la velocidad
55	154	Datos proporcionados al procesador de ubicación
	156	Algoritmo para determinar la ubicación actual
	158	Obtener la posición actual desde las fuentes internas o externas
	160	Iniciar el reloj y el movimiento del vehículo
	162	Determinar el rumbo
60	164	NRS mide la velocidad del vehículo
	166	ARVS mide el alcance y la velocidad relativa de los objetos
	168	Calcular la nueva posición del vehículo
	170	Calcular la nueva posición de otros objetos
	172	Enviar los datos a la computadora GN&C
65		

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) para proporcionar datos para la navegación de un vehículo (12), que comprende:
 - 5 un emisor de ancho de línea estrecho (64) que tiene un ancho de línea de 100 kHz o menos; un director de haz dinámico (76); dicho emisor de ancho de línea estrecho (64) que se configura para emitir una señal de onda continua modulada en una dirección dirigida por dicho director de haz dinámico para apuntar a un objetivo de interés; un sensor de alcance de área y velocidad (46) configurado para recibir un reflejo de la señal emitida;
 - 10 el sensor de alcance de área y velocidad (46) que se configura para medir la frecuencia del reflejo que retorna del objetivo para determinar el alcance y la velocidad de dicho vehículo con relación a dicho objetivo; un emisor de ancho de línea estrecho (48) adicional que tiene un ancho de línea de 100 kHz o menos; un director de haz estático (60); dicho emisor de ancho de línea estrecho (48) adicional que se configura para emitir una segunda señal de onda continua a través de dicho director de haz estático hacia un plano de referencia universal; y,
 - 15 un sensor de referencia para la navegación (44) configurado para recibir un reflejo de la segunda señal emitida y determinar la velocidad de dicho vehículo con relación a dicho plano de referencia universal.
2. El aparato (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la segunda señal de onda continua no está modulada.
- 20 3. El aparato (10) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende una pluralidad de emisores de ancho de línea de haz estrecho adicionales, el número de emisores de ancho de línea de haz estrecho adicionales que depende de los grados de libertad de movimiento del vehículo.
- 25 4. El aparato (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en donde al menos uno de los emisores de haz estrecho adicionales se configura para emitir una señal de onda continua modulada a través de un director de haz estático (60) hacia el plano de referencia universal, el sensor de referencia para la navegación (44) que se configura para recibir un reflejo de la señal modulada y determinar la distancia de dicho vehículo con relación a dicho plano de referencia universal.
- 30 5. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el o cada sensor se configura para medir el desplazamiento de frecuencia de un efecto doppler en la señal reflejada.
- 35 6. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el sensor de alcance de área y velocidad (46) comprende un receptor coherente.
7. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el o cada sensor se alinea ópticamente con el emisor.
- 40 8. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el o cada emisor es un láser.
9. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior, en donde el o cada emisor es un sistema lidar coherente.
- 45 10. El aparato (10) de cualquier reivindicación anterior cuando dependa de la reivindicación 1, que comprende además un procesador de ubicación (34) configurado para recibir los datos de la velocidad del sensor de referencia para la navegación (44), los datos del alcance y la velocidad en el objetivo del sensor de alcance de área y velocidad (46), los datos de la temporización de un reloj y los datos sobre una ubicación inicial del vehículo, el procesador de ubicación que se configura para calcular los datos para la navegación a un destino en dependencia de los datos recibidos.
- 50 11. Un método para proporcionar datos para la navegación de un vehículo (12), el vehículo (12) que tiene un plano de referencia del vehículo, el método que comprende:
 - 55 proporcionar un emisor de ancho de línea estrecho (64) que tiene un ancho de línea de 100 kHz o menos, un director de haz dinámico (76) y un receptor (74) en dicho vehículo, emitir, mediante dicho emisor de ancho de línea estrecho (64), una señal de onda continua modulada a través de dicho director de haz dinámico (76) en un objetivo de interés; recibir un reflejo de la señal emitida por el receptor (74), el receptor (74) que tiene un plano de referencia del sensor que tiene una relación conocida con el plano de referencia del vehículo;
 - 60 medir la frecuencia de la reflexión que retorna del objetivo recibido en el receptor y determinar el alcance y la velocidad de dicho vehículo con relación a dicho objetivo en dependencia del plano de referencia del sensor y el plano de referencia del vehículo; proporcionar un emisor de ancho de línea estrecho (48) adicional que tiene un ancho de línea de 100 kHz o menos, un director de haz estático (60) y un receptor (58) adicional en dicho vehículo;
 - 65 emitir, mediante dicho emisor de ancho de línea estrecho (48) adicional, una señal de onda continua no modulada a través de dicho director de haz estático hacia un plano de referencia universal; recibir, en el receptor (58) adicional, un reflejo de la segunda señal emitida; y,

determinar la velocidad de dicho vehículo con relación a dicho plano de referencia universal.

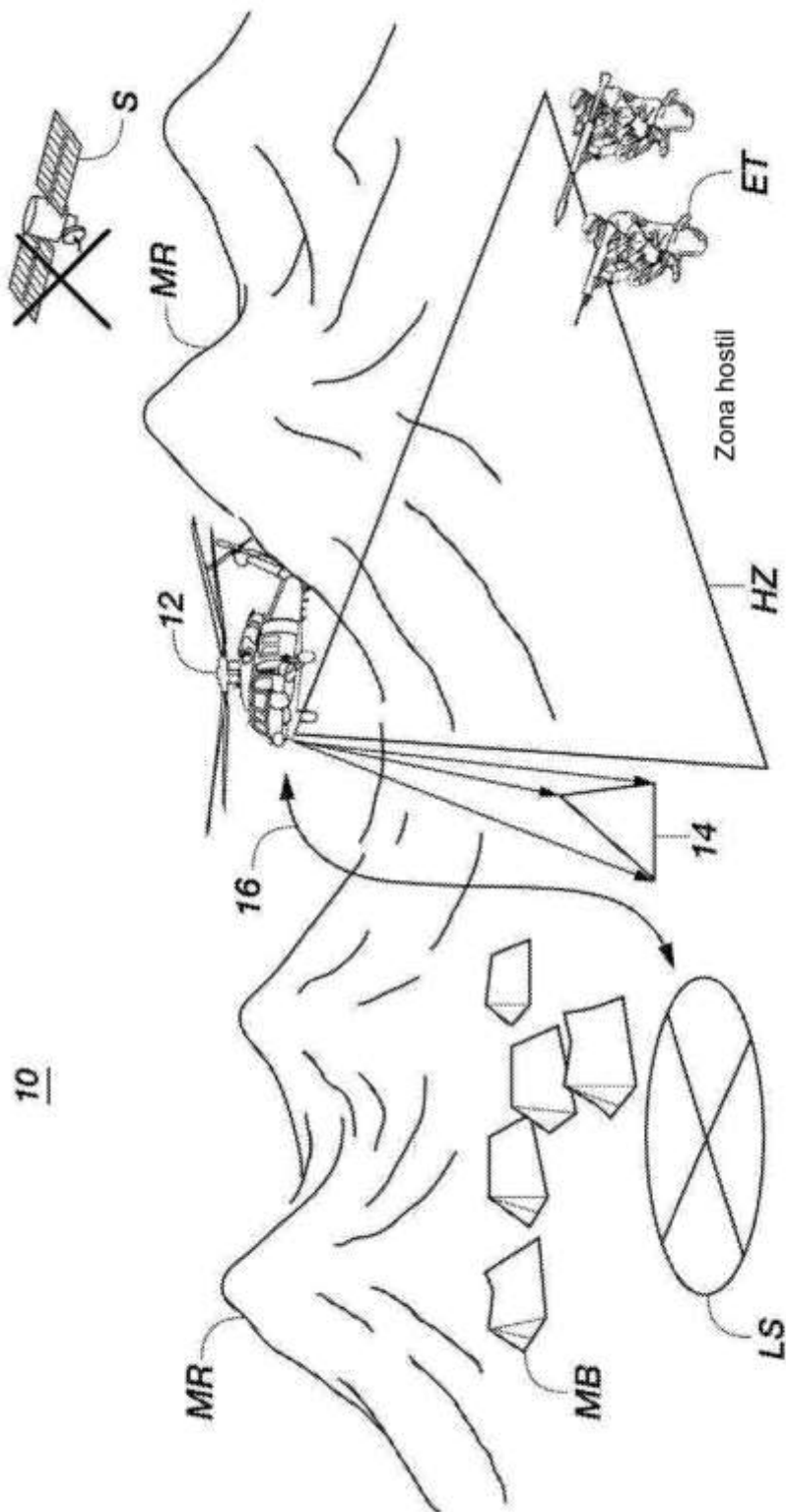
12. El método de la reivindicación 11, que comprende además:

5 proporcionar, en dicho vehículo (12), una pluralidad de emisores de ancho de línea de haz estrecho adicionales, el número de emisores de ancho de línea de haz estrecho adicionales que depende de los grados de libertad de movimiento del vehículo.

13. El método de la reivindicación 11, que comprende además:

10 modular la señal de onda continua de al menos uno de los emisores adicionales y dirigir la señal modulada a través de un director de haz estático hacia el plano de referencia universal; y, recibir un reflejo de la señal modulada en él o en un receptor adicional y determinar la distancia de dicho vehículo con relación a dicho plano de referencia universal.

15



Sitio de aterrizaje

Figura 1

Marcos de referencia generalizados del sistema de sensores

18

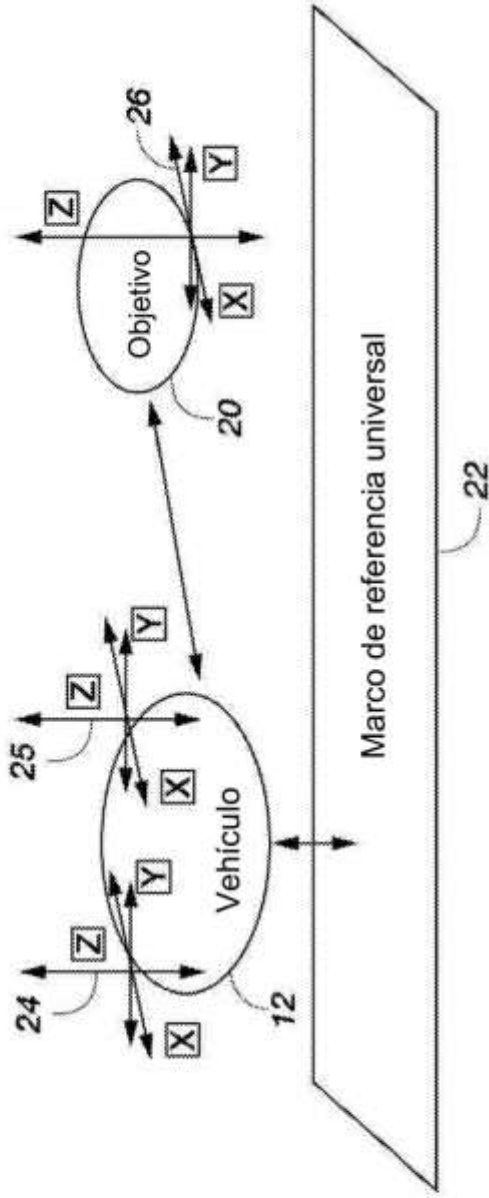


Figura 2

27

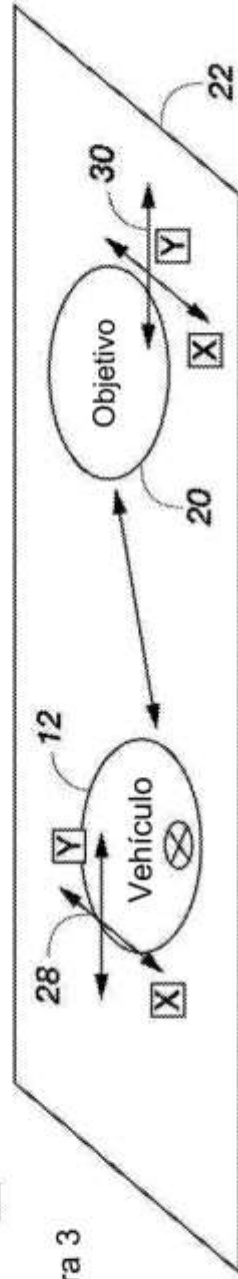


Figura 3

32 Vehículo generalizado

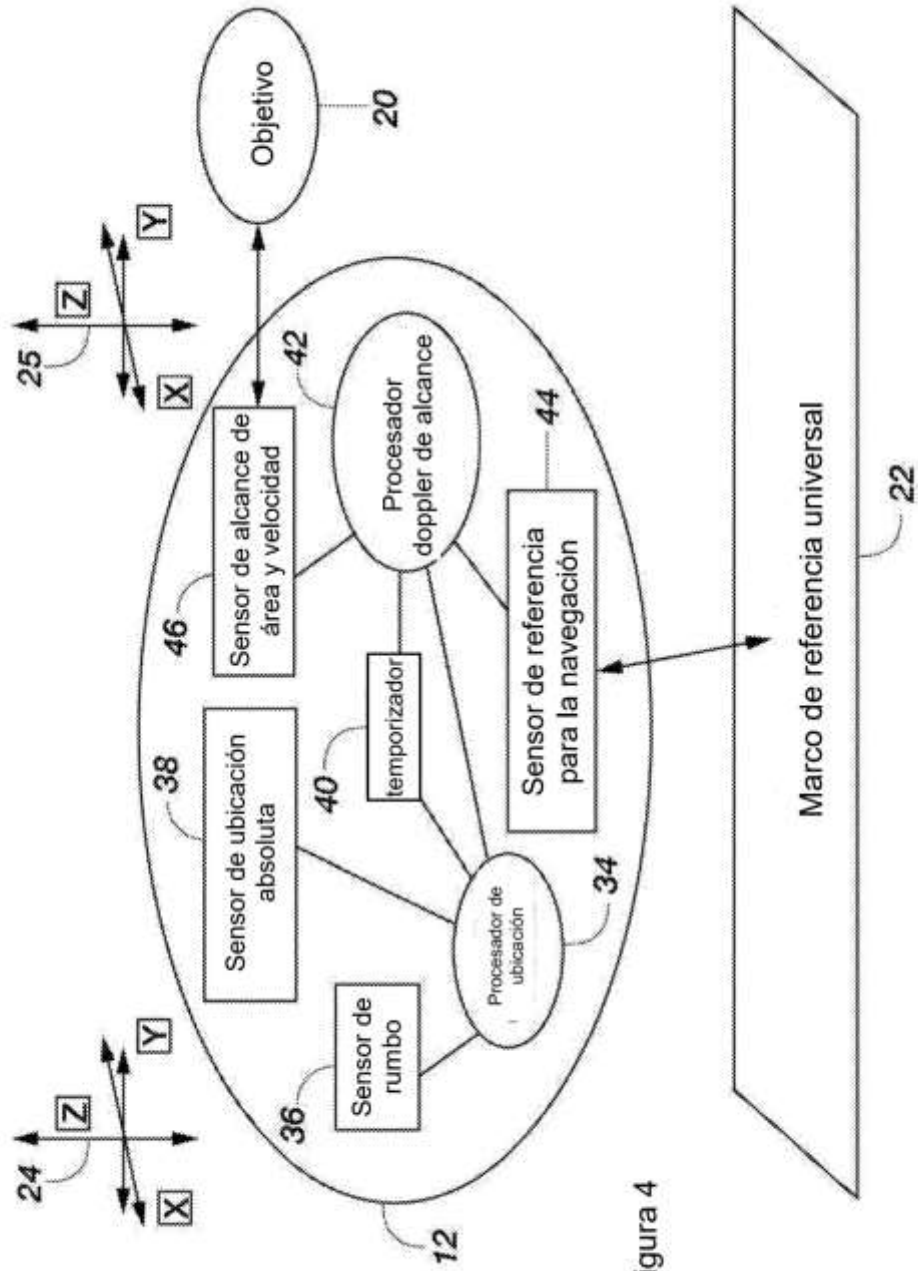


Figura 4

Sensor de Referencia para la Navegación

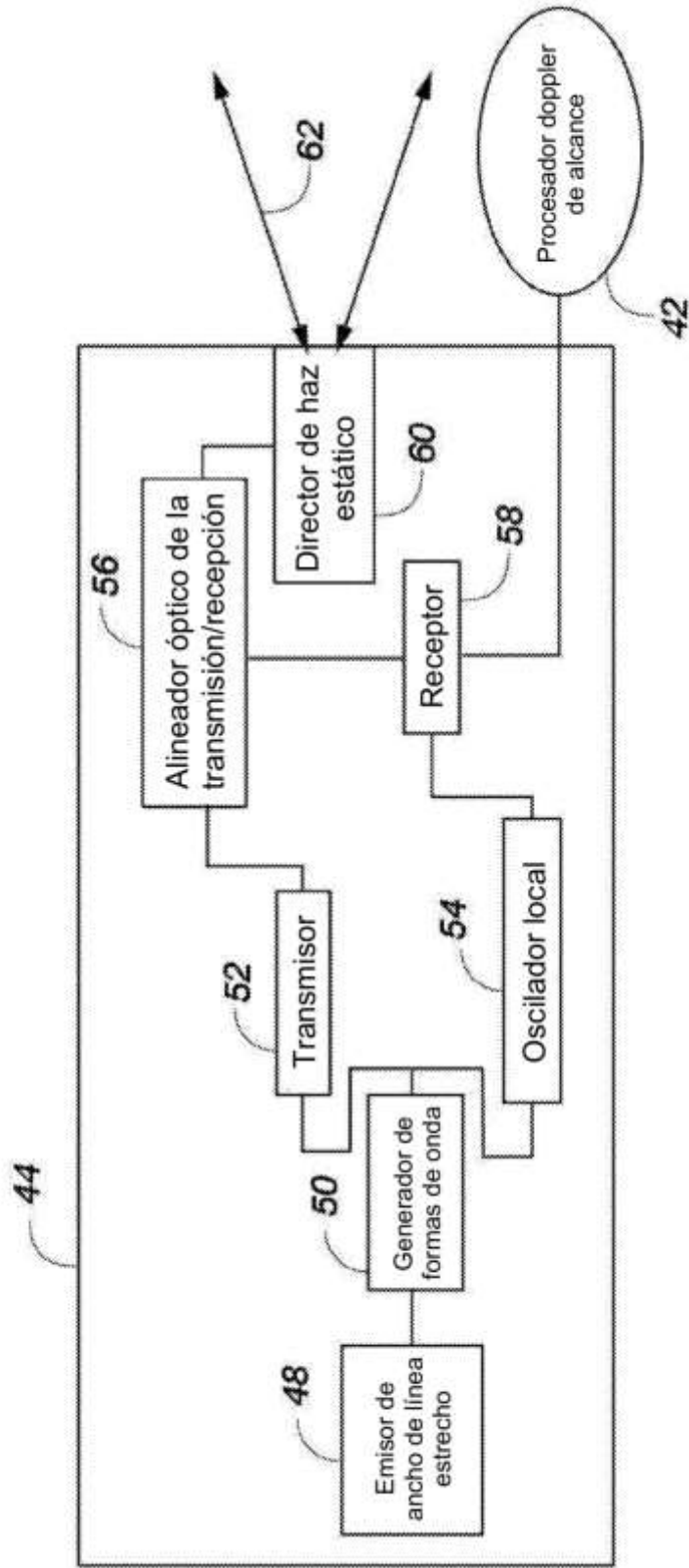


Figura 5

Sensor de Alcance de Área y Velocidad

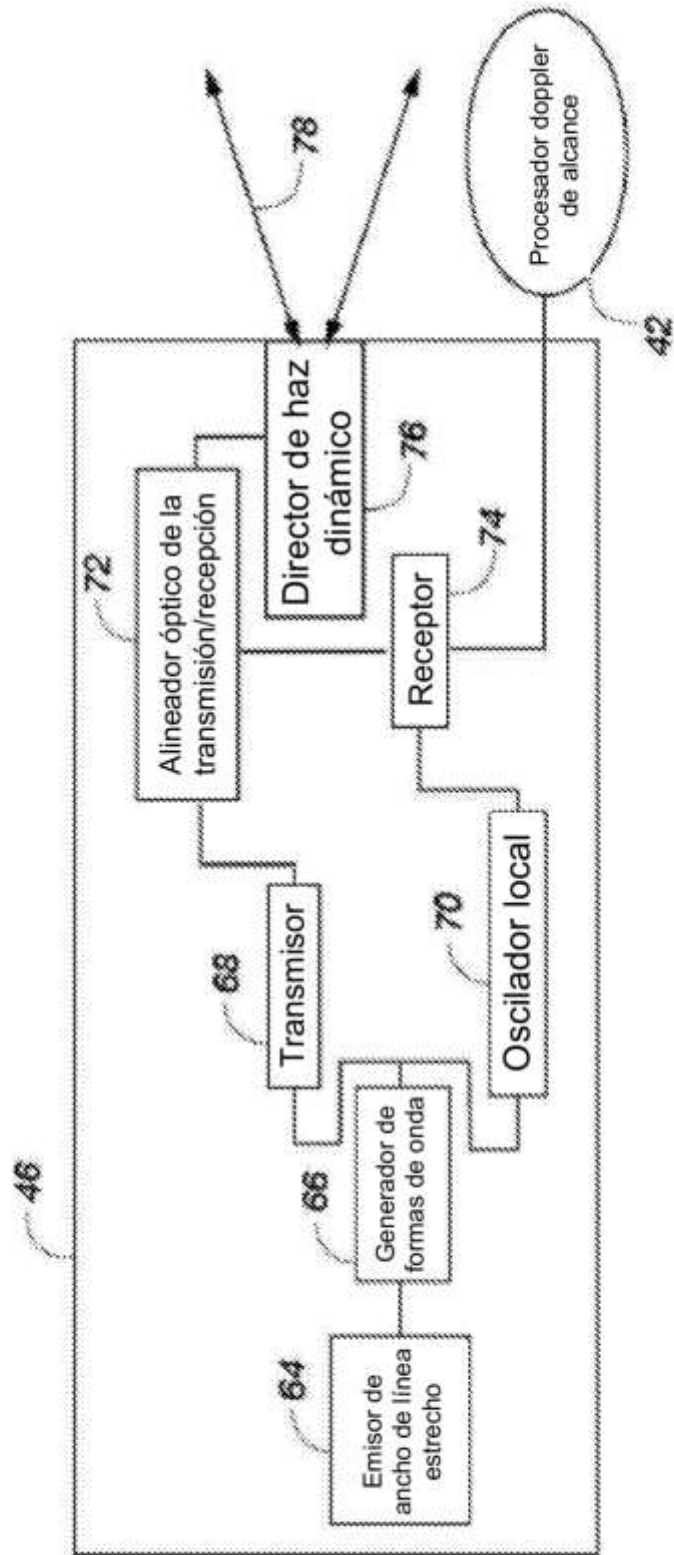


Figura 6

Método del Procesador Doppler de Alcance

79

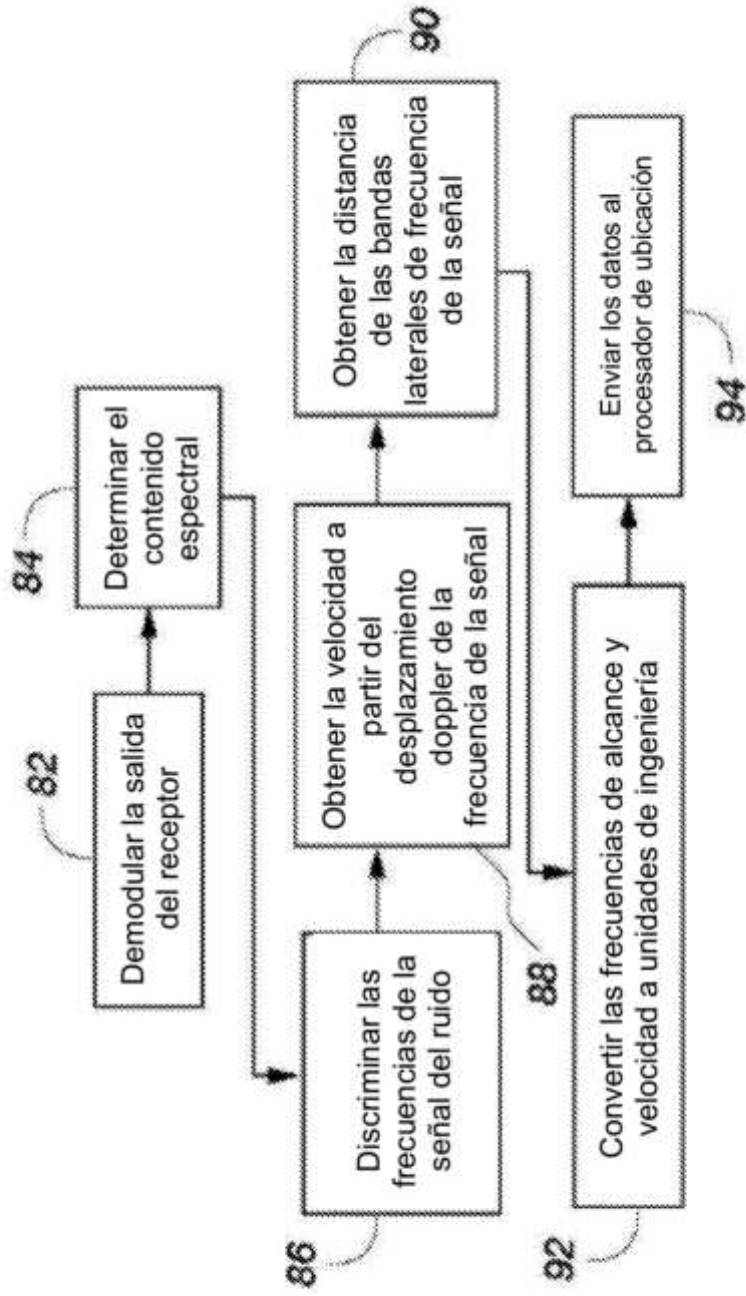


Figura 7

Etapas del método del Procesador de Ubicación

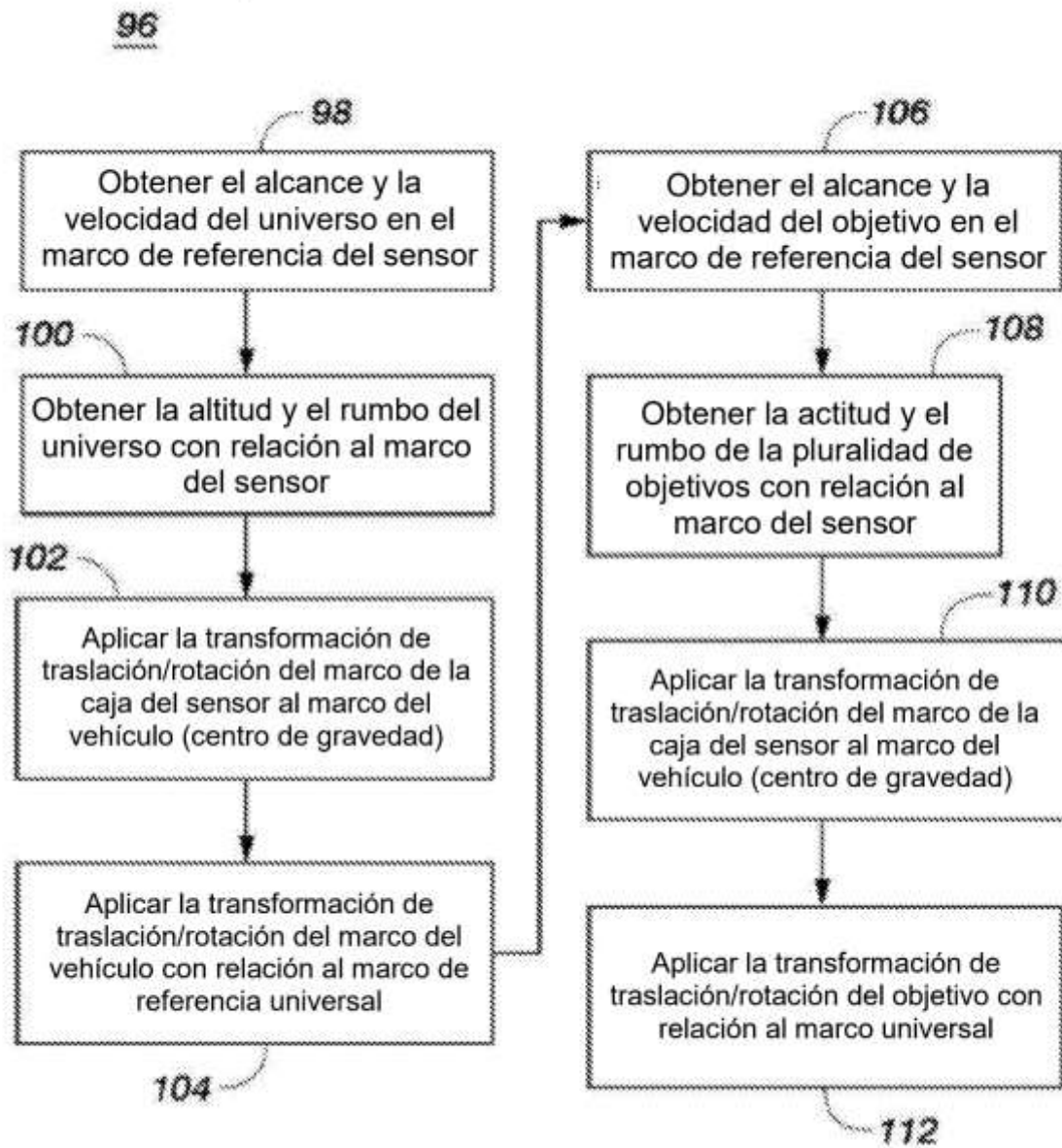


Figura 8

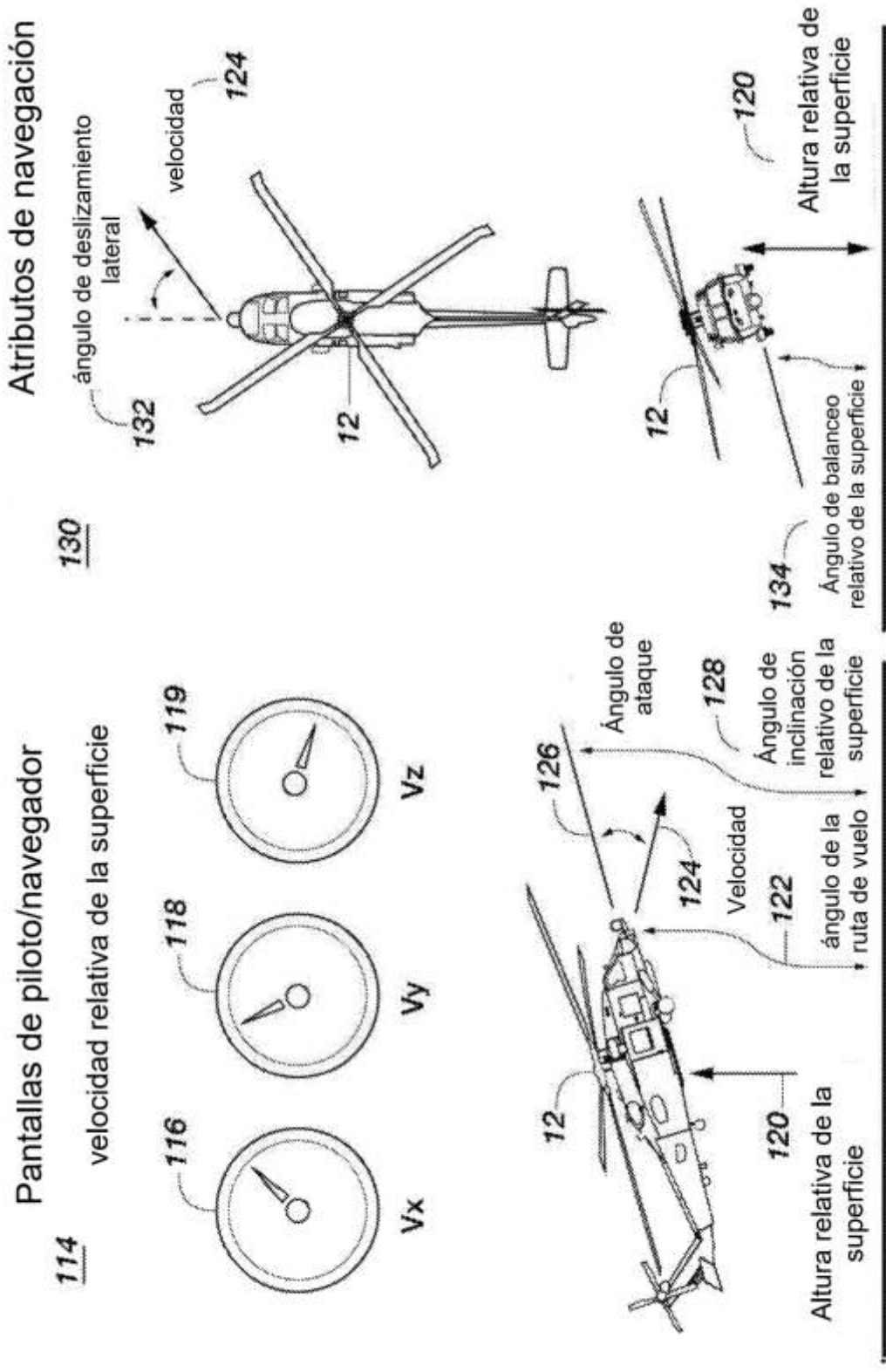


Figura 9

Figura 10

Método LIDAR coherente

136

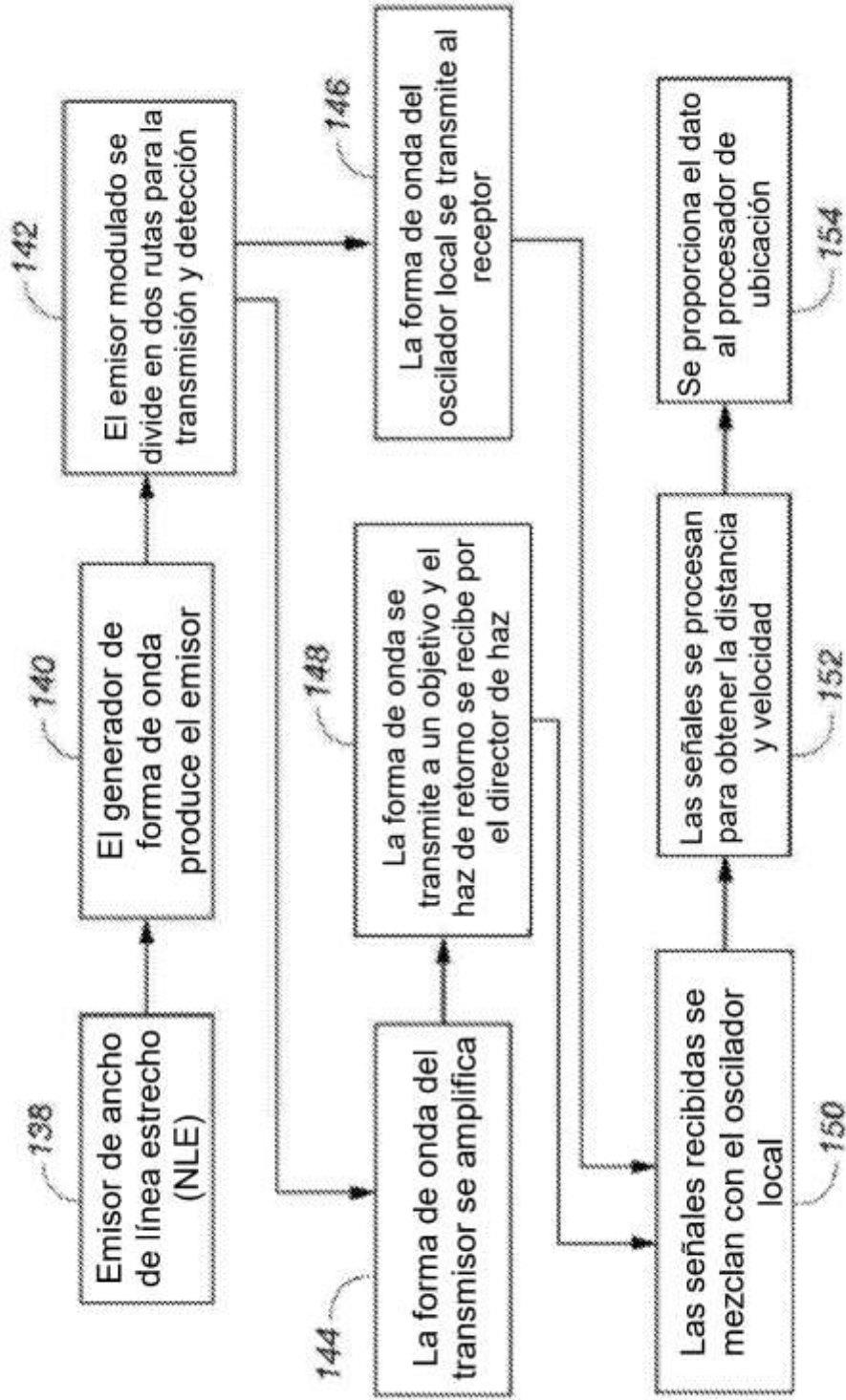


Figura 11

156 Algoritmo para determinar la ubicación actual

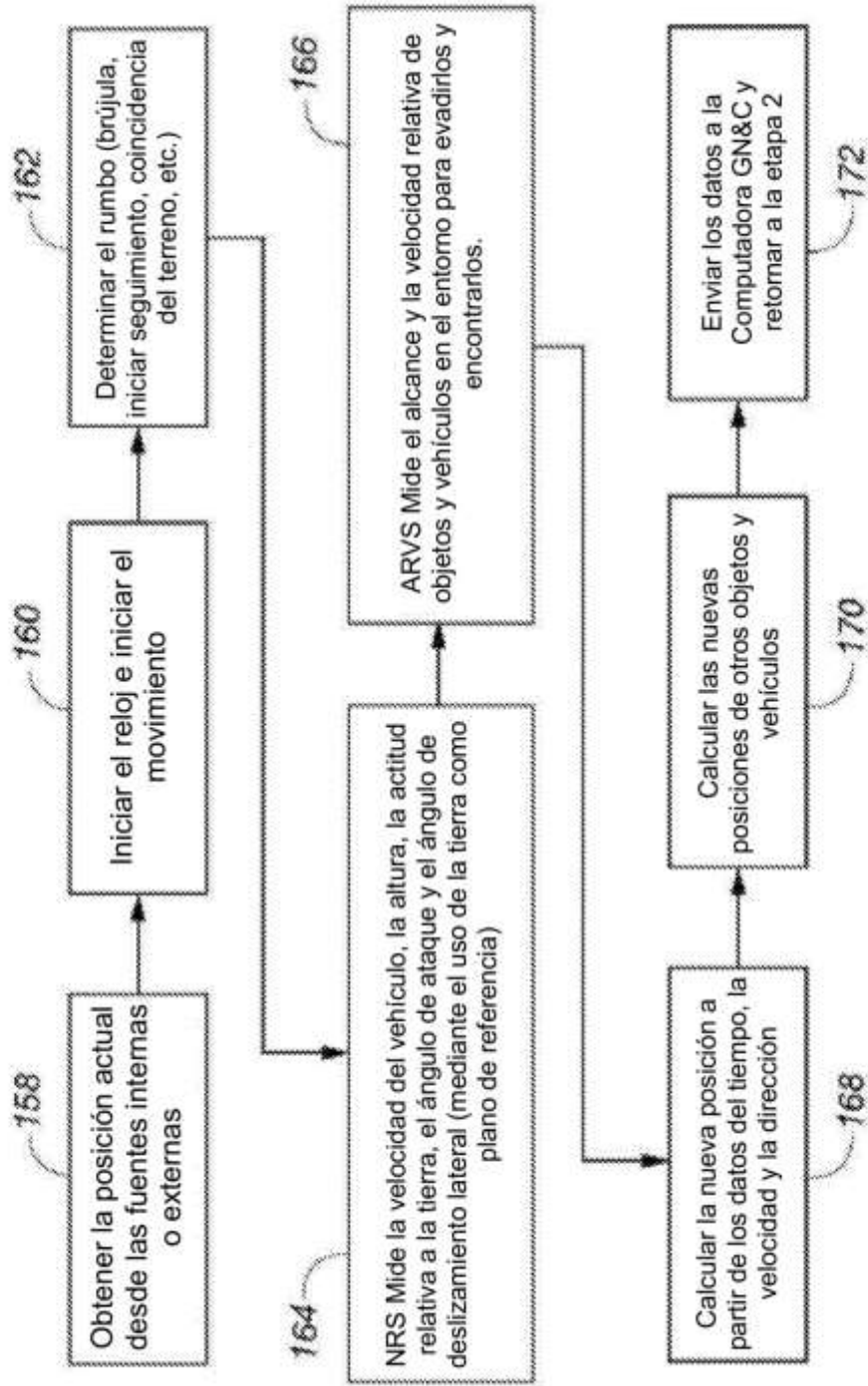


Figura 12

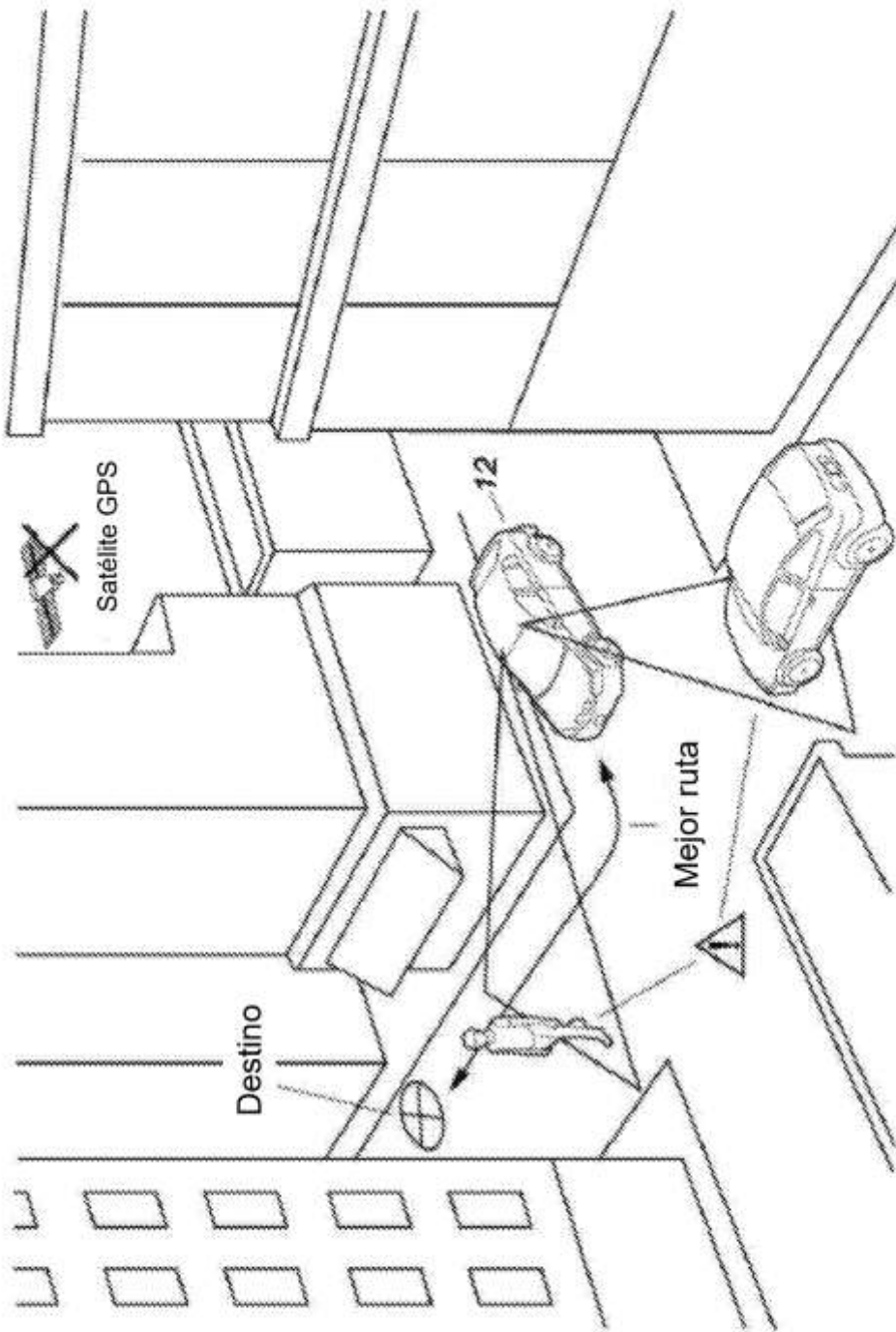


Figura 13

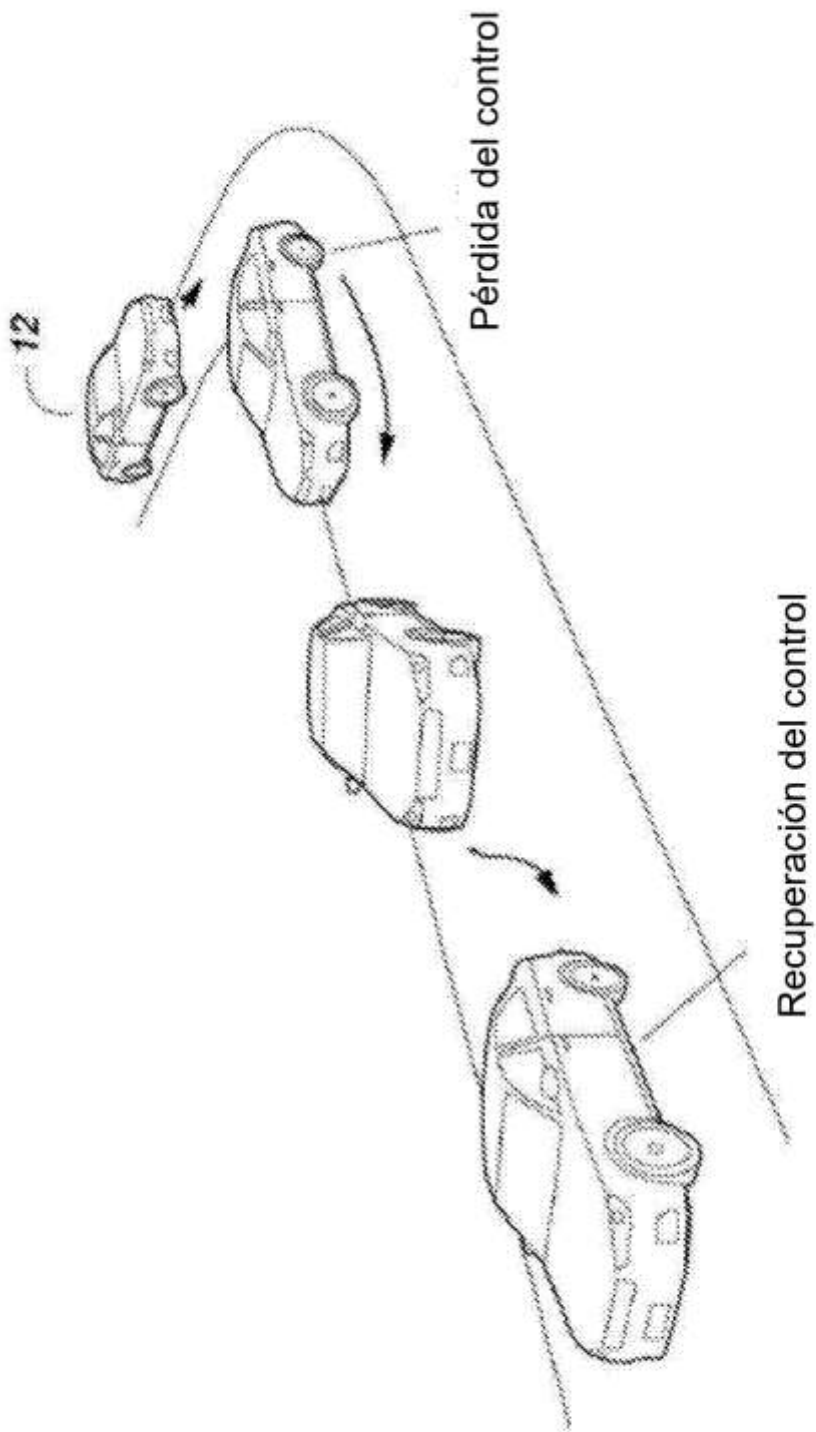


Figura 14

Pantalla de Interfaz en el Vehículo

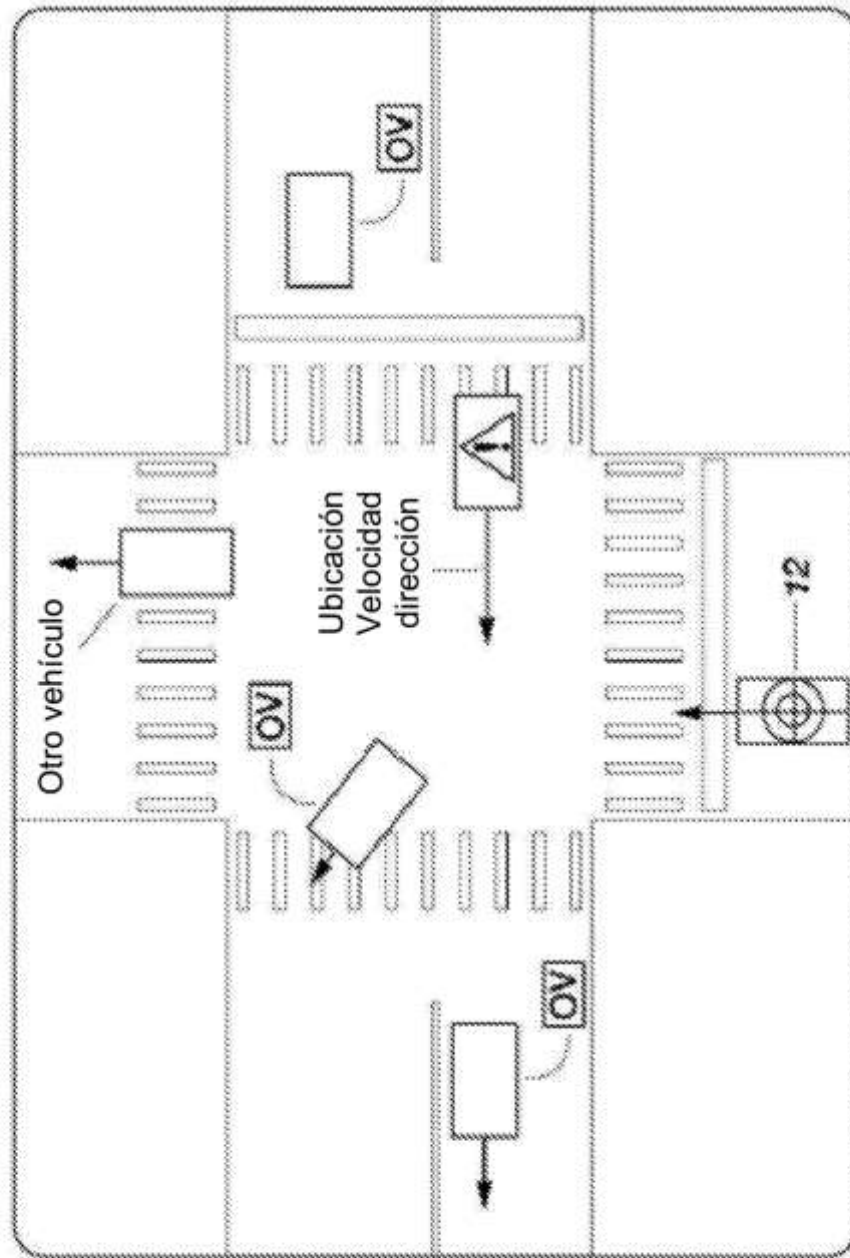


Figura 15

Pantalla de Interfaz en el Vehículo

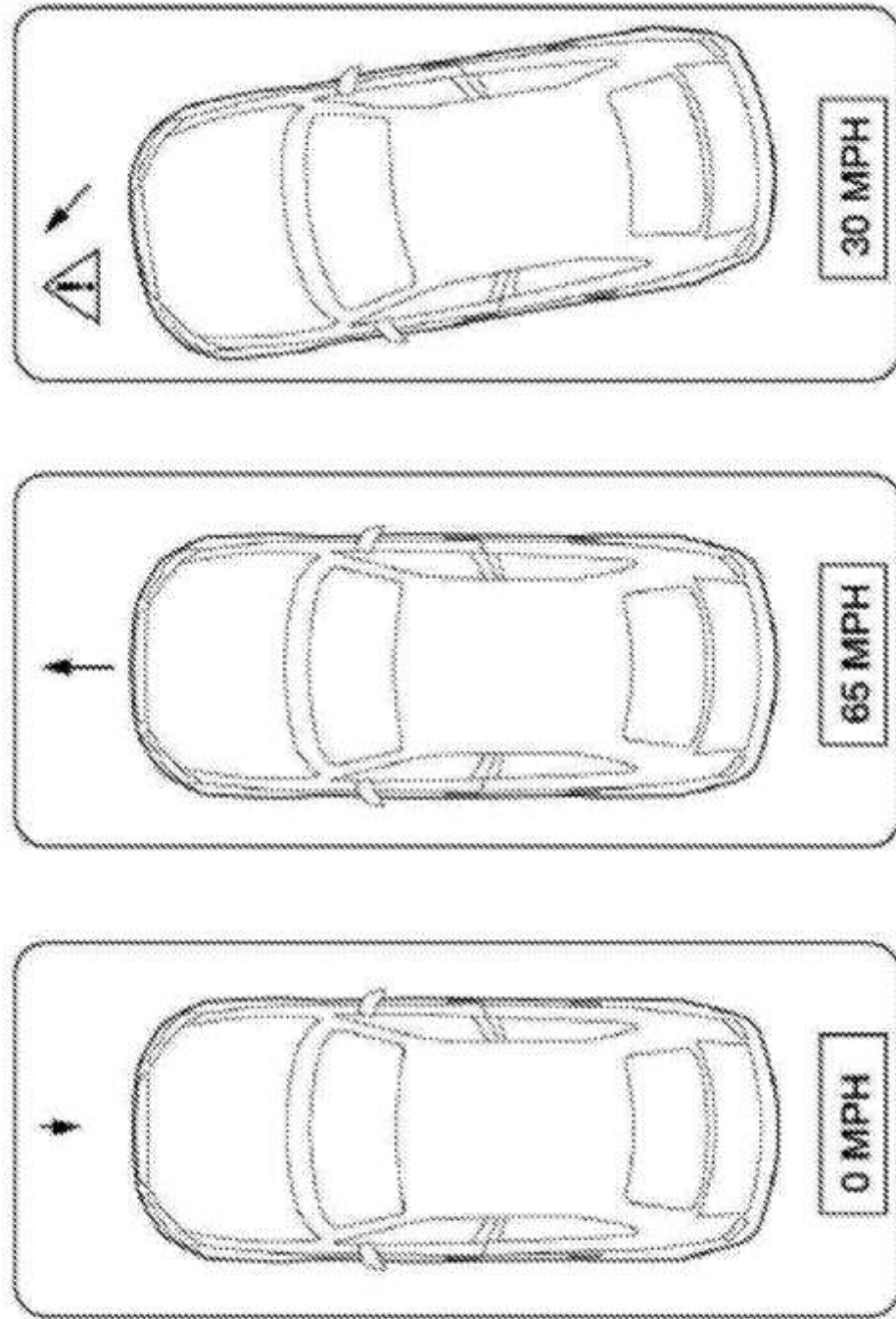


Figura 16

Conocimiento de la Situación del Área del Sistema de Transporte Inteligente

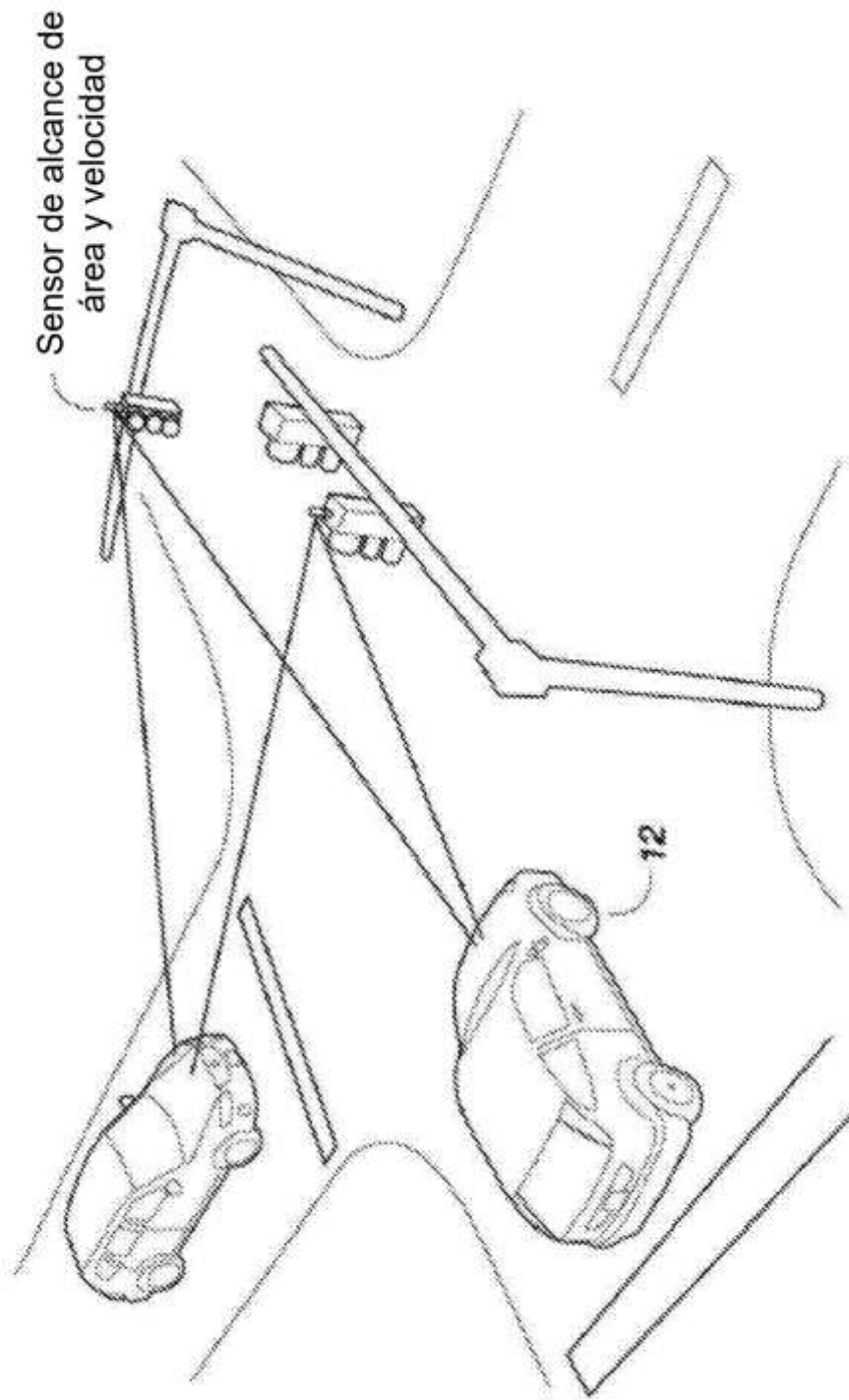


Figura 17

Conocimiento de la Situación y Evasión de Peligros

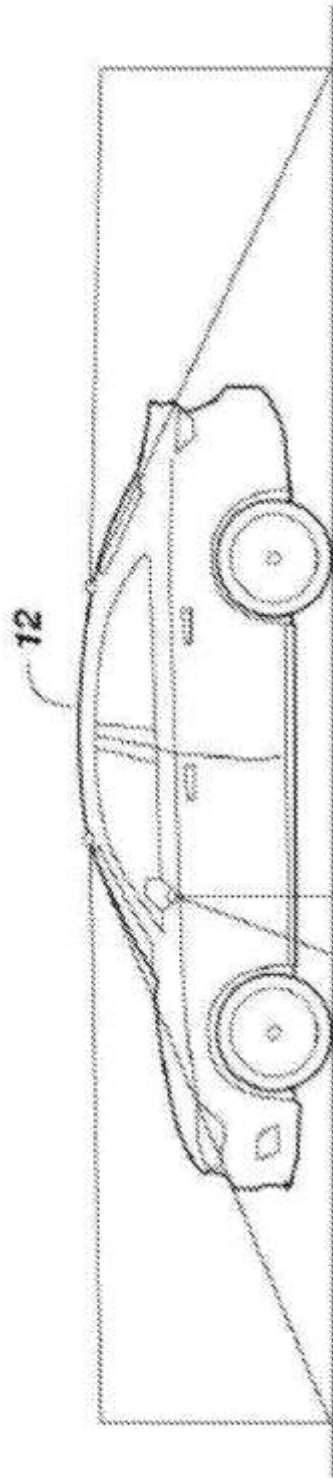


Figura 18

Conocimiento de la Situación y Evasión de Peligros

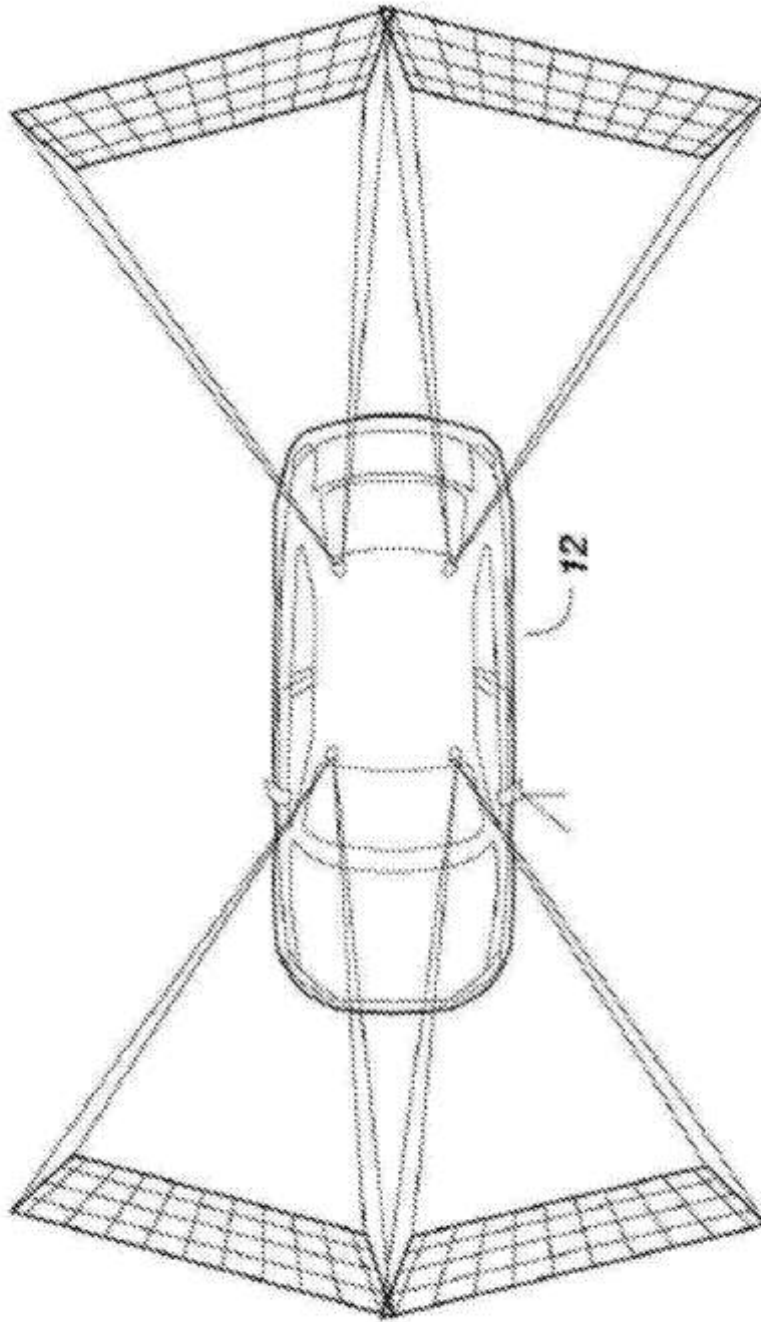


Figura 19

Conocimiento de la Situación y Evasión de Peligros

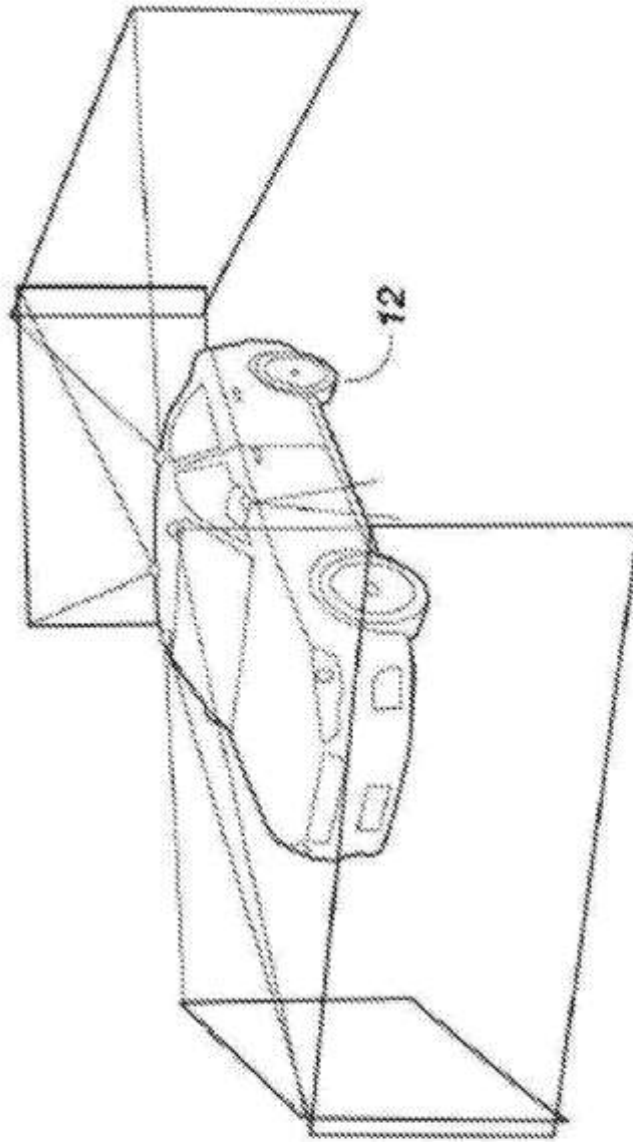


Figura 20

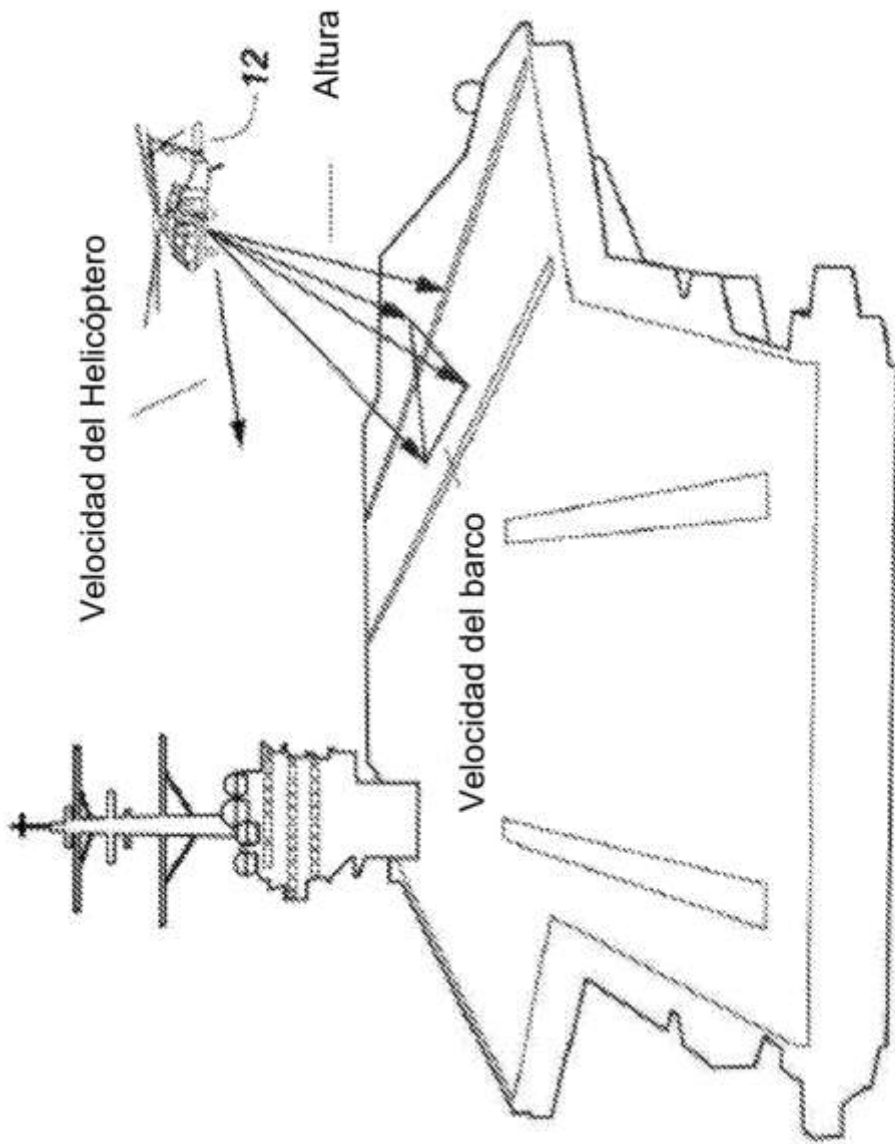


Figura 21

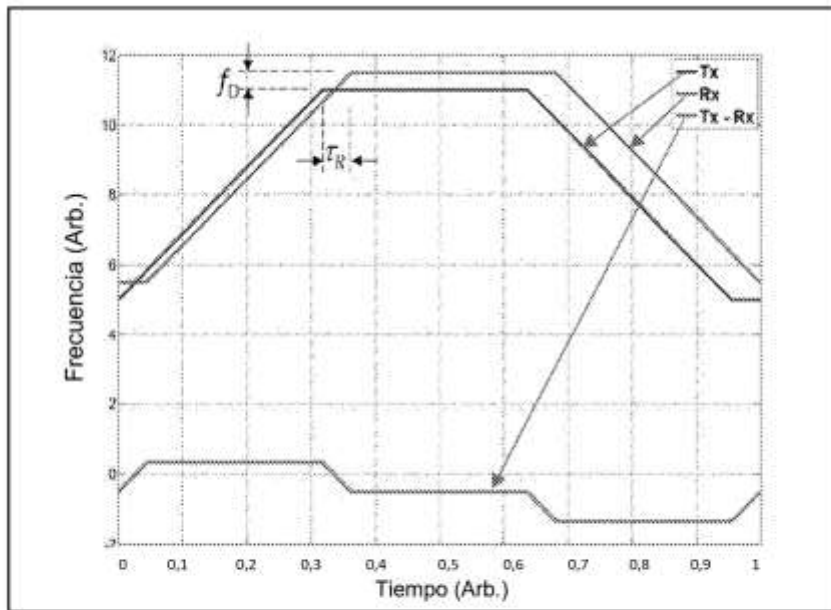


Figura 22

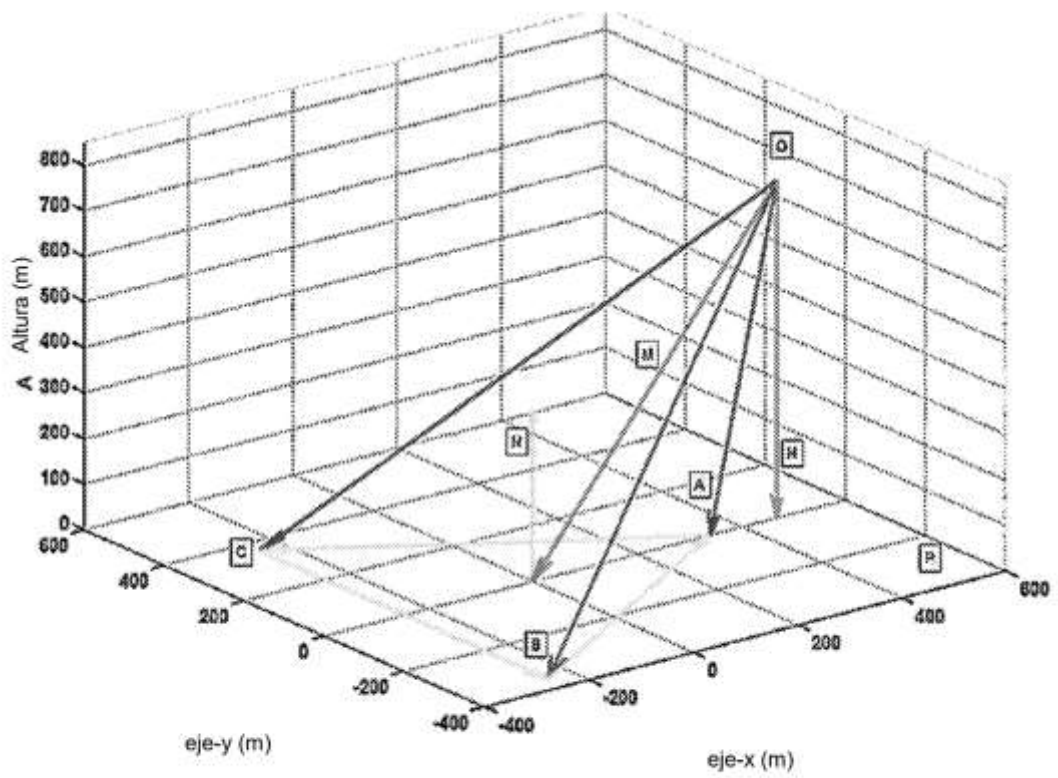


Figura 23

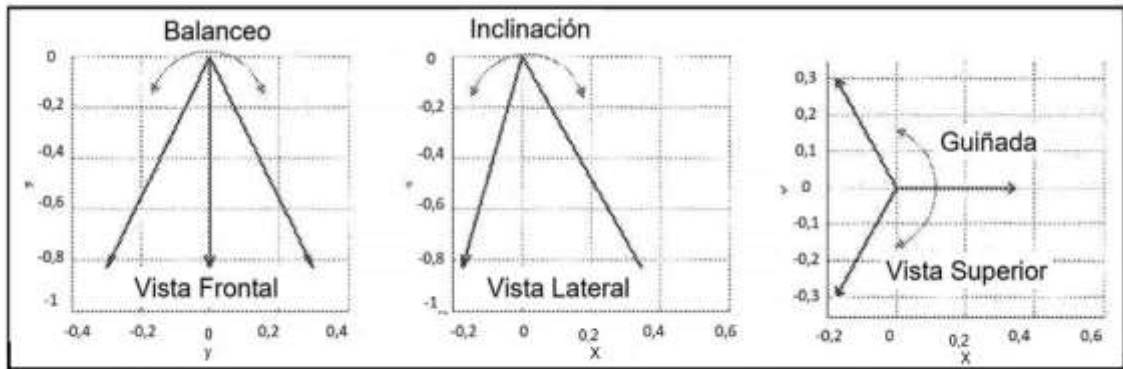


Figura 24