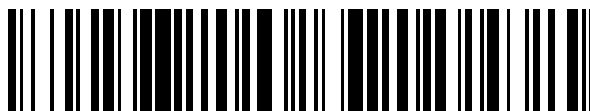


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 762**

51 Int. Cl.:

G01W 1/10 (2006.01)

G01W 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2014** **E 14162485 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.12.2015** **EP 2804023**

54 Título: **Sistemas y métodos para la detección de turbulencia en aire claro**

30 Prioridad:

17.05.2013 US 201313897068

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

08.03.2016

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

TILLOTSON, BRIAN J.

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 562 762 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

Sistemas y métodos para la detección de turbulencia en aire claro

5 ANTECEDENTES

La presente invención está relacionada de manera general con sistemas y métodos para estimar la magnitud de bolsas turbulentas de aire y la distancia hasta ellas.

10 La turbulencia en aire claro es turbulencia que se produce en lugares en los que no hay ninguna nube, precipitación, o partículas visibles tales como polvo en el aire. Cuando una aeronave encuentra turbulencia en aire claro a altitudes de crucero, se pueden producir graves daños a los ocupantes de dicha aeronave.

15 La turbulencia en aire claro es difícil de predecir e incluso más difícil de detectar con métodos convencionales. Por ejemplo, algunos métodos convencionales utilizan pronósticos meteorológicos, informes de pilotos, medidas de acelerómetros, medidas de radar, medidas de radar-láser, medidas acústicas, medidas de centelleo del sistema del posicionamiento global (GPS) y/o medidas ópticas para estimar o predecir la turbulencia en aire claro. Sin embargo, estos métodos pueden adolecer de no estimar o no predecir de forma adecuada la turbulencia en aire claro en algunas condiciones, por ejemplo pueden no predecir con exactitud la turbulencia del aire en aire claro. De esta manera, con los sistemas y métodos actuales, la turbulencia en aire claro es difícil de predecir y casi imposible de detectar.

20 El documento US 2011/0085698 describe un sistema y un método para la detección de turbulencia en la atmósfera que comprende un dispositivo de captura de imágenes para capturar una pluralidad de imágenes de un rasgo visual de un objeto celeste, como por ejemplo el Sol, combinado con una lente que tiene una longitud focal adaptada para enfocar una imagen sobre el dispositivo de captura de imágenes, de tal manera que la combinación de la lente y del dispositivo de captura de imágenes están adaptados para determinar una distorsión provocada por una masa turbulenta de aire turbulento, y un procesador de imágenes adaptado para comparar dicha pluralidad de imágenes del citado rasgo visual para detectar el tránsito de una masa turbulenta de aire turbulento entre el citado dispositivo de captura de imágenes y el citado objeto celeste, y para calcular una medida de la velocidad angular de la masa turbulenta. Se utiliza una segunda pluralidad de imágenes para triangular la distancia a la masa turbulenta y la velocidad de la masa turbulenta.

SUMARIO

35 De acuerdo con una realización, se proporciona un sistema para detectar turbulencia en aire claro (CAT) que incluye un dispositivo de captura de imágenes apropiado para capturar una o más imágenes de un fenómeno óptico provocado por cristales de hielo orientados de forma no horizontal. El sistema también incluye un procesador informático configurado para recibir las una o más imágenes procedentes del dispositivo de captura de imágenes, analizar las una o más imágenes comparando una o más características de las una o más imágenes con uno o más valores umbral, y determinar, basándose en la comparación, una aparición de turbulencia en aire claro.

40 El sistema en el cual las una o más características pueden incluir al menos uno de un brillo o una anchura angular de un pilar de luz en las una o más imágenes.

45 El sistema descrito, en el cual el pilar de luz puede estar formado a partir de luz reflejada de una fuente de luz brillante, siendo la fuente de luz brillante durante el día el Sol y siendo por la noche diferentes fuentes de luz, incluida una de la Luna, Venus, Júpiter, satélites brillantes, una aeronave, o luces de una ciudad.

50 El sistema descrito puede además comprender un almanaque astronómico de fuentes de luz conocidas, y los uno o más valores umbral incluyen al menos uno de un valor umbral de intensidad de luz o un valor de anchura angular.

El sistema descrito, en el cual el procesador puede además estar configurado para producir un aviso correspondiente a una probable aparición de la turbulencia en aire claro.

55 El sistema descrito, en el cual el procesador puede estar configurado para estimar una intensidad de la turbulencia en aire claro.

El sistema descrito, en el cual el procesador puede estar configurado para estimar una posición tridimensional de la turbulencia en aire claro utilizando una protuberancia en un pilar de luz en las una o más imágenes.

60 El sistema descrito, en el cual el procesador puede estar configurado para estimar una distancia a la turbulencia en aire claro utilizando un ángulo de elevación medido de la protuberancia a lo largo de un periodo de tiempo.

El sistema descrito, en el cual el dispositivo de captura de imágenes puede ser uno de una cámara fotográfica digital o una cámara de vídeo digital.

65

El sistema descrito, en el cual el dispositivo de captura de imágenes puede estar montado en un vehículo aéreo.

El sistema descrito, en el cual las una o más características pueden comprender una característica de un pilar de luz y el procesador está además configurado para utilizar un ajuste óptimo de plantilla para identificar el pilar de luz.

5 El sistema descrito, en el cual las una o más características pueden incluir al menos uno de un brillo o una anchura angular de un pilar de luz en las una o más imágenes y los uno o más valores umbral definen una probabilidad de que las una o más características de la imagen correspondan a turbulencia en aire claro.

10 El sistema descrito, en el cual los fenómenos ópticos pueden comprender al menos uno de un pilar de luz, un falso sol (*sun dog*), un arco parhéllico, un halo, un parhelio de 120°, o un arco circunhorizonta.

15 De acuerdo con otra realización, se proporciona un método para detectar turbulencia en aire claro. El método incluye recibir, procedentes de un dispositivo de captura de imágenes montado en un vehículo aéreo, una o más imágenes de un fenómeno óptico provocado por cristales de hielo orientados de forma no horizontal, analizar con un procesador informático las una o más imágenes comparando las una o más características de las una o más imágenes con uno o más valores umbral, y determinar basándose en la comparación, utilizando un procesador informático, una aparición de turbulencia en aire claro.

20 El método descrito, en el cual el análisis puede comprender la utilización como las una o más características de al menos uno de un brillo o una anchura angular de un pilar de luz en las una o más imágenes, donde el pilar de luz está formado a partir de luz reflejada de una fuente de luz brillante, siendo la fuente de luz brillante durante el día un fenómeno óptico asociado con el Sol y por la noche un fenómeno óptico asociado con diferentes fuentes de luz, incluyendo uno de la Luna, Venus, Júpiter, satélites brillantes, una aeronave, o luces de una ciudad.

25 El método descrito puede comprender además la utilización de un almanaque astronómico de fuentes de luz conocidas, y el que los uno o más valores umbral incluyan al menos uno de un valor umbral de intensidad de luz o un valor de intensidad de anchura angular.

30 El método descrito puede además comprender la producción de un aviso correspondiente a una probable aparición de la turbulencia en aire claro.

35 El método descrito puede además comprender la estimación de una intensidad de la turbulencia en aire claro y de una posición tridimensional de la turbulencia en aire claro utilizando una protuberancia en un pilar de luz en las una o más imágenes, donde la posición tridimensional incluye una estimación de una distancia hasta la turbulencia en aire claro utilizando un ángulo de elevación medido de la protuberancia a lo largo de un periodo de tiempo, y utilizando como las una o más características una característica de un pilar de luz y un ajuste óptimo de plantilla para identificar al pilar de luz.

40 De acuerdo con otra realización adicional, se proporciona un vehículo aéreo que incluye una estructura de aeronave y un dispositivo de captura de imágenes montado en la estructura de aeronave y apropiado para capturar una o más imágenes de un fenómeno óptico provocado por cristales de hielo orientados de forma no horizontal. El vehículo aéreo también incluye un procesador informático configurado para recibir las una o más imágenes procedentes del dispositivo de captura de imágenes, analizar las una o más imágenes comparando una o más características de las una o más imágenes con uno o más valores umbral, y determinar basándose en la comparación, una aparición de turbulencia en aire claro.

50 El vehículo aéreo descrito en el cual la estructura de aeronave puede comprender un globo meteorológico, estando el dispositivo de captura de imágenes montado en el globo meteorológico.

Los rasgos y funciones explicados en este documento se pueden conseguir de forma independiente en diferentes realizaciones o se pueden combinar para formar otras realizaciones adicionales, de lo cual se pueden ver detalles adicionales haciendo referencia a la descripción y dibujos siguientes.

55 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una ilustración de un vehículo aéreo que tiene un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 2 es una ilustración de operaciones para realizar detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

60 La Figura 3 es una imagen de un fenómeno óptico analizado mediante un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 4 es una ilustración de la inclinación de un cristal de hielo analizado mediante un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

65 La Figura 5 es una ilustración de un pilar de luz estrecho analizado mediante un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 6 es una ilustración de un pilar de luz ancho analizado mediante un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 7 es una ilustración de una protuberancia en un pilar de luz analizado mediante un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 8 es una ilustración de un proceso para el cálculo de la distancia hasta una turbulencia desde un vehículo aéreo de acuerdo con una realización.

La Figura 9 es otra ilustración de operaciones para la realización de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

La Figura 10 es una ilustración de una aeronave que puede tener un sistema de detección de perturbaciones en aire claro de acuerdo con una realización.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción detallada de algunas realizaciones se comprenderá mejor cuando se lea en conjunto con los dibujos adjuntos. Se debería entender que las diferentes realizaciones no están limitadas a los sistemas e instrumentos mostrados en los dibujos.

Tal como se utilizan en este documento, se debería entender que las palabras elemento o paso expresadas en singular y precedidas de la palabra “un” o “una” no son excluyentes de elementos o pasos plurales, a menos que se indique dicha exclusión de manera explícita. Es más, las referencias a “una realización” no tienen el objetivo de ser interpretadas como si excluyeran la existencia de realizaciones adicionales que también incorporen los rasgos citados. Además, a menos que se indique lo contrario de manera explícita, realizaciones “que comprenden” o “que tienen” un elemento o una pluralidad de elementos con una propiedad concreta pueden incluir elementos adicionales que no tengan esa propiedad.

Diferentes realizaciones descritas y/o ilustradas en este documento proporcionan métodos y sistemas para detección de perturbación en aire claro, incluidos sistemas y métodos para estimar la magnitud y distancia de bolsas turbulentas de aire. En algunas realizaciones, la perturbación en aire claro se detecta bajo varias condiciones diferentes utilizando un dispositivo de captura de imágenes (por ejemplo, una cámara). Por ejemplo, algunas realizaciones detectan turbulencia en aire claro contra un fondo visual sin rasgos o relativamente sin rasgos. Al predecir o detectar turbulencias en aire claro, un piloto puede, por ejemplo, encender la luz de “abróchense los cinturones” y/o reducir la velocidad de la aeronave.

Un sistema de detección de turbulencia en aire claro de acuerdo con diferentes realizaciones detecta turbulencia en la atmósfera y permite que los pilotos puedan maniobrar una aeronave para evitar cualquier bolsa turbulenta de aire. En una realización, el sistema de detección de turbulencia en aire claro avisa al piloto de la presencia de turbulencia en el camino de la aeronave. En otra realización, el sistema de detección de turbulencia en aire claro proporciona una ayuda visual para la navegación para permitir que un piloto pueda navegar alrededor de bolsas de aire turbulento. El sistema de detección de turbulencia en aire claro puede mejorar la seguridad aérea, permitiendo que los aviones vuelen a velocidades de crucero con un bajo riesgo de encontrarse con una turbulencia inesperada que podría dañar al avión o causar daños a los pasajeros. El sistema de detección de turbulencia en aire claro también puede incrementar la comodidad de los pasajeros del avión al permitir que el piloto navegue alrededor de bolsas de turbulencia o, si la turbulencia está extendida, permitiendo que el piloto reduzca la velocidad del avión y navegue a través de las áreas menos turbulentas del cielo. Además, la reducción de la cantidad de turbulencia a través de la cual vuela un avión a lo largo de su vida útil también puede reducir las tensiones sobre la estructura de la aeronave y sobre los componentes de los motores que se van acumulando durante una vida útil de funcionamiento continuo. Esto reducirá la fatiga de los componentes, permitirá un funcionamiento más seguro a largo plazo de la aeronave, y reducirá o acortará los ciclos de mantenimiento necesarios.

Haciendo ahora referencia a la Figura 1, el sistema 100 de detección de turbulencia en aire claro comprende uno o más dispositivos de captura de imágenes, ilustrados como cámaras 104 (en la Figura 1 se muestran dos cámaras 104), tales como cámaras de vídeo, montadas sobre, en o dentro de una aeronave 102, y un procesador 112 u otra máquina de procesamiento para analizar imágenes procedentes de las cámaras 104. El procesador 112 puede ser cualquier sistema apropiado capaz de procesar imágenes, incluidos un PC o una placa de circuitos con un procesador, pero no está limitado a estos sistemas. La cámara 104 está acoplada comunicativamente al ordenador, el cual recibe imágenes procedentes de dicha cámara 104. En una realización, la cámara 104 utiliza un teleobjetivo, tal como una lente para enfoque a gran distancia, en la cual la longitud física de la lente es menor que la longitud focal. Durante el funcionamiento, la cámara 104 está apuntada aproximadamente al horizonte 108, y una o más imágenes o vídeos son obtenidos y transmitidos al procesador 112. En algunas realizaciones la cámara 104 envía datos digitalizados de la imagen al procesador 112. En otras realizaciones, el procesador 112 digitaliza una señal analógica procedente de la cámara 104 y la convierte en imágenes digitales utilizando, por ejemplo, un capturador de fotogramas digital. Se debería observar que el dispositivo de captura de imágenes de diferentes realizaciones puede ser cualquier tipo de dispositivo capaz de obtener o capturar una o más imágenes.

La luz que llega a la cámara 104 procedente del horizonte 108 que pasa a través de una bolsa 106 de turbulencia será reflejada de manera diferente a la luz que atraviesa el resto del cielo y esto afecta a ciertos fenómenos ópticos

del cielo. La diferencia en la reflexión se debe a ciertas características de los cristales de hielo tal como se describe en este documento que son indicativas de bolsas 106 de turbulencia. Como resultado de la reflexión de la luz y de ciertos fenómenos ópticos, existirán partes distorsionadas de los fenómenos ópticos (por ejemplo, de los pilares de luz), por ejemplo partes en las que estos fenómenos ópticos se hagan más anchos y menos intensos.

En diferentes realizaciones, la(s) cámara(s) 104 montadas sobre, en o dentro de la aeronave 102, proporcionan datos de la imagen continuos o periódicos al procesador 112 que analiza la escena cuya imagen ha sido obtenida por la(s) cámara(s) 104. Se debería observar que aunque la cámara 104 se ilustra como orientada para que apunte hacia el horizonte, de tal manera que una cámara 104 está mirando hacia adelante con respecto a la aeronave 102, en algunas realizaciones, de manera opcional o alternativa, una cámara 104 puede estar orientada hacia el lateral (por ejemplo, en dirección transversal a la cámara 104 que mira hacia adelante). En algunas realizaciones la(s) cámara(s) 104 pueden funcionar en el infrarrojo en lugar de, o además de, en las longitudes de onda visibles. Si la cámara 104 incluye capacidad infrarroja o intensificadores de imagen, entonces diferentes realizaciones pueden operar en condiciones de oscuridad o de baja iluminación, por ejemplo, pueden ser utilizadas al anochecer o por la noche así como durante el día. La cámara 104 con capacidad infrarroja también puede utilizar de manera selectiva un intensificador de imagen, tal como un tubo de visión nocturna. Se debería observar que la cámara 104 puede estar montada sobre, en o dentro de diferentes tipos de vehículos aéreos o, por ejemplo, de un globo meteorológico (no mostrado) capaz de volar a las típicas altitudes de crucero de un avión de línea o cerca de ellas.

Durante el funcionamiento, el procesador 112 procesa uno o más fotogramas de la imagen procedentes de la(s) cámara(s) 104. Cuando no existe ninguna turbulencia en el campo de visión 110, no hay ninguna característica modificada en los fenómenos ópticos (por ejemplo, no hay ningún cambio en los pilares de luz procedentes de una fuente de luz brillante). Sin embargo, cuando existe turbulencia 106, algunas partes de la imagen que incluyan a los fenómenos ópticos aparecerán modificadas o distorsionadas, y el cambio o distorsión se puede identificar utilizando diferentes realizaciones. Como se describe con mayor detalle en este documento, en diferentes realizaciones, el procesador 112 detecta y mide las características modificadas en los fenómenos ópticos para inferir la presencia de turbulencia en aire claro.

Se debería observar que, típicamente, la dispersión reflectiva de la luz por cristales de hielo en turbulencia natural varía menos de 10 miliradianes con respecto a la dispersión en aire estable y, por lo tanto, puede ser demasiado pequeña para ser medida por muchas cámaras que utilizan lentes para instantáneas normales. En diferentes realizaciones, la(s) cámara(s) 104 del sistema 100 de detección de turbulencia en aire claro utiliza(n) un teleobjetivo que tiene una larga longitud focal que amplía la imagen y proporciona una resolución apropiada para la obtención de imágenes mediante la cámara 104. En una realización, el teleobjetivo y la resolución en píxeles del elemento de captura de imagen, por ejemplo un chip CCD, están adaptados para conseguir una resolución óptica de al menos 100 microradianes de ángulo. Por ejemplo, un teleobjetivo que tenga una longitud focal de 100 milímetros puede conseguir una resolución óptica de aproximadamente 10^{-4} radianes cuando esté acoplado a un chip CCD de un cm^2 que tenga píxeles de 10 micras organizados en una matriz de 1000x1000 píxeles. En una realización, el teleobjetivo es una lente de aumento, capaz de ajustar la magnificación y, por lo tanto, de permitir que el operador del sistema elija de manera selectiva sacrificar precisión de medida a cambio de un campo de visión con mayor anchura.

En diferentes realizaciones, la cámara 104 incluye un CCD que tiene una separación entre píxeles (*pitch*) muy fina, o un medio de captura de imágenes comparable, y se utiliza para recoger una imagen, ya sea sola o en combinación con un teleobjetivo. En una realización, para incrementar o maximizar la resolución, el CCD es un CCD monocromático. Por lo general, los CCDs en color utilizan pequeños filtros colocados formando un patrón por encima de los elementos CCD, los cuales pueden provocar artefactos de imagen no deseados tales como cambios de color cerca de bordes afilados de los objetos dependiendo de cómo incida la luz sobre el chip CCD. Los artefactos de borde son distorsiones no deseadas de la imagen que tienen el potencial de poder ser malinterpretadas como turbulencia por el procesador 112. En otras realizaciones, el sistema utiliza una cámara 104 de 3 CCDs que divide la imagen en tres CCDs diferentes, por ejemplo utilizando filtros dicróicos o espejos parcialmente plateados, y por lo tanto no induce artefactos de borde no deseados. De esta manera, sin embargo, se debería observar que la cámara 104 puede ser diferentes tipos de dispositivos, tales como una cámara monocromática, una cámara de color, una cámara fotográfica, una cámara de vídeo (cada una de las cuales puede incluir uno o más filtros polarizadores), entre otros.

En algunas realizaciones, la cámara 104 es una cámara digital, una cámara de vídeo, una cámara CCD de alta resolución, o una videocámara HD. En diferentes realizaciones, para mejorar la profundidad y el rango dinámico de la imagen de la imagen capturada, la cámara 104 utiliza de forma selectiva filtros, como por ejemplo un filtro de polarización, un filtro de densidad neutra, y/o un filtro rojo para evitar luz azul dispersada.

Más concretamente, la cámara 104 puede ser una cámara monocromática o una cámara de color, o una cámara monocromática con filtros de color intercambiables. Se debería observar que es beneficioso distinguir los colores de pequeña longitud de onda, como por ejemplo el azul, de los colores de gran longitud de onda, como por ejemplo el rojo. Cuando se utiliza una cámara de color, las diferentes realizaciones aprovechan lo siguiente: (a) que la dispersión Rayleigh procedente de objetos pequeños tales como moléculas de aire y aerosoles se hace más fuerte

con el inverso de la cuarta potencia de la longitud de onda de la luz, pero (b) la dispersión especular procedente de las superficies de los cristales de hielo (típicamente del tamaño de cientos de longitudes de onda) es muy independiente de las longitudes de onda. Por lo tanto, la luz dispersada procedente del cielo abierto es muy azul, pero la luz reflejada procedente de los cristales de hielo tiene un espectro similar al del Sol. En algunas realizaciones, el procesador 112 resta la intensidad de la luz azul a la intensidad global de la imagen, lo cual amplifica la intensidad correspondiente a los cristales de hielo. Esta resta hace que sea más fácil determinar el brillo y la anchura del fenómeno óptico, los cuales se calculan como se describe con mayor detalle en este documento.

En algunas realizaciones, la cámara 104 tiene uno o más filtros polarizadores, que permiten al procesador 112 medir el brillo de luz que es polarizada en dirección perpendicular a la dirección de dispersión. La luz polarizada en esta dirección es el resultado de una única dispersión (por ejemplo, luz reflejada en un único rebote por un cristal de hielo o por una molécula de aire). La luz polarizada en otras direcciones corresponde a múltiples rebotes (por ejemplo, luz reflejada por la superficie de la Tierra y a continuación reflejada por un cristal de hielo o por una molécula de aire). La luz con múltiples rebotes hace que sea difícil medir con precisión el brillo y la anchura de fenómenos ópticos asociados con cristales de hielo. En algunas realizaciones el procesador 112 resta al brillo global de la imagen la intensidad de la luz con otras polarizaciones, lo cual amplifica el brillo de la luz procedente de la fuente de luz dispersada en un único rebote por un cristal de hielo.

Cuando la cámara 104 es una cámara de vídeo, el procesador 112 puede recoger múltiples imágenes una tras otra, alinear las imágenes unas con otras, y sumar las imágenes entre sí (por ejemplo, usando un proceso de suma de píxeles de la imagen). Esto incrementa la sensibilidad a la luz débil y reduce la sensibilidad al ruido. Como resultado de esto, el procesador 112 puede detectar y caracterizar fenómenos ópticos más débiles tales como pilares de Venus y falsos Venus. En casos en que la fuente de luz se está moviendo rápidamente a través de la imagen, como por ejemplo cuando la fuente de luz es un satélite brillante o una aeronave distante, el procesador 112 alinea las imágenes de tal manera que la fuente de luz tenga la misma posición relativa en cada imagen. Los fenómenos ópticos aparecen entonces en el mismo lugar en cada imagen. Cuando estas imágenes se suman entre sí, los fenómenos ópticos se vuelven más brillantes y el ruido se vuelve relativamente más débil.

En una realización, la cámara 104 está montada sobre un soporte giratorio que permite que se pueda hacer girar la cámara 104 para ver diferentes partes del cielo. Por ejemplo, la cámara 104 puede estar montada sobre una suspensión cardán de ejes múltiples, que permite que la cámara 104 se pueda girar angularmente en cualquier dirección. En estas realizaciones, la cámara 104 se puede hacer girar o se puede orientar para escanear un área mayor. La salida de la cámara 104 está sincronizada con una salida de un codificador giratorio u otro medio de identificación de la orientación similar para correlacionar las imágenes procedentes de la cámara 14 con la orientación de la cámara. El movimiento de la cámara 104 puede estar asociado o relacionado con el movimiento de la aeronave 102, por ejemplo por medio de un sistema 114 de navegación (acoplado comunicativamente al procesador 112) tal como un receptor de un sistema de posicionamiento global (GPS), una unidad inercial (IMU), o ambos. La IMU mide cambios en la orientación de la cámara debidos a la rotación o giro de la aeronave 102 y se puede utilizar para mantener la orientación de la cámara hacia un punto del cielo deseado. En una realización, el movimiento y la orientación de la cámara 104 se pueden medir por cambios en las posiciones de rasgos visuales en una secuencia de imágenes, y las medidas de movimiento y orientación se pueden utilizar para alinear, o ajustar, digitalmente, unas imágenes a otras como si la cámara 104 estuviera estacionaria. En otras realizaciones, la cámara 104 está substancialmente fija y se puede utilizar un espejo giratorio para cambiar la dirección de visión de la cámara 104. En una realización, el espejo es un primer espejo superficial para una mejor claridad. En algunas realizaciones, la cámara 104 está montada en un soporte de reducción de vibraciones. En otras realizaciones, la cámara 104 está estabilizada giroscópicamente. De esta forma, en diferentes realizaciones, el sistema 114 de navegación proporciona al procesador 112 el instante, la posición y la orientación de la cámara en el momento en que cada imagen de la cámara es obtenida por la cámara 104.

En diferentes realizaciones, la turbulencia en aire claro se detecta cuando el fondo visual tiene pocos rasgos bien definidos, pero incluye una vista horizontal clara del aire, como por ejemplo en el horizonte 108, al nivel de crucero para la aeronave 102. Esta detección puede incluir la monitorización de forma periódica o continua del campo de visión 110 a medida que la aeronave 102 navega, tal como se ilustra en los instantes t1 y t2 en la Figura 1. Durante el vuelo, la turbulencia en aire claro provoca distorsiones o cambios en fenómenos ópticos que se detectan en diferentes realizaciones. Se debería observar que el término fenómenos ópticos tal como se usa en este documento se refiere de manera general a condiciones visuales asociadas con cristales de hielo a gran altitud, tales como pilares de luz y halos que aparecen en posiciones conocidas relacionados con objetos brillantes, tales como el Sol, la Luna, planetas brillantes, y luces artificiales distantes.

El procesador 112 en diferentes realizaciones analiza datos de la imagen incluidas imágenes de fenómenos ópticos para proporcionar detección óptica automática de distorsiones o cambios en los fenómenos ópticos, tales como características modificadas en los fenómenos ópticos (por ejemplo, tamaño, forma o brillo). Se debería observar que el procesador 112 puede incluir software (por ejemplo, medios informáticos tangibles, no transitorios), hardware, o una combinación de los mismos que realizan procesos o métodos de una o más realizaciones. Por ejemplo, diferentes realizaciones pueden incluir un almanaque astronómico (tabla de valores que proporciona las posiciones

de objetos astronómicos en el cielo en un instante o instantes determinados) a partir del cual se pueden calcular las posiciones de cuerpos celestes brillantes y satélites artificiales, y/o una base de datos que contenga brillos y posiciones geográficas de fuentes de luz artificial importantes, tales como ciudades, plataformas petrolíferas, y llamas de gas natural.

De esta manera, el procesador 112 en diferentes realizaciones está programado para localizar fuentes de luz brillante en cada imagen basándose en datos visuales contenidos en la imagen. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el software incluye un almanaque astronómico como se describe en este documento para ayudar a localizar, identificar, y/o caracterizar fuentes de luz celestes brillantes como el Sol, la Luna, planetas y/o satélites brillantes. El procesador 112 (a) utiliza esta información para localizar una fuente de luz fuera del fotograma de imagen suministrado por la cámara y/o (b) utiliza el espectro de color conocido de una fuente de luz para ayudar a distinguir fenómenos ópticos que tengan ese espectro de fuente de otra luz dispersada. En algunas realizaciones, el software proporciona a un sistema de información geográfica información acerca de la posición, extensión, color e intensidad de fuentes de luz situadas en el suelo. El procesador 112 (a) utiliza esta información para localizar una fuente de luz fuera del fotograma de imagen suministrado por la cámara y/o (b) utiliza el espectro de color conocido de una fuente de luz para ayudar a distinguir fenómenos ópticos que tengan ese espectro de fuente de otra luz dispersada.

En la Figura 2 se muestra un método 120 para detección de turbulencia en aire claro. En primer lugar se proporcionará una descripción global seguida por una descripción detallada. En diferentes realizaciones, el método 120, por ejemplo, puede emplear estructuras o aspectos de diferentes realizaciones (por ejemplo, sistemas y/o métodos) explicados en este documento. En diferentes realizaciones, algunos pasos se pueden omitir o añadir, algunos pasos se pueden combinar, algunos pasos se pueden realizar de manera simultánea, algunos pasos se pueden realizar concurrentemente, algunos pasos se pueden dividir en múltiples pasos, algunos pasos se pueden realizar en un orden diferente, o algunos pasos o series de pasos se pueden volver a realizar de una manera iterativa.

De manera general, el método 120 incluye en 122 hacer volar un vehículo aéreo a, o cerca de, la altitud de crucero de una aeronave, por ejemplo, un avión de línea. El vehículo aéreo puede ser el propio avión de línea (por ejemplo la aeronave 102 mostrada en la Figura 1) o puede ser otro vehículo aerostático, tal como un globo meteorológico (o varios globos meteorológicos a diferentes altitudes) que vuelan en, o cerca de, las inmediaciones de la aeronave. En general, a las altitudes de crucero típicas, a una cámara (por ejemplo, a la cámara 104) se le proporciona una vista clara del aire (por ejemplo a la altitud deseada) sin distorsión u obstrucción causadas por fenómenos de menor altitud como nubes, polvo, y humo. Por consiguiente, diferentes realizaciones operan a altitudes por encima de los 20.000 pies. Sin embargo, una o más realizaciones se pueden utilizar a altitudes menores que 20.000 pies.

El método 120 también incluye apuntar la cámara en la dirección de interés con respecto a la turbulencia en 124. Por ejemplo, en diferentes realizaciones, la cámara se dirige, de forma independiente de la aeronave o como parte de la aeronave (por ejemplo, cuando la aeronave maniobra), en la dirección en que se desea o se necesita información acerca de turbulencias (por ejemplo, delante de la aeronave). Por ejemplo, para una aeronave que implementa una o más realizaciones para proteger a la aeronave de turbulencias, la cámara se dirige generalmente en la dirección de vuelo, la cual puede ser predeterminada, por ejemplo cuando la cámara está montada en la aeronave en una dirección que mira hacia adelante.

El método 120 incluye además obtener imágenes en la dirección de interés en 126 utilizando la cámara. Por ejemplo, la cámara puede capturar imágenes de manera continua o intermitente (por ejemplo, periódicamente) delante de la aeronave y puede transferir las imágenes a un dispositivo de almacenamiento y/o a un procesador (por ejemplo, al procesador 112). En diferentes realizaciones, la cámara 104 puede estar controlada para iniciar la captura de imágenes, por ejemplo después de un periodo de tiempo predeterminado tras el despegue o después de alcanzar la altitud de crucero. Se debería observar que si la cámara es una cámara de vídeo, iniciar la captura de imágenes (encender la cámara de vídeo) da orden a la cámara de vídeo, por ejemplo, de obtener y transmitir imágenes de manera continua. Sin embargo, se debería observar que en diferentes realizaciones, algunas de las imágenes son procesadas, mientras que en otras realizaciones, todas las imágenes son procesadas.

El método 120 incluye determinar información de navegación correspondiente en 128. Por ejemplo, se determina y se almacena información de navegación para la aeronave en el instante o instantes en que las imágenes son capturadas para asociar las imágenes con la información de navegación. Por ejemplo, utilizando un sistema GPS embarcado en la aeronave, los datos de tiempo, posición y orientación se pueden obtener y transmitir concurrentemente al dispositivo de almacenamiento y/o al procesador. Por consiguiente, existe información de navegación disponible para procesar y usar las imágenes como se describe con mayor detalle en este documento.

El método 120 también incluye localizar uno o más fenómenos meteorológicos utilizando las imágenes obtenidas, por ejemplo, identificando o localizando fuentes de luz brillantes y estrechas en las imágenes en 130. Por ejemplo, el procesador está programado de acuerdo con diferentes realizaciones para localizar en una o más imágenes, al menos una fuente de luz brillante y estrecha. En algunos casos, la fuente de luz brillante puede estar en la propia

imagen, por ejemplo cuando la cámara está orientada hacia una puesta de sol. Sin embargo, en otros casos, la fuente de luz brillante puede estar fuera de la imagen (por ejemplo, por encima del marco de la imagen) o la fuente de luz brillante puede estar tapada por la estructura del vehículo o por la Tierra, por ejemplo cuando la cámara está orientada hacia una puesta de sol después de que el Sol haya descendido por debajo del horizonte.

El método 120 incluye además calcular una o más características o propiedades relacionadas con la fuente de luz brillante y estrecha, lo cual en diferentes realizaciones incluye calcular un brillo y una anchura angular de pilares de luz relacionados con la fuente de luz brillante (por ejemplo, los pilares de luz que aparecen contiguos a las fuentes de luz brillantes) en 132. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el procesador calcula el brillo y la anchura angular de pilares de luz por encima y por debajo de la fuente de luz brillante. El cálculo puede incluir, por ejemplo, calcular un ajuste óptimo de una plantilla de pilar de luz (por ejemplo, basada en parámetros geométricos de pilares de luz conocidos) para una o más partes de la imagen por encima y por debajo de la fuente de luz brillante como se describe con mayor detalle en este documento. En algunas realizaciones, se puede utilizar un algoritmo de ajuste óptimo para ajustar dos parámetros de la plantilla, brillo y anchura angular, con el fin de reducir o minimizar el error entre la plantilla y la imagen real. Se debería observar que el pilar de luz incluye diferentes tipos de fenómenos visuales lumínicos creados por la reflexión de la luz por cristales de hielo con superficies planas paralelas casi horizontales. Por ejemplo, la luz puede venir del Sol, en cuyo caso el fenómeno se denomina pilar de sol o pilar solar. La luz también puede venir de la Luna o de fuentes terrestres (por ejemplo, por encima y por debajo del planeta Venus). En general, los pilares de luz son un tipo de fenómeno óptico que se forma por la reflexión de la luz del Sol o de la luz de la Luna por cristales de hielo que existen en la atmósfera de la Tierra. El pilar de luz parece una columna delgada que se extiende verticalmente por encima y/o por debajo de la fuente de luz. Por ejemplo, el pilar de luz es muy visible cuando el Sol está bajo o queda por debajo del horizonte o cuando es provocado por la Luna. Los pilares de luz normalmente forman un arco que se extiende de cinco a diez grados más allá del disco solar. Por ejemplo, en la imagen 142 de la Figura 2 se muestra un pilar de luz 140, el cual es un pilar solar que se extiende desde el Sol. La fuente de luz brillante es, por lo tanto, el Sol y la imagen 142 se puede capturar utilizando la cámara 104.

Casi todos los fenómenos de este tipo se producen debido a que las fuerzas aerodinámicas provocan que pequeños cristales de hielo hexagonales se orienten por sí mismos horizontalmente en aire estable: los cristales columnares orientan horizontalmente sus ejes largos y los cristales planos orientan horizontalmente sus superficies planas más grandes. La intensidad y anchura de estos fenómenos están determinadas por la estabilidad o turbulencia del aire, a saber, la turbulencia perturba la orientación horizontal de los cristales. Los cristales son tan pequeños que dichos cristales se orientan por sí mismos de forma casi instantánea para mantener sus ejes largos o sus caras planas (en forma de placa) perpendiculares a la fuerza de resistencia aerodinámica. En aire estable, la fuerza de resistencia aerodinámica es vertical, de tal manera que los cristales se orientan horizontalmente. Sin embargo, los cristales 150 columnares (como se muestra en la Figura 4) giran alrededor de correspondientes ejes largos, de tal manera que los cristales 150 reflejan la luz dentro de un rango de ángulos verticales, lo cual produce pilares de luz aparentes o supuestos. Los cristales 152 con forma de placas planas (como se muestra en la Figura 4) giran alrededor de correspondientes ejes cortos, lo cual refleja la luz dentro de un rango de ángulos horizontales, produciendo un arco parhílico y, en casos en que la luz entra en el cristal y se refleja internamente, falsos soles.

Más concretamente, durante la turbulencia, masas turbulentas de aire que contienen cristales de hielo aceleran en una dirección y magnitud variables en el tiempo, $a(t)$, como se muestra en la Figura 4. Esta turbulencia impone una fuerza de resistencia aerodinámica D_{acel} (una magnitud vectorial) que generalmente no está alineada con la fuerza de resistencia aerodinámica que se opone a la gravedad, D_{gravity} . La fuerza resultante D_{total} está inclinada formando un ángulo θ con respecto a la vertical. Por lo tanto, los cristales, tales como los cristales 150 y 152, situados en el interior de la masa turbulenta se inclinan hasta formar el mismo ángulo con respecto a la horizontal. Por consiguiente, la turbulencia acelera el aire, de tal manera que el vector de resistencia aerodinámica neta que actúa sobre los cristales 150 y 152 no es vertical y los cristales 150 y 152 se orientan a sí mismos en dirección perpendicular al vector de resistencia aerodinámica.

El método 120 también incluye identificar turbulencia en 134. Por ejemplo, cuando la intensidad del brillo del pilar de luz es mayor que un primer valor umbral definido por el usuario (por ejemplo, seleccionado para establecer confianza en que realmente existe un pilar de luz) y la anchura angular del pilar de luz es mayor que un segundo valor umbral definido por el usuario (por ejemplo, seleccionado para que corresponda a una magnitud concreta de turbulencia), el procesador identifica el fenómeno lumínico cuya imagen se ha obtenido como indicativo de una turbulencia que se aproxima, como se describe con mayor detalle en este documento, y puede proporcionar un aviso. Por ejemplo, se puede proporcionar un aviso visual o sonoro de potencial turbulencia en aire claro dentro de la cabina o para la tripulación de la aeronave. No obstante, se pueden proporcionar otros avisos. Por ejemplo, se puede proporcionar un aviso vía radio a una despachador de flota de la aerolínea o a un control de tráfico aéreo.

Por lo tanto, se puede proporcionar un aviso a la tripulación de la aeronave. El aviso puede ser una señal sonora y/o una representación visual, por ejemplo una copia de la imagen en la cual se encontraron indicadores de turbulencia, con indicaciones superpuestas para resaltar los rasgos que indican turbulencia. En algunas realizaciones, el aviso incluye estimaciones de distancia a la turbulencia, de intensidad de la turbulencia, y de grado de confianza en que la

turbulencia existe como se describe con mayor detalle en este documento. La intensidad de la turbulencia se puede comunicar como una tasa de disipación de energía (ϵ), como la aceleración media cuadrática (RMS) del aire, como el ángulo de inclinación RMS de los cristales de hielo, u otros valores, como se describe con mayor detalle en este documento.

En algunas realizaciones, se proporciona un aviso vía radio a un despachador de flota de la aerolínea, a un control de tráfico aéreo, a una agencia meteorológica, o directamente a otra aeronave. Estas realizaciones permiten que otras aeronaves se beneficien de la detección de turbulencia realizada por una aeronave individual. En algunas realizaciones, observaciones realizadas por múltiples aeronaves se combinan (o se fusionan, utilizando métodos de fusión de datos conocidos en la técnica) para mejorar la estimación de ubicación, de extensión y de intensidad de la turbulencia.

En diferentes realizaciones, la identificación de la turbulencia incluye al menos una de una estimación de una intensidad de la turbulencia o una estimación de la ubicación tridimensional de zonas turbulentas, por ejemplo, la turbulencia 106 (mostrada en la Figura 1). Por ejemplo, la Figura 5 ilustra una condición de pequeña inclinación de los cristales, a saber, una en la que una pequeña inclinación de los cristales 150 ó 152 produce un rasgo visual estrecho y brillante. La Figura 6 ilustra una condición de gran oscilación de los cristales, a saber, una en la que una gran inclinación de los cristales 150 ó 152 produce como resultado un pilar de luz que es más ancho y menos brillante.

De esta forma, cristales que están bien alineados con la horizontal producen un rasgo visual estrecho, brillante, y cristales con más inclinación producen un rasgo visual más ancho, menos brillante que es el resultado de las reflexiones de la luz desde un objeto brillante. En una realización, la intensidad de píxeles en una imagen de la cámara se utiliza para medir una curva 166a, 166b y/o 176a, 176b de brillo frente a un ángulo ϕ con respecto a una línea 167 y/o 177 vertical que atraviesa el objeto 164 brillante. La curva 166a, 166b ó 176a, 176b corresponde a la distribución de ángulos de inclinación de los cristales de hielo. A continuación, utilizando el brillo como factor de ponderación, se calcula el ángulo θ_0 de inclinación RMS como se describe con mayor detalle más adelante.

En concreto, el ángulo de inclinación medio está relacionado matemáticamente con la intensidad de la turbulencia, estando la aceleración debida a turbulencia relacionada con la intensidad de la turbulencia mediante la siguiente ecuación:

$$a_0 = 2^{1/4} v^{-1/4} \epsilon^{3/4} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde a_0 es la magnitud RMS de la aceleración, v es la viscosidad cinemática (un parámetro conocido del aire que es función de la temperatura y de la densidad), y ϵ es la tasa de disipación de energía, una medida estándar de intensidad de turbulencia.

Entonces la Ecuación 1 se puede reorganizar de la siguiente manera:

$$\epsilon = (a_0 2^{-1/4} v^{1/4})^{4/3} \quad \text{Ecuación 2}$$

A continuación, la aceleración RMS del aire portador de cristales determina el ángulo θ_0 de inclinación RMS de los cristales de hielo por trigonometría de acuerdo con la siguiente:

$$\theta_0 = 3^{1/3} a_0 / g \quad \text{Ecuación 3}$$

donde g es la gravedad.

Entonces la Ecuación 3 se puede reorganizar para obtener a_0 como sigue:

$$a_0 = \theta_0 g 3^{-1/3} \quad \text{Ecuación 4}$$

Después de esto, se sustituye la Ecuación 4 en la Ecuación 2 para calcular ϵ a partir de la cantidad medida (θ_0) y de la cantidad calculada (v):

$$\epsilon = (\theta_0 g 3^{-1/3} 2^{-1/4} v^{1/4})^{4/3} \quad \text{Ecuación 5}$$

Además de estimar la intensidad de la turbulencia, diferentes realizaciones también estiman la posición tridimensional de zonas de turbulencia intensa. En concreto, dos de las dimensiones, a saber, azimut y elevación con respecto a la cámara, se pueden calcular a partir de la posición sobre el plano focal de la cámara, de la orientación de la cámara, y de la longitud focal de la lente de la cámara. La tercera dimensión, la distancia, se puede calcular como se describe más adelante basándose en una zona localizada de la turbulencia que forma una protuberancia 180 (ilustrada como una zona más ancha o bulto en la Figura 7), en la cual la anchura azimutal (en concreto la pendiente de la anchura azimutal en función del ángulo de elevación) aumenta y a continuación disminuye. De esta manera, una zona localizada de turbulencia intensa forma la protuberancia 180 en el pilar de luz 182.

En concreto, las zonas de fuerte turbulencia son típicamente localizadas. Una zona de turbulencia relativamente intensa aparece como una protuberancia 180 más ancha en un rasgo visual tal como el pilar de luz 182 que se muestra en la Figura 7, la cual muestra la protuberancia 180 en el pilar 182 situado por encima del objeto 164 brillante. Se debería observar que también aparecen pilares de luz por debajo del objeto 164 brillante, pudiendo también aparecer protuberancias en un pilar inferior, o en rasgos tales como falsos soles o arcos parhéllicos. Se debería observar que la anchura de ángulo de azimut para la protuberancia 180 no es necesariamente mayor que para cualquier otra parte del pilar 182, pero la protuberancia 180 es más ancha en términos del ángulo ϕ con respecto a la línea 167 vertical que pasa a través del objeto 164 brillante. Se debería observar además que el eje vertical de la Figura 7 muestra ángulo de elevación visto por la cámara 104. En un caso de interés típico para una aeronave, la protuberancia 180 se verá en ángulos de elevación negativos, es decir, menores que cero.

En una realización, para calcular distancia, el procesador 112 (mostrado en la Figura 1) mide el ángulo de elevación de la protuberancia 180 varias veces durante un corto intervalo de tiempo (por ejemplo, 2-15 minutos) mientras el avión vuela hacia adelante. Debido a la curvatura de la Tierra, el ángulo de elevación cambia a medida que el avión se desplaza. Como se muestra en la Figura 8, la primera medida de elevación tomada en una posición 190 conocida en el instante t_1 tiene un ángulo de elevación de α_1 . Una medida tomada en una posición 192 conocida diferente en el instante t_2 tiene un ángulo de elevación diferente α_2 . Después de esto, se pueden utilizar métodos trigonométricos conocidos para calcular la distancia basándose en una serie de medidas como éstas.

En otras realizaciones, para calcular la distancia se puede utilizar un método alternativo (el cual se puede utilizar en condiciones meteorológicas favorables). En concreto, cuando se sabe que aparecen cristales de hielo sólo en una banda de altitud estrecha, por ejemplo de 37.000 a 38.000 pies, entonces una única observación de un ángulo de elevación de la protuberancia es suficiente para calcular la distancia a la misma. Por ejemplo, en la Figura 8, si las condiciones son tales que sólo se forman cristales de hielo a la misma altitud que la del avión, la primera medida de elevación, α_1 , es suficiente para calcular la distancia a la zona 194 turbulenta. Se debería observar que puede estar disponible información relacionada con las condiciones meteorológicas existentes en ese momento, o dicha información se puede obtener a través de emisiones de radio, cargas de datos antes del vuelo, o mediciones meteorológicas hechas por la aeronave.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de un método 200 para identificar turbulencia y proporcionar una estimación de la distancia hasta ella. En diferentes realizaciones, el método 200, por ejemplo, puede emplear estructuras o aspectos de diferentes realizaciones (por ejemplo, sistemas y/o métodos) explicados en este documento. En diferentes realizaciones, ciertos pasos se pueden omitir o añadir, ciertos pasos se pueden combinar, ciertos pasos se pueden realizar de forma simultánea, ciertos pasos se pueden realizar concurrentemente, ciertos pasos se pueden dividir en múltiples pasos, ciertos pasos se pueden realizar en un orden diferente, o ciertos pasos o series de pasos se pueden volver a realizar de una manera iterativa.

El método 200 incluye hacer volar el vehículo aéreo a, o cerca de, una altitud de crucero en 202, lo cual se puede realizar de manera similar al paso 122 de la Figura 2. La cámara (por ejemplo, la cámara 104 mostrada en la Figura 1) se apunta en 204, lo cual se puede realizar de manera similar al paso 124 de la Figura 2. Después de esto, se hacen fotografías en 206 y las coordenadas del vehículo aéreo se determinan en 208. Se debería observar que en diferentes realizaciones, los pasos 206 y 208 se realizan concurrentemente y se pueden realizar de manera similar a los pasos 126 y 128, respectivamente, de la Figura 2.

A continuación el método 200 incluye aplicar un ajuste óptimo de plantilla para el rasgo visual en 212, de tal manera que un pilar de luz, el cual se puede realizar de manera similar al paso 130 de la Figura 2. Además, se pueden calcular entonces el brillo y el ángulo (por ejemplo, la anchura del ángulo) del pilar de luz (lo cual se puede realizar de manera similar al paso 132 de la Figura 2) y a continuación se puede realizar un cálculo en 214 en cuanto a si el brillo y el ángulo son mayores que valores umbral definidos. Si los valores del brillo y del ángulo son mayores que los valores umbral entonces se puede proporcionar un aviso en 216 (tal como se ha descrito de manera similar para el paso 134 de la Figura 2). Sin embargo, si los valores del brillo y del ángulo no son mayores que los valores umbral entonces el método termina en 232, el cual puede entonces iniciar una siguiente obtención de imagen por la cámara o el procesamiento de una siguiente imagen obtenida. Se debería observar que los valores umbral se pueden modificar para proporcionar diferentes niveles de confianza o probabilidad de que los fenómenos detectados son indicativos de turbulencia.

Si los valores del brillo y del ángulo son mayores que los valores umbral, lo cual indica que se detecta turbulencia en aire claro, se realiza una determinación en 218 de si existe una protuberancia (por ejemplo, la protuberancia 180) dentro de un rango de ángulos de elevación, el cual puede ser un rango de elevación predeterminado. Si no existe ninguna protuberancia, entonces el método 200 termina en 232. Si existe una protuberancia, entonces las condiciones meteorológicas bajo las cuales fue obtenida la imagen que está siendo procesada en ese momento se determinan en 220. Por ejemplo, un usuario puede introducir las condiciones o se puede obtener la información de una fuente externa como se describe en este documento. En algunas realizaciones, se hace una determinación de si existen cristales de hielo en una capa estrecha (por ejemplo, dentro de 1000 pies de altitud) y, si es así, entonces se realiza en 222 un cálculo geométrico de la distancia como se describe en este documento y se comunica la distancia en 224. Por ejemplo, la distancia estimada de la turbulencia en aire claro que se aproxima se puede mostrar en la cabina.

Si es probable que no se encuentre ningún cristal de hielo en un rango amplio de altitudes, entonces se hace otra fotografía en 226 (por ejemplo, la cámara puede hacer otra fotografía o se puede obtener de la memoria otra fotografía posterior que haya sido obtenida previamente) y se aplica la plantilla en 228 para determinar un nuevo ángulo de elevación para la protuberancia. Entonces, se realiza en 230 un cálculo geométrico para ambas medidas como se describe en este documento para calcular la distancia a la perturbación en aire claro y en 224 se comunica la distancia. El método 220 termina entonces en 232, el cual puede entonces iniciar una siguiente obtención de imagen o procesamiento de una siguiente imagen obtenida.

De esta manera, diferentes realizaciones detectan turbulencia en aire claro contra un fondo visual relativamente sin rasgos (frente a, por ejemplo, métodos que utilizan rasgos visuales bastante fuertes con alta frecuencia espacial dentro de un ángulo sólido bastante grande). Diferentes realizaciones se pueden realizar a la luz del día utilizando fenómenos ópticos asociados con el Sol (por ejemplo, pilares de luz y pilares solares, un falso sol, un arco parhólico, un halo, un parhelio de 120°, un arco circunhorizonta, etc.) y por la noche utilizando fenómenos ópticos asociados a otras fuentes de luz (por ejemplo, la Luna, Venus, Júpiter, satélites brillantes, como la Estación Espacial Internacional, aeronaves distantes, y luces de ciudades distantes).

Se pueden utilizar diferentes realizaciones con diferentes tipos de vehículos aéreos, tales como aeronaves comerciales. Por ejemplo, la Figura 10 ilustra una aeronave 300 que puede incluir un sistema que utilice diferentes realizaciones descritas anteriormente. La aeronave 300 incluye un sistema 310 de propulsión que incluye dos turbosoplantes 312. Los motores 312 son soportados por las alas 314 de la aeronave 300. En otras realizaciones, los motores 312 pueden ser soportados por un fuselaje 316 (por ejemplo, el cuerpo de la aeronave 300) y/o el conjunto de cola 318. El conjunto de cola 318 puede también soportar estabilizadores 320 horizontales y un estabilizador 322 vertical. La cámara 104 se puede montar en cualquiera de los componentes o elementos de la aeronave 300.

Se debería observar que las diferentes realizaciones o partes de ellas, tales como los sistemas descritos en este documento se pueden implementar en hardware, software o en una combinación de los mismos. Las diferentes realizaciones y/o componentes también se pueden implementar como parte de uno o más ordenadores o procesadores. El ordenador o procesador puede incluir un dispositivo informático, un dispositivo de entrada de datos, una unidad de visualización y una interfaz, por ejemplo, para acceder a Internet. El ordenador o procesador puede incluir un microprocesador. El microprocesador puede estar conectado a un bus de comunicación.

El ordenador o procesador puede también incluir una memoria. La memoria puede incluir Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) y Memoria de Sólo Lectura (ROM). El ordenador o procesador puede además incluir un dispositivo de almacenamiento, el cual puede ser una unidad de disco duro o un dispositivo de almacenamiento extraíble tal como un dispositivo de estado sólido, una unidad de disco óptico, y similares. El dispositivo de almacenamiento también puede ser otros medios para cargar programas informáticos u otras instrucciones en el ordenador o procesador.

El ordenador o procesador ejecuta un conjunto de instrucciones que están almacenadas en uno o más elementos de almacenamiento, para procesar los datos introducidos. Los elementos de almacenamiento también pueden almacenar datos u otra información que se desee o se necesite. El elemento de almacenamiento puede ser en la forma de una fuente de información o un elemento de memoria física situado en el interior de una máquina de procesamiento.

El conjunto de instrucciones puede incluir diferentes comandos que dan instrucciones al ordenador o procesador como máquina de procesamiento para que realice operaciones específicas tales como los métodos y procesos de las diferentes realizaciones. El conjunto de instrucciones puede tener la forma de un programa software. El software puede tener diferentes formas, tales como software de sistema o software de aplicación, y el cual puede estar implementado como un medio informático tangible y no transitorio. Además, el software puede tener la forma de una colección de programas o módulos independientes, un módulo de programa dentro de un programa mayor o una parte de un módulo de programa. El software también puede incluir programación modular en forma de

programación orientada a objetos. El procesamiento de datos de entrada por la máquina de procesamiento puede ser en respuesta a órdenes del operador, o en respuesta a resultados de procesamiento anterior, o en respuesta a una petición hecha por otra máquina de procesamiento.

- 5 Tal como se utilizan en este documento, los términos “software” y “firmware” son intercambiables, e incluyen cualquier programa informático almacenado en memoria para ser ejecutado por un ordenador, incluyendo memoria RAM, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, y memoria RAM no volátil (NVRAM). Los tipos de memoria anteriores son sólo ejemplos, y por lo tanto no son limitativos en cuanto a los tipos de memoria utilizables para almacenamiento de un programa informático.

10

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para detectar turbulencia en aire claro (CAT), que comprende:

5 un dispositivo (104) de captura de imágenes apropiado para capturar una o más imágenes de un fenómeno óptico provocado por cristales de hielo orientados de forma no horizontal; y
un procesador (112) informático configurado para recibir las una o más imágenes procedentes del dispositivo (104) de captura de imágenes, analizar las una o más imágenes comparando una o más características de las una o más imágenes con uno o más valores umbral, y determinar, basándose en la comparación, una
10 aparición de turbulencia en aire claro.

2. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual las una o más características incluyen al menos uno de un brillo o una anchura angular de un pilar de luz (140) en las una o más imágenes.

15 3. El sistema de la Reivindicación 2, en el cual el pilar de luz (140) se forma a partir de luz reflejada de una fuente de luz brillante, siendo la fuente de luz brillante durante el día el Sol y por la noche diferentes fuentes de luz, incluido uno de la Luna, Venus, Júpiter, satélites brillantes, una aeronave, o luces de una ciudad.

20 4. El sistema de la Reivindicación 1, que comprende además un almanaque astronómico de fuentes de luz conocidas, y los uno o más valores umbral incluyen al menos uno de un valor umbral de intensidad de luz o un valor de anchura angular.

25 5. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual el procesador (112) está además configurado para producir un aviso correspondiente a una aparición probable de la turbulencia en aire claro.

6. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual el procesador (112) está configurado para estimar una intensidad de la turbulencia en aire claro.

30 7. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual el procesador (112) está configurado para estimar una posición tridimensional de la turbulencia en aire claro utilizando una protuberancia en un pilar de luz en las una o más imágenes.

35 8. El sistema de la Reivindicación 7, en el cual el procesador (112) está configurado para estimar una distancia a la perturbación en aire claro utilizando un ángulo de elevación medido de la protuberancia a lo largo de un periodo de tiempo.

9. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual el dispositivo (104) de captura de imágenes es uno de una cámara fotográfica digital o una cámara de vídeo digital.

40 10. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual el dispositivo (104) de captura de imágenes está montado en un vehículo aéreo.

45 11. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual las una o más características comprenden una característica de un pilar de luz (140) y el procesador (112) está además configurado para utilizar un ajuste óptimo de plantilla para identificar el pilar de luz (140).

50 12. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual las una o más características incluyen al menos uno de un brillo o anchura angular de un pilar de luz (140) en las una o más imágenes y los uno o más valores umbral definen una probabilidad de que las una o más características de la imagen correspondan a turbulencia en aire claro.

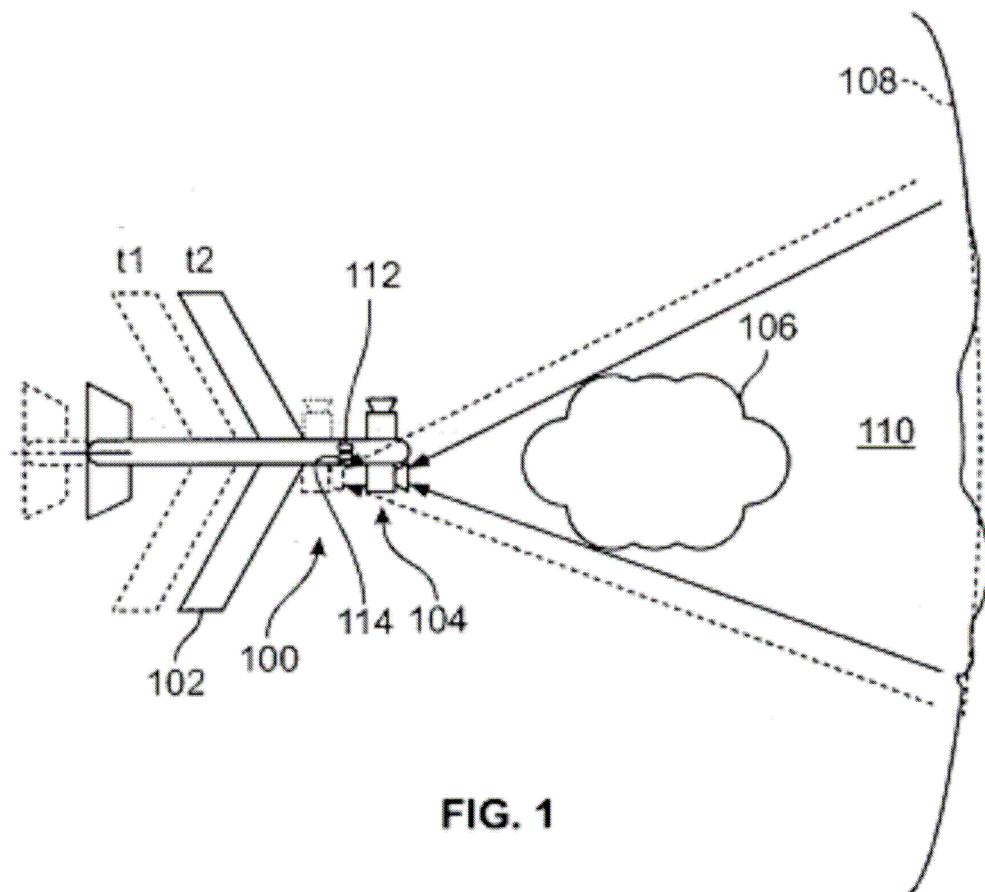
13. El sistema de la Reivindicación 1, en el cual los fenómenos ópticos comprenden al menos uno de un pilar de luz, un falso sol, un arco parhólico, un halo, un parhelio de 120°, o un arco circunhorizontal.

14. Un método para detectar turbulencia en aire claro, comprendiendo el método:

55 recibir (126) procedente del dispositivo (104) de captura de imágenes montado en un vehículo (102) aéreo una o más imágenes de un fenómeno óptico provocado por cristales de hielo orientados de forma no horizontal;
analizar (132) con un procesador (112) informático las una o más imágenes comparando las una o más
60 características de las una o más imágenes con uno o más valores umbral; y
determinar (134) basándose en la comparación, utilizando un procesador informático, una aparición de turbulencia en aire claro.

65 15. El método de la Reivindicación 14, en el cual el análisis comprende utilizar como las una o más características al menos uno de un brillo o una anchura angular de un pilar de luz (140) en las una o más imágenes, donde el pilar de

luz (140) se forma a partir de luz reflejada de una fuente de luz brillante, siendo la fuente de luz brillante durante el día un fenómeno óptico asociado con el Sol y por la noche un fenómeno óptico asociado con diferentes fuentes de luz, incluyendo una de la Luna, Venus, Júpiter, satélites brillantes, una aeronave, o luces de una ciudad.



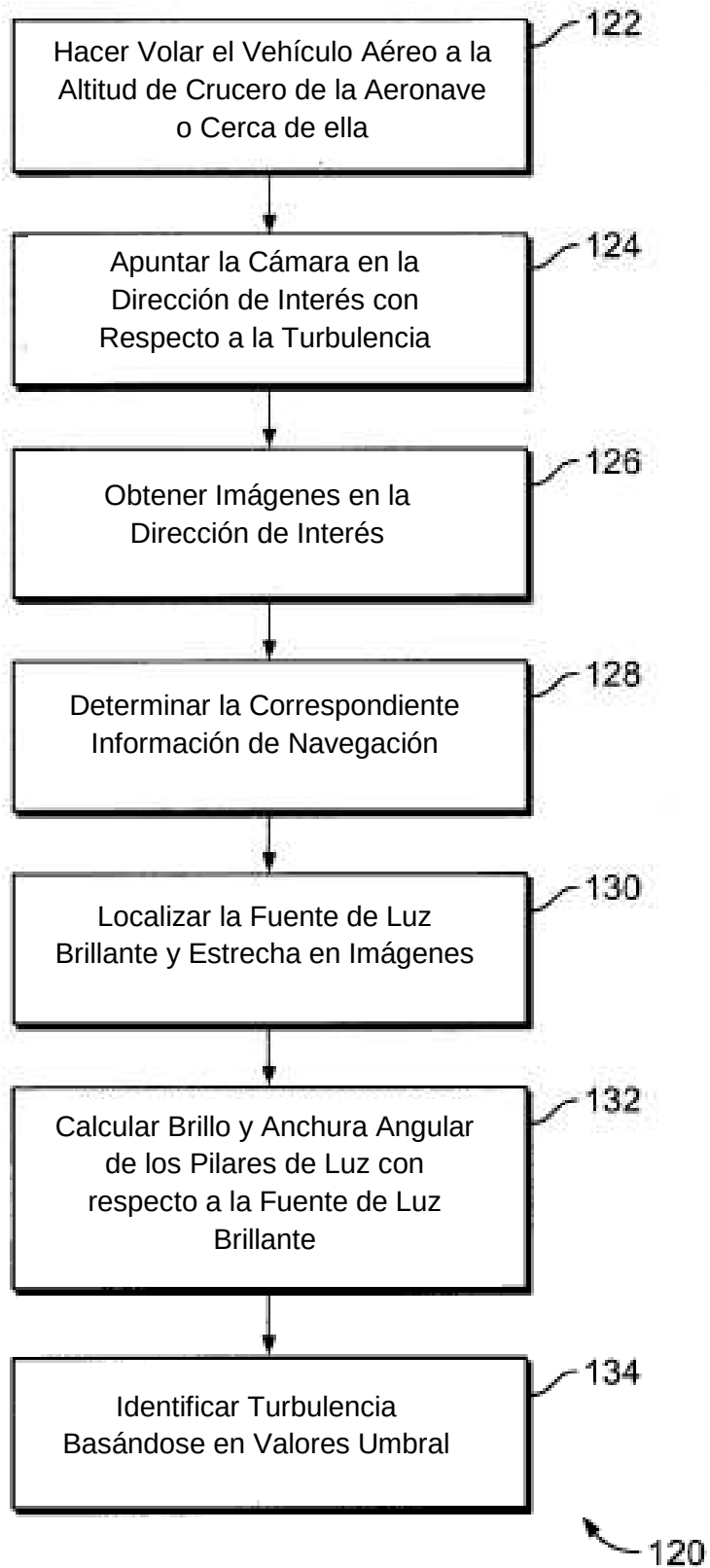


FIG. 2



FIG. 3

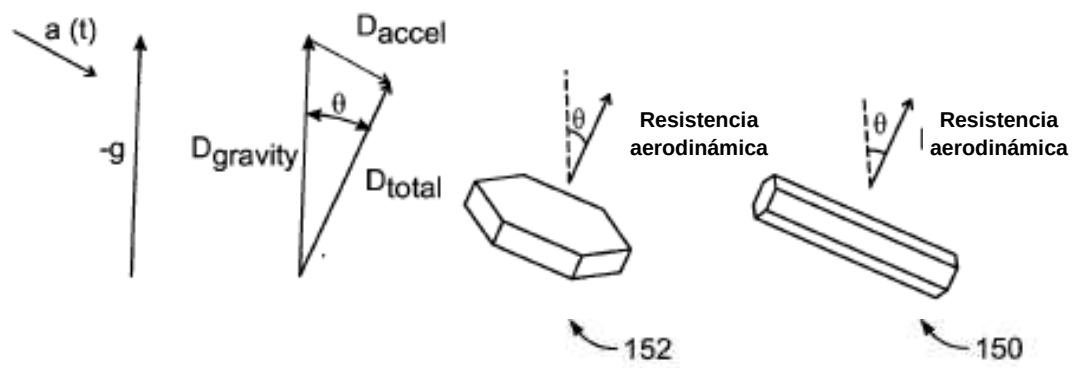
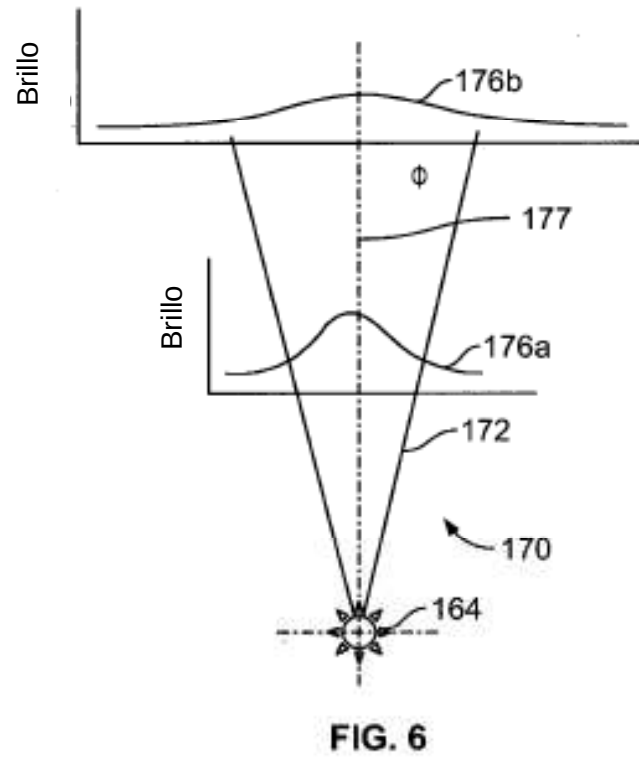
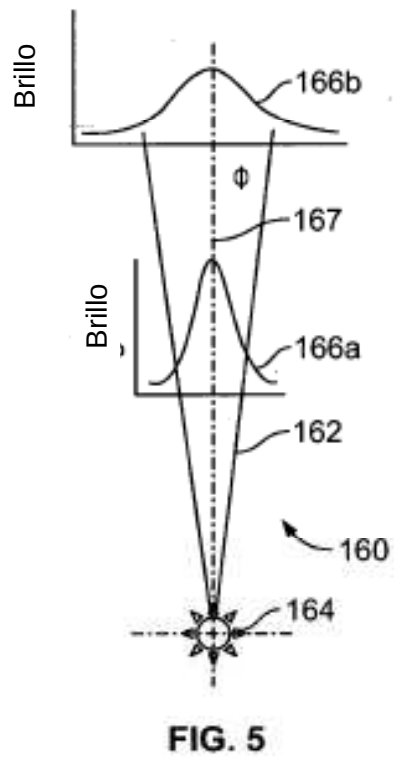
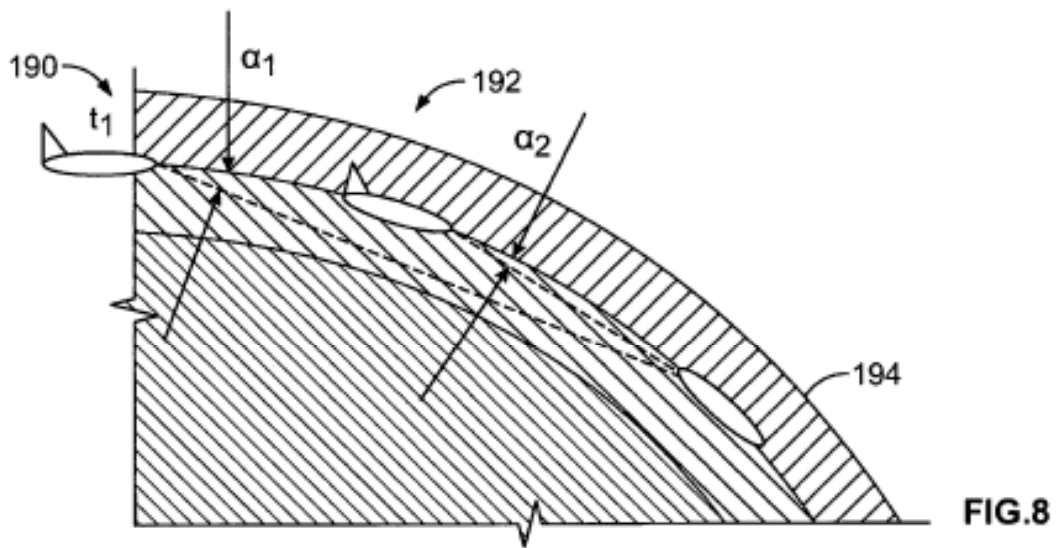
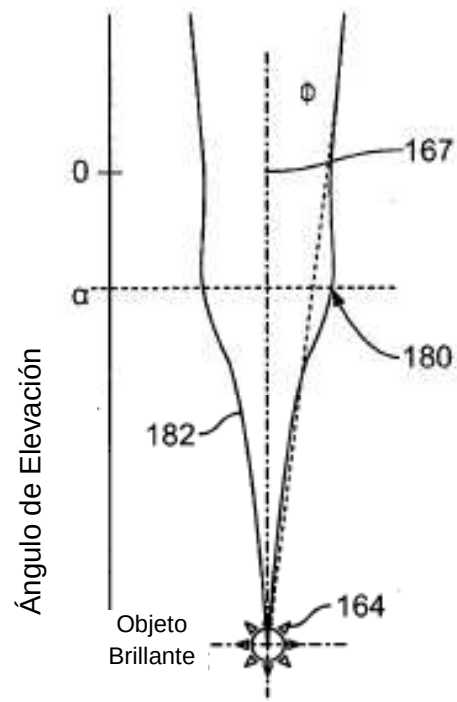
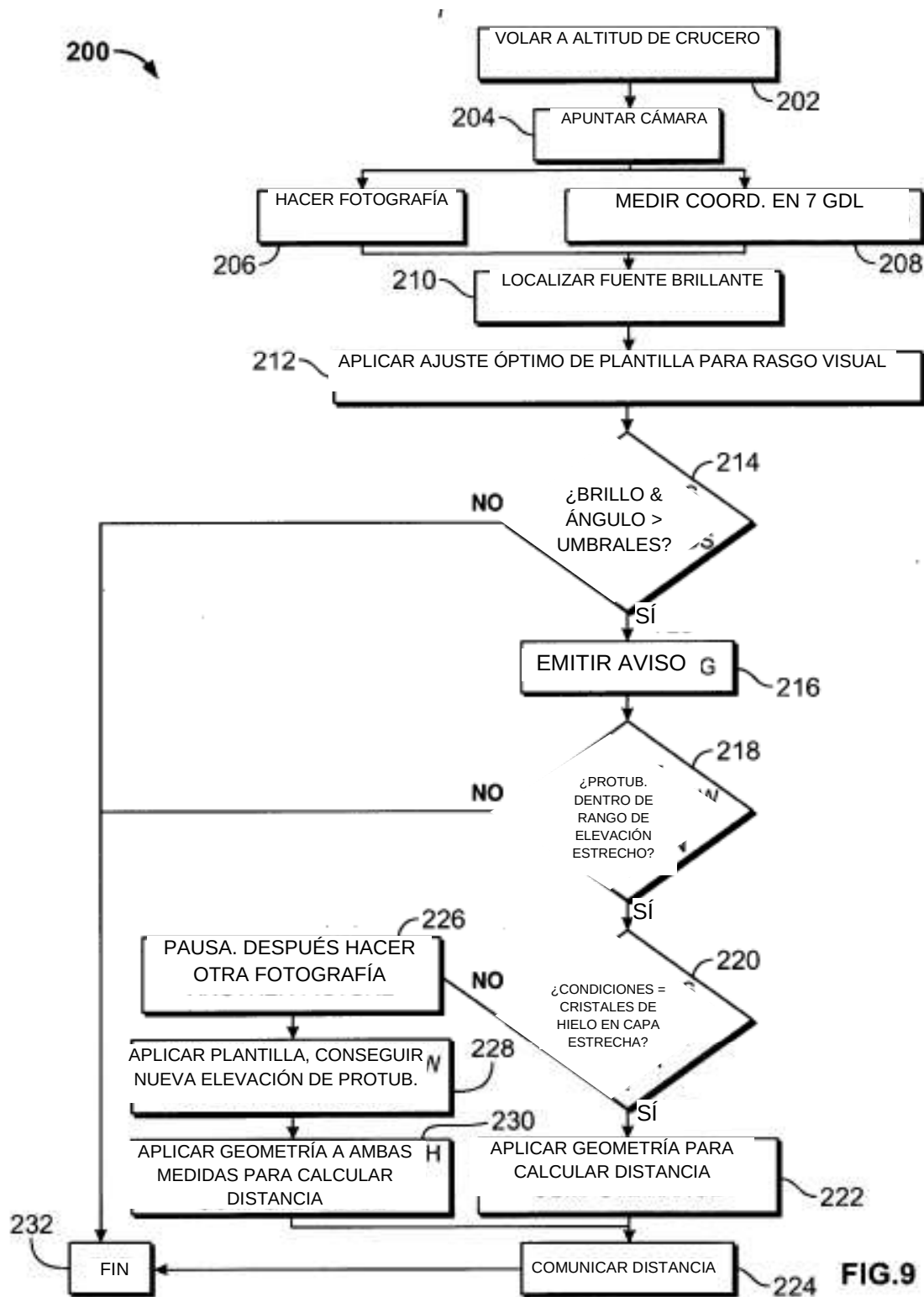


FIG. 4







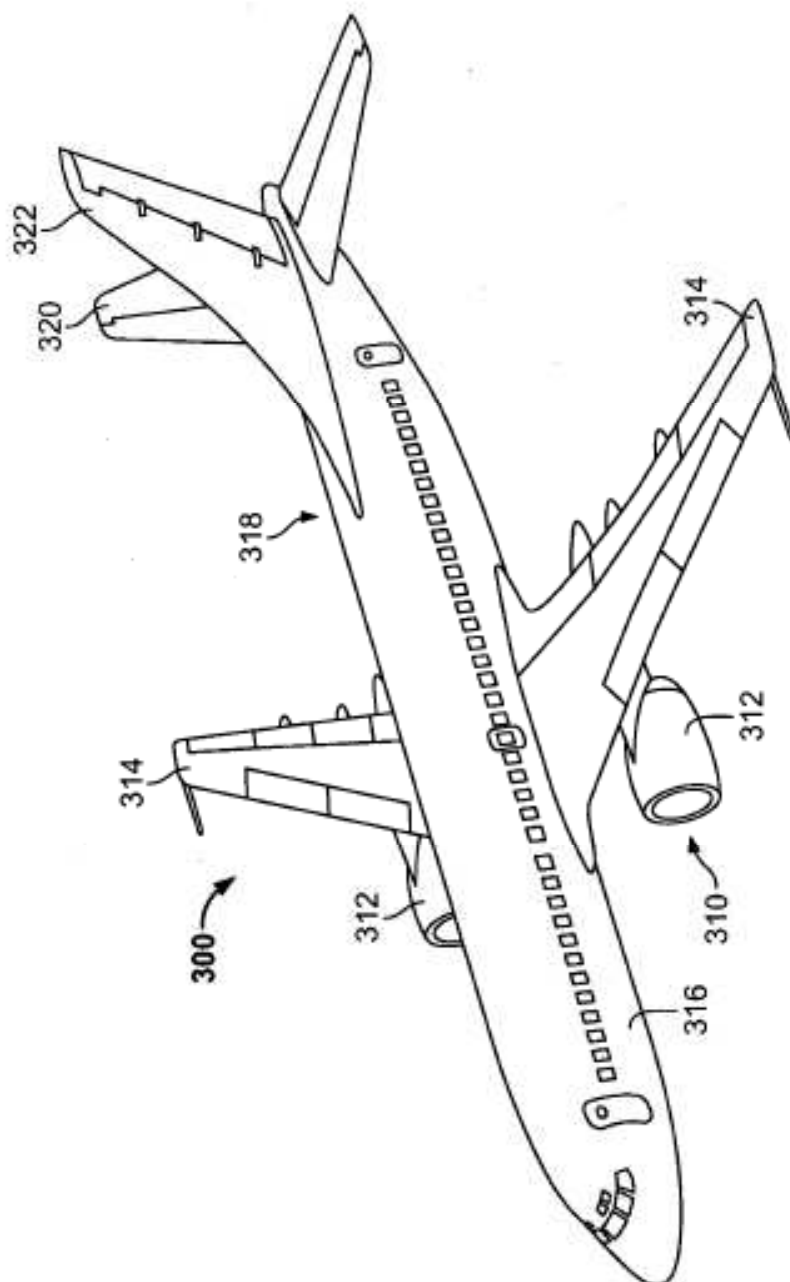


FIG. 10