

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 464**

51 Int. Cl.:

**G03B 37/00** (2006.01)

**G01C 11/02** (2006.01)

**B64D 47/08** (2006.01)

**G03B 37/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2015 PCT/AU2015/050344**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2015 WO15192188**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2015 E 15810589 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 3158396**

54 Título: **Sistemas de cámaras aéreas de área amplia**

30 Prioridad:

**20.06.2014 US 201414310523**

**05.09.2014 US 201414478380**

**15.04.2015 US 201514687544**

**21.05.2015 US 201514718472**

**21.05.2015 US 201514718528**

**10.06.2015 US 201514735504**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.09.2019**

73 Titular/es:

**NEARMAP AUSTRALIA PTY LTD (100.0%)  
Tower One International Towers Sydney, Level 4,  
100 Barangaroo Avenue  
Sydney NSW 2000, AU**

72 Inventor/es:

**LAPSTUN, PAUL;  
LUPTON, TODD WILLIAM;  
TARLINTON, MARK HAROLD;  
BLEADS, DAVID ARNOLD;  
TOTH, ZOLTAN y  
MILLIN, ANDREW**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 724 464 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 de cámaras aéreas de área amplia

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de cámaras aéreas eficientes, y a métodos eficientes para crear ortomosaicos a partir de fotografías aéreas.

## 10 Antecedentes

Los mosaicos georeferenciados con precisión a partir de ortofotos, denominados ortomosaicos, se están convirtiendo en alternativas populares a los mapas pictóricos tradicionales porque pueden crearse automáticamente a partir de fotografías aéreas, y porque muestran detalles útiles reales del terreno.

15 La creación de ortomosaicos precisos a partir de fotos aéreas está bien descrita en la literatura. Véase, por ejemplo, los libros *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*, Cuarta edición (Wolf et al.) (McGraw-Hill 2014), y *Manual of Photogrammetry*, Sexta edición (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) 2013).

20 La creación de un ortomosaico requiere la captura sistemática de fotos aéreas superpuestas del área de interés, tanto para asegurar una cobertura completa del área de interés como para asegurar que haya suficiente redundancia en las imágenes para permitir un ajuste en bloque preciso, la ortorectificación y la alineación de las fotos.

25 El ajuste en bloque es el proceso mediante el cual se refinan las estimaciones redundantes de los puntos del terreno y las posturas de las cámaras. El ajuste en bloque moderno se describe en detalle en "Bundle Adjustment- A Modern Synthesis" (Triggs et al.) en *Vision Algorithms: Theory and Practice* (Lecture Notes in Computer Science, Volumen 1883, Springer 2000).

30 El ajuste en bloque puede operar sobre las posiciones de puntos de tierra identificados manualmente o, cada vez más, sobre las posiciones de características de tierra identificadas automáticamente que se hacen coincidir automáticamente entre fotos superpuestas.

35 Las fotos aéreas superpuestas generalmente se capturan haciendo pasar una aeronave de reconocimiento con un patrón serpenteante sobre el área de interés. La aeronave de reconocimiento lleva un sistema de cámaras aéreas, y el patrón de vuelo serpenteante asegura que las fotos capturadas por el sistema de cámaras se superpongan a lo largo de las líneas de vuelo dentro del patrón de vuelo, así como entre líneas de vuelo adyacentes.

40 Una redundancia suficiente para un ajuste en bloque preciso generalmente determina la elección de una superposición longitudinal (hacia delante) de al menos el 60 %, es decir, entre fotos sucesivas a lo largo de una línea de vuelo, y una superposición lateral de al menos el 40 %, es decir, entre fotos con líneas de vuelo adyacentes. Esto a menudo se denomina superposición 60/40.

45 La superposición elegida determina tanto el tiempo de vuelo requerido como el número de fotos capturadas (y posteriormente procesadas) requeridas. Por lo tanto, un nivel alto de superposición resulta costoso, tanto en términos de tiempo de vuelo como de procesamiento, y las opciones prácticas de superposición suponen un compromiso entre el costo y la precisión ortomosaica.

50 El uso de un sistema de cámaras de resolución múltiple proporciona una muy buena forma de reducir la superposición sin comprometer excesivamente la precisión. La captura y el procesamiento de fotos aéreas de resolución múltiple se describen en las Patentes de Estados Unidos n.º 8.497.905 y 8.675.068 (Nixon). Los conjuntos de fotos de resolución múltiple permiten derivar la precisión ortomosaica a partir de la superposición entre fotos de superposición de baja resolución, mientras que el detalle ortomosaico se deriva de las fotos de detalle que  
55 presentan una resolución más alta. La publicación de solicitud de patente de Estados Unidos n.º 2012/0200703 describe un sistema para proporcionar una imagen de video estabilizada, con línea de Sitio continuamente desplazable y controlable y campo de visión ajustable, para su uso en un vehículo aéreo no tripulado. La patente de Estados Unidos n.º 5.625.409 describe el uso de un sistema de cámaras de resolución múltiple. La publicación de solicitud de patente de Estados Unidos n.º 2009/0015674 describe un sistema de formación óptica de imágenes para  
60 un vehículo aéreo no tripulado.

Las patentes de Estados Unidos n.º 8.497.905 y 8.675.068 (Nixon) describen una cápsula de cámara externa acoplable a una aeronave pequeña. Una cápsula externa presenta dos desventajas clave: la cápsula es altamente específica para la aeronave, y el espacio dentro de la cápsula es limitado. Una cápsula para aeronave específica  
65 limita la elección de la aeronave y, por lo tanto, limita los parámetros operativos tales como el intervalo de altitud y, por el contrario, para su adaptación a diferentes aeronaves se requiere un esfuerzo significativo de diseño, prueba y

certificación. El espacio restringido dentro de la cápsula limita el tamaño y, por lo tanto, la distancia focal de las lentes de la cámara, lo que a su vez limita el intervalo de altitudes operativas para una resolución objetivo de imagen particular.

5 Sumario de la invención

La invención se define mediante la reivindicación 1 independiente del sistema y la reivindicación 16 independiente del método. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

10 Breve descripción de las figuras.

15 La Fig. 1 muestra una vista frontal de una unidad HyperCamera V5-300, es decir, mirando hacia delante hacia la parte delantera de la aeronave.

La Fig. 2 muestra una vista posterior de la unidad de cámaras.

La Fig. 3 muestra una vista superior de la unidad de cámaras.

20 La Fig. 4 Muestra una vista inferior de la unidad de cámaras.

La Fig. 5 muestra una vista despiezada de la unidad de cámaras.

25 La Fig. 6 muestra una vista detallada de las cámaras y el soporte central de la unidad de cámaras, con el campo de visión de cada cámara.

La Fig. 7 muestra la unidad de cámaras desde abajo, con sus campos de visión combinados pasando a través de la abertura de un orificio para cámara de la aeronave.

30 La Fig. 8 muestra la vista general del campo de visión y los cinco campos de visión de detalle superpuestos de las cámaras.

La Fig. 9 muestra la placa adaptadora de la HyperCamera, montada sobre unas pistas de asiento en el suelo de una aeronave.

35 La Fig. 10 muestra una vista detallada de la unidad de cámaras, la placa adaptadora y las pistas de asiento en el suelo de una aeronave.

40 La Fig. 11 muestra una vista despiezada de las cámaras y del soporte central de una versión de ángulo más amplio de la unidad de cámara.

La Fig. 12 muestra el campo de visión general y los cinco campos de visión de detalle superpuestos de la unidad HyperCamera V5-180.

45 La Fig. 13 muestra una vista en planta de la HyperCamera, instalada en una aeronave Cessna 208.

La Fig. 14 muestra una vista en planta detallada de la HyperCamera V5-300, instalada en una aeronave Cessna 208.

50 La Fig. 15 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V5-300, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados.

La Fig. 16 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V5-300, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados.

55 La Fig. 17 muestra los campos de visión superpuestos de tres tomas sucesivas.

La Fig. 18 muestra los campos de visión superpuestos de tomas en líneas de vuelo adyacentes.

60 La Fig. 19 muestra los campos de visión de detalle agregados superpuestos de una sucesión de tomas, a lo largo de tres líneas de vuelo adyacentes.

La Fig. 20 muestra un diagrama de bloques de un sistema de alimentación y control para la HyperCamera.

65 La Fig. 21 muestra un flujo de proceso fotogramétrico para crear de manera eficiente un ortomosaico a partir de fotos de la HyperCamera de resolución múltiple.

## ES 2 724 464 T3

- La Fig. 22 muestra una tabulación de la distancia de muestreo respecto a tierra (GSD), en función de la altitud y una distancia focal de cámara de entre 100 mm y 600 mm.
- 5 La Fig. 23 muestra una tabulación de la distancia de muestreo respecto a tierra (GSD), en función de la altitud y una distancia focal de cámara de entre 700 mm y 1200 mm.
- Las Figs. 24A, 24B y 24C muestran la vista general del campo de visión y los campos de visión superpuestos de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de 3.657,6 metros.
- 10 Las Figs. 25A, 25B y 25C muestran los campos de visión superpuestos de tres tomas sucesivas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de 3.657,6 metros.
- Las Figs. 26A, 26B y 26C muestran los campos de visión superpuestos de tomas en líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de 3.657,6 metros.
- 15 La Fig. 27 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600, que consta de dos unidades HyperCamera V5-600, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados.
- 20 La Fig. 28 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600, que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en la cabina de la aeronave, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada unidad de cámara.
- 25 La Fig. 29 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600, que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en una cápsula de carga estándar montada sobre el vientre de la Cessna 208, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada unidad de cámara.
- 30 La Fig. 30 muestra un alzado frontal de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados. La línea discontinua muestra la división entre los campos de visión de las unidades de cámara.
- 35 La Fig. 31 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en la cabina de la aeronave, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada unidad de cámara.
- 40 La Fig. 32 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en una cápsula de carga estándar montada sobre el vientre de la Cessna 208, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada unidad de cámara.
- 45 Las Figs. 33A, 33B y 33C muestran dos huellas superpuestas de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 7.315,2 metros. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene un espacio de 1 km.
- Las Figs. 34A, 34B y 34C muestran dos huellas superpuestas de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 10972,8 metros. La cuadrícula discontinua en las figuras supone una separación de 1 km.
- 50 La Fig. 35A y la Fig. 35B muestran unas elevaciones frontal y lateral, respectivamente, de una aeronave Cessna 208 que transporta cinco HyperCameras instaladas en la cabina de la aeronave: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua izquierda, una F10-600 oblicua derecha y una B10-600 oblicua posterior, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada una.
- 55 La Fig. 36 muestra elevaciones laterales de una aeronave Cessna 208 que transporta cinco HyperCameras, instaladas en una cápsula de carga estándar montada en el vientre de la Cessna 208: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua derecha, una F10-600 oblicua frontal y una B10-600 oblicua posterior, y la vista general resultante y los campos de visión de detalle agregados de cada una.
- 60 La Fig. 37 muestra una vista inferior de la unidad de cámaras, con una disposición alternativa de las cámaras.
- La Fig. 38 muestra una unidad de cámara implementada como un conjunto de cámaras, y sus respectivos ejes ópticos.
- 65 La Fig. 39 muestra una unidad de cámaras implementada como una sola cámara multiplexada en el tiempo, a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas.

- La Fig. 40 muestra una configuración alternativa de una unidad de cámara implementada como una sola cámara multiplexada en el tiempo, a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas.
- 5 La Fig. 41 muestra una unidad de cámara implementada como una sola cámara multiplexada en el tiempo, a través de un espejo orientable para producir múltiples trayectorias ópticas, con un espejo orientable para la compensación de movimiento angular (AMC).
- La Fig. 42 muestra un diagrama y una ecuación relacionados con el cálculo del campo de visión y la resolución de una cámara.
- 10 La Fig. 43 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo del campo de visión de un conjunto de cámaras.
- La Fig. 44 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo de la resolución de cámaras inclinadas.
- 15 La Fig. 45 muestra un módulo de cámara orientable.
- La Fig. 46A muestra el módulo de cámara orientable, con su espejo colocado para la formación de imágenes en un ángulo de visión vertical.
- 20 La Fig. 46B muestra el módulo de cámara orientable, con su espejo colocado para la formación de imágenes en un ángulo de visión oblicuo.
- La Fig. 47 muestra una unidad de HyperCamera WS-300, que consta de dos módulos de cámara de detalle orientables de medio campo y dos cámaras de visión general fijas.
- 25 La Fig. 48A muestra la elevación y la planta del campo de visión de gran angular de una unidad de cámara WS-300 que opera a 4.876,8 metros.
- La Fig. 48B muestra la elevación y la planta del campo de visión de gran angular de una unidad de cámara WS-600 que opera a 8.534,4 metros.
- 30 La Fig. 49A muestra una vista en planta esquemática de un módulo de cámara de detalle orientable de campo completo.
- 35 La Fig. 49B muestra una vista en planta esquemática de un módulo de cámara de detalle orientable de campo completo, que comprende un par de módulos de cámara de detalle orientable de medio campo.
- La Fig. 49C muestra una vista esquemática en planta de un módulo de cámara de visión general orientable de campo completo.
- 40 La Fig. 49D muestra una vista en planta esquemática de una unidad de cámaras, que comprende un par de módulos de cámara de detalle orientables de medio campo y dos cámaras de visión general.
- 45 La Fig. 49E muestra una vista esquemática en planta de una unidad de cámaras, que comprende un módulo de cámara de detalle orientable de campo completo y dos cámaras de visión general.
- La Fig. 50A muestra una vista en planta esquemática de una unidad de cámaras, que comprende un módulo de cámara de detalle orientable de campo completo y un módulo de cámara de visión general orientable de campo completo.
- 50 La Fig. 50B muestra una vista en planta de un conjunto de campos de visión general y de detalle, verticales y oblicuos de cuatro vías.
- 55 La Fig. 51A muestra una elevación del campo de visión de una unidad de cámara gran angular, que comprende campos de visión verticales, oblicuos e intersticiales.
- La Fig. 51B muestra la elevación y el plano del campo de visión de gran angular continuo de una unidad de cámara WS-600 que opera a 8.534,4 metros.
- 60 La Fig. 52A muestra los campos de visión laterales superpuestos de una unidad de cámara gran angular, a partir de tres líneas de vuelo adyacentes.
- La Fig. 52B muestra los campos de visión laterales superpuestos de una unidad de cámara gran angular, a partir de tres líneas de vuelo adyacentes, mostrando campos de cámara individuales.
- 65

- La Fig. 53A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600, con cámaras de visión general y de detalle que operan a 8.534,4 metros.
- 5 La Fig. 53B muestra una vista en planta del campo de visión de una unidad de cámaras WS-600, con solo cámaras de detalle que operan a 8.534,4 metros.
- La Fig. 53C muestra una unidad de cámaras, que consta de dos módulos de cámara de detalle orientables de campo completo.
- 10 La Fig. 53D muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de doble campo que opera a 8.534,4 metros.
- La Fig. 54 muestra una unidad de HyperCamera WS-300, que consta de cuatro módulos de cámara de detalle orientables de medio campo dispuestos en una configuración en X, y dos cámaras de visión general fija.
- 15 La Fig. 55A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-300, en una configuración en X, que opera a 4.876,8 metros.
- La Fig. 55B muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600, en una configuración en X, que opera a 8.534,4 metros.
- 20 La Fig. 56A muestra una unidad de cámaras que consta de dos pares de módulos de cámara de detalle, orientables de medio campo, dispuestos en una configuración en X.
- La Fig. 56B muestra una unidad de cámaras que consta de dos módulos de cámara de detalle, orientables de campo completo, dispuestos ortogonalmente.
- 25 La Fig. 57A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 con una configuración en X + 1, que opera a 8.534,4 metros.
- 30 La Fig. 57B muestra una unidad de cámaras que consta de dos pares de módulos de cámara de detalle, orientables de medio campo, dispuestos en una configuración en X, así como un módulo de cámara de detalle orientable de campo completo.
- 35 La Fig. 58A muestra una vista en planta de tres tomas sucesivas de una unidad de cámaras WS-600, con una configuración en X, que opera a 8.534,4 metros.
- La Fig. 58B muestra una vista en planta de tomas desde dos líneas de vuelo adyacentes de una unidad de cámaras WS-600, con una configuración en X, que opera a 8.534,4 metros.
- 40 La Fig. 59 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo del campo de visión longitudinal y la velocidad de disparo de una cámara aérea.
- La Fig. 60 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el cálculo del campo de visión lateral de un sistema de cámaras aéreas, y la velocidad de captura de área.
- 45 La Fig. 61 muestra un diagrama y ecuaciones relacionadas con el efecto de rotación del campo de visión sobre las tomas del sistema de cámaras aéreas y las velocidades de captura de fotograma y de área.
- 50 La Fig. 62 muestra un diagrama de bloques electrónico y mecánico de una unidad de cámaras, con módulos de cámara orientables.
- La Fig. 63 muestra un diagrama de bloques electrónico y mecánico de un módulo de cámara orientable.
- 55 La Fig. 64 muestra una tabulación, para una unidad de cámaras orientables de 36 megapíxeles con una configuración en X, y una GSD de 7 cm, de velocidad de disparo, velocidad secuencial y velocidad de captura de área en función de la altitud, la velocidad de la aeronave y ángulo de campo de visión utilizable.
- 60 La Fig. 65 muestra una tabulación, para una unidad de cámaras orientables de 25 megapíxeles con una configuración en X, y una GSD de 5 cm, de velocidad de disparo, velocidad secuencial y velocidad de captura de área en función de la altitud, la velocidad de la aeronave y ángulo de campo de visión utilizable.
- 65 La Fig. 66 muestra una tabulación, para una unidad de cámaras orientables de 12 megapíxeles con una configuración en X, y una GSD de 5 cm, de velocidad de disparo, velocidad secuencial y velocidad de captura de área en función de la altitud, la velocidad de la aeronave y ángulo de campo de visión utilizable.

- La Fig. 67A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de tres campos, que opera a 8.534,4 metros.
- 5 La Fig. 67B muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de cuatro campos, que opera a 8.534,4 metros.
- La Fig. 68A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de cinco campos, que opera a 8.534,4 metros.
- 10 La Fig. 68B muestra una vista en planta del campo de visión escalonado de una unidad de cámaras WS-600 de campo único, que opera a 8.534,4 metros.
- La Fig. 69 muestra una vista en planta de vectores de movimiento sistemáticos a corregir.
- 15 La Fig. 70 muestra un gráfico de la posición angular en función del tiempo para un espejo multiplexor y un espejo de compensación de movimiento, cuando se utiliza este último para corregir el movimiento del primero.
- La Fig. 71 muestra un gráfico del movimiento lineal de un espejo multiplexor modulado por una senoide, ralentizando periódicamente el espejo.
- 20 La Fig. 72A muestra un módulo de cámara orientable alternativo, con su espejo posicionado para la formación de imágenes en un ángulo de visión vertical.
- La Fig. 72B muestra el módulo de cámara orientable, con su espejo colocado para la formación de imágenes con un ángulo de visión oblicuo.
- 25 La Fig. 73A muestra una vista en planta del módulo de cámara orientable, con su espejo colocado para la formación de imágenes con un ángulo de visión oblicuo.
- La Fig. 73B muestra un alzado posterior del módulo de cámara orientable, con su espejo colocado para la formación de imágenes con un ángulo de visión oblicuo.
- 30 La Fig. 74 muestra una vista en planta de una unidad de HyperCamera WS-300, que comprende dos módulos de cámara de detalle orientables de campo completo, y una cámara de visión general fija.
- 35 La Fig. 75A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600, con una configuración en X, utilizando el módulo de cámara orientable alternativo y operando a 8.534,4 metros.
- La Fig. 75B muestra una vista en planta de tres tomas sucesivas de la unidad de cámaras WS-600 con configuración en X, utilizando el módulo de cámara orientable alternativo y operando a 8.534,4 metros.
- 40 La Fig. 76A muestra un módulo de cámara orientable de doble campo.
- La Fig. 76B muestra detalles de la disposición de espejo de la Fig. 76A.
- 45 La Fig. 77 muestra una vista en planta de la unidad de HyperCamera WS-300 de la Fig. 76A, compuesta por un módulo de cámara de detalle orientable de doble campo y una cámara de visión general fija.
- La Fig. 78A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámara WS-600 de cuatro campos, utilizando el módulo de cámara orientable alternativo y operando a 8.534,4 metros.
- 50 La Fig. 78B muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámara WS-600 de cinco campos, utilizando el módulo de cámara orientable alternativo y operando a 8.534,4 metros.

55 Listado de números de referencia

- 100 Unidad de cámaras.  
 110 Cuerpo de cámara de detalle.  
 60 112 Cuerpo de cámara de visión general.  
 114 Lente de cámara de detalle.  
 116 Lente de cámara de visión general.  
 118 Lente de cámara de propósito especial (p. ej., NIR).  
 120 Bastidor.  
 65 122 Soporte central del bastidor.  
 124 Soporte lateral del bastidor.

	126	Soporte trasero del bastidor.
	128	Soporte frontal del bastidor.
	130	Bloque de punto de montaje.
	132	Punto de montaje.
5	134	Perno de montaje.
	140	Montura para cámara de detalle.
	142	Montura para cámara de visión general.
	144	Abrazadera para lente de cámara de detalle.
	146	Abrazadera para lente de cámara de visión general.
10	150	Caja de distribución de alimentación y control.
	160	Campo de visión de detalle.
	162	Campo de visión de detalle lateral.
	164	Campo de visión de detalle longitudinal.
	170	Campo de visión general.
15	172	Campo de visión general lateral.
	174	Campo de visión general longitudinal.
	180	Campo de visión de detalle agregado.
	182	Campo de visión de detalle agregado lateral.
	190	Campo de visión general agregado.
20	192	Campo de visión general agregado lateral.
	194	Campo de visión nominal de 30 grados.
	196	Parrilla de un km.
	200	Placa adaptadora.
	202	Fijación de pista de asiento.
25	210	Suelo de la aeronave.
	212	Orificio para cámaras.
	214	Pista de asiento.
	216	Abertura de placa adaptadora.
	220	Dirección de vuelo.
30	222	Trayectoria de vuelo.
	224	Posición de captura.
	226	Línea de vuelo.
	230	Aeronave de reconocimiento aéreo.
	232	Cápsula montada en vientre de aeronave de reconocimiento aéreo.
35	250	Ángulo de campo de visión (beta).
	252	Distancia focal (f).
	254	Altitud sobre el nivel del suelo (a).
	256	Anchura/s de sensor de imagen.
	258	Amplitud de barrido (w).
40	260	Tamaño de píxel de sensor de imagen (p).
	262	Distancia de muestreo respecto a tierra (GSD) (g).
	270	Ángulo de campo de visión agregado (gamma).
	272	Superposición angular de cámara (omega).
	278	Amplitud de barrido agregada (w (N)).
45	280	Ángulo de inclinación de cámara (theta).
	282	GSD de cámara inclinada (g(theta)).
	284	Campo de visión de cámara inclinada.
	286	Cámara inclinada con GSD de plano focal inclinado (h(theta)).
	288	Cámara inclinada con campo de visión de plano focal inclinado.
50	300	Ordenador.
	302	Pantalla para piloto.
	304	Receptor del Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS).
	306	Unidad de Medición Inercial (IMU).
	308	Interfaz de cámaras.
55	310	Unidad de control de cámaras (CCU).
	320	Unidad de batería.
	322	Potencia auxiliar de aeronave.
	324	Unidad de potencia de tierra (GPU).
	326	Convertidores DC-DC.
60	330	Unidad(es) de compensación de movimiento angular (AMC).
	400	Fotos de detalle.
	402	Fotos de visión general.
	404	Ortomosaico.
	410	Paso de coincidencia de características.
65	412	Paso de resolución de posturas y posiciones.
	414	Paso de ortorectificación.



	416	Paso de mezclado.
	510	Campo de visión de detalle oblicuo derecho.
	512	Campo de visión de detalle oblicuo derecho lateral.
	514	Campo de visión de detalle oblicuo derecho longitudinal.
5	520	Campo de visión de visión oblicuo derecha.
	522	Campo de visión general oblicuo derecho lateral.
	524	Campo de visión de visión general oblicuo longitudinal derecho.
	530	Campo de visión de detalle oblicuo izquierdo.
	532	Campo de visión de detalle lateral oblicuo izquierdo.
10	534	Campo de visión de detalle oblicuo longitudinal izquierdo.
	540	Campo de visión general izquierdo oblicuo.
	542	Campo de visión general oblicuo izquierdo lateral.
	544	Campo de visión general oblicuo izquierdo longitudinal.
	550	Campo de visión de detalle frontal oblicuo.
15	552	Campo de visión de detalle frontal oblicuo lateral.
	554	Campo de visión de detalle oblicuo frontal longitudinal.
	560	Campo de visión general oblicuo frontal.
	562	Campo de visión general oblicuo frontal lateral.
	564	Campo de visión general oblicuo frontal longitudinal.
20	570	Campo de visión de detalle oblicuo posterior.
	572	Campo de visión de detalle oblicuo posterior lateral.
	574	Campo de visión de detalle oblicuo posterior longitudinal.
	580	Campo de visión general oblicuo posterior.
	582	Campo de visión general oblicuo posterior lateral.
25	584	Campo de visión general oblicuo posterior longitudinal.
	600	Cámara.
	602	Eje óptico de cámara.
	604	Espejo multiplexor orientable.
	606	Espejo fijo.
30	608	Espejo de compensación de movimiento orientable.
	610	Módulo de cámara orientable.
	612	Campo de visión de cámara.
	614	Módulo de cámara de detalle orientable de medio campo.
	616	Módulo de cámara de detalle orientable de campo completo.
35	618	Módulo de cámara de visión general orientable de campo completo.
	620	Eje de dirección de cámara de detalle.
	622	Eje de dirección de cámara de visión general.
	624	Módulo de cámara orientable de doble campo.
	626	Módulo de cámara orientable de detalle de doble campo.
40	630	Motor lineal de espejo multiplexor.
	632	Varilla accionadora de espejo multiplexor.
	634	Montura de espejo multiplexor.
	636	Etapa de espejo de compensación de movimiento.
	638	Etapa de espejo multiplexor.
45	640	Controlador de espejo multiplexor.
	642	Controlador de espejo de compensación de movimiento.
	644	Sensor de espejo multiplexor.
	646	Sensor de espejo de compensación de movimiento.
	648	Motor de rotación de espejo multiplexor.
50	650	Campo de visión de detalle de gran angular agregado.
	652	Campo de visión general de gran angular agregado.
	654	Campo de visión intersticial.
	656	Espejo de conmutación.
	658	Motor de rotación de espejo de conmutación.
55	660	Campo de visión de detalle combinado con configuración en X.
	670	Ángulo de campo de visión longitudinal (delta).
	672	Huella longitudinal 672 (b).
	674	Superposición longitudinal (c).
	676	Separación longitudinal de captura (d).
60	678	Velocidad respecto a tierra de la aeronave (v).
	680	Ángulo de campo de visión vertical utilizable (phi).
	682	Separación de línea de vuelo lateral (e).
	684	Eje del campo de visión lateral.
	686	Ángulo de rotación del eje del campo de visión (lambda).
65	688	Eje de campo de visión lateral girado.
	690	Separación longitudinal de capturas con eje girado (d(lambda)).

- 692 Separación de líneas de vuelo con eje girado ( $e(\lambda)$ ).
- 700 Módulo de entrada/salida de imágenes.
- 702 Dispositivo de almacenamiento de imágenes.
- 704 Dispositivo de entrada para piloto.
- 5 706 Piloto automático.
- 170 Microcontrolador de cámaras.
- 712 Interfaz de control de módulo de cámara.
- 714 Interfaz de control de cámaras.
- 716 Interfaz de flujo de imágenes.
- 10 720 Vector de movimiento de dirección.
- 722 Vector de movimiento hacia delante.
- 724 Vector de movimiento resultante.
- 730 Posición angular ( $\gamma$ ).
- 732 Tiempo ( $t$ ).
- 15 734 Gráfico de posición angular del espejo multiplexor.
- 736 Gráfico de posición angular del espejo de compensación de movimiento.
- 738 Intervalo de exposición.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

20 HyperCamera® es una gama de sistemas de cámaras aéreas aptos para el despliegue en una amplia gama de aeronaves, grandes y pequeñas. Los sistemas de cámaras son modulares y están diseñados para su instalación sobre uno o más orificios de cámara estándar, según corresponda, de los que suele estar provisto el suelo de una aeronave de reconocimiento o una cápsula aérea.

25 Cada modelo de HyperCamera se define por su dirección de apuntamiento ( $P$ ), el número de cámaras ( $N$ ) en su conjunto y la distancia focal ( $f$ ) de las cámaras, y se identifica con el designador PN-f. Por ejemplo, un HyperCamera vertical de cinco cámaras de 300 mm se conoce como modelo V5-300.

30 Los modelos de HyperCamera orientables de gran angular están identificados por el designador WS-f. Por ejemplo, una HyperCamera orientable de gran angular de 300 mm se conoce como modelo WS-300.

35 El nivel de detalle capturado por una cámara aérea habitualmente se caracteriza por la distancia de muestreo respecto a tierra (GSD), es decir, la distancia entre centros de píxeles adyacentes cuando se proyecta la misma sobre tierra, dentro del campo de visión de la cámara.

La GSD está determinada por la distancia focal ( $f$ , 252) de la lente de la cámara, la altitud sobre el nivel del suelo ( $a$ , 254) y el tamaño de píxel ( $p$ , 260) del sensor de imagen, por EQ 1 en la Fig. 42.

40 La eficiencia de la formación de imágenes aéreas se caracteriza habitualmente por el área capturada por unidad de tiempo (p. ej. kilómetros cuadrados por hora). Esto es proporcional a la velocidad de la aeronave y al ancho del campo de visión (FOV) del sistema de cámaras aéreas, conocido como amplitud de barrido.

45 La amplitud de barrido ( $w$ , 258) de una sola cámara está determinada por la distancia focal ( $f$ , 252) de la lente de la cámara, la altitud sobre el nivel del suelo ( $a$ , 254) y el tamaño lateral ( $s$ , 256) del sensor de imagen, por EQ 2 en la Fig. 42. Duplicar la altitud duplica la amplitud de barrido.

50 El campo de visión lateral ( $\beta$ , 250) de una sola cámara está determinado por la distancia focal ( $f$ , 252) de la lente de la cámara y el tamaño lateral ( $s$ , 256) del sensor de imagen, por EQ 4 en la Fig. 42. Duplicar la distancia focal divide aproximadamente a la mitad el campo de visión.

55 El campo de visión lateral ( $\gamma$ , 270) de un conjunto de cámaras está determinado por el campo de visión de cada cámara ( $\beta$ , 250), el número de cámaras ( $N$ ) y su superposición angular ( $\omega$ , 272), por EQ 7 en la Fig. 43. Duplicar el número de cámaras duplica aproximadamente el campo de visión. La amplitud de barrido ( $w(N)$ , 278) de la serie de cámaras viene dado por EQ 8 en la Fig. 43.

60 El campo de visión práctico de un sistema de cámaras aéreas está limitado por el nivel aceptable de oblicuidad en las imágenes aéreas, p. ej. cuánto se permite que los edificios se deformen cuando quedan capturados en el borde del campo de visión. El campo de visión práctico generalmente se limita a 50 grados o menos.

65 Dado un límite en el campo de visión práctico, puede lograrse una mayor eficiencia de captura ( $\gamma$ , por lo tanto, un menor costo del proceso de captura) volando a mayor velocidad y/o a mayor altitud. Volar a una altitud más alta requiere distancias focales más largas para mantener la misma GSD. Como cada cámara tiene un campo de visión individual más estrecho, esto a su vez requiere un mayor número de cámaras para mantener el campo de visión general.

La gama HyperCamera incluye modelos adecuados para diversas altitudes operativas, y admite un intervalo de GSD y eficiencias de captura. Dependiendo de la velocidad y la altitud del objetivo, puede instalarse un sistema HyperCamera en cualquier aeronave adecuada para la formación de imágenes aéreas. A modo de ejemplo, esto incluye (pero no se limita a) aeronaves de tipo pistón tales como la Cessna 210, aeronaves turbopropulsadas tales como la Cessna 208, y aeronaves de tipo turboventilador (chorro) tales como la Cessna Citation, que permiten obtener imágenes aéreas desde bajas altitudes a altitudes que superan los 12.192 metros, a velocidades que van desde menos de 100 nudos a 400 nudos.

La aeronave puede estar presurizada o no presurizada, y cada orificio para cámara puede estar abierto o contener una ventana de vidrio óptico, según corresponda. Cada orificio para cámara puede estar opcionalmente protegido por una compuerta, que puede cerrarse cuando la HyperCamera no está en funcionamiento.

En una realización preferida, como se ilustra en las Figs. 1 a 5, una HyperCamera V5-300 comprende una unidad 100 de cámara que incorpora cinco cámaras 110 de detalle y una cámara 112 de visión general de ángulo relativamente más amplio. Cada cámara 110 de detalle tiene una lente 114 de detalle, y la cámara 112 de visión general tiene una lente 116 de visión general.

La lente 116 de visión general se caracteriza por tener un ángulo significativamente más amplio que la lente 114 de detalle. Si bien puede ser una lente de gran angular real, también puede ser una lente normal o incluso una lente de teleobjetivo, siempre que sea significativamente más ancha que la lente 114 de detalle. Del mismo modo, mientras que la lente 114 de detalle puede ser una verdadera lente de teleobjetivo, también puede ser una lente normal o incluso una lente de gran angular, siempre que sea significativamente más estrecha que la lente 116 de visión general.

Las cámaras 110 y 112 son preferentemente cámaras comerciales disponibles (COTS) de tipo SLR (DSLR). El uso de cámaras COTS permite adaptar el sistema fácilmente a las cámaras disponibles más recientes y mejores. De forma alternativa o adicional, para proporcionar funciones de formación de imágenes no disponibles en las cámaras COTS, tales como formación de imágenes RGB sin mosaicos, formación multiespectral de imágenes y compensación de movimiento hacia delante, también pueden utilizarse diseños de cámara dedicados.

A través de proveedores tales como Nikon y Canon pueden obtenerse cámaras COTS de alta resolución, con recuentos de píxel que habitualmente van desde 24 megapíxeles a 36 megapíxeles. La cámara réflex digital Nikon D800 (y D810) de 36 megapíxeles es una opción particularmente buena para el sistema actual.

Las cámaras DSLR ofrecen una amplia gama de lentes de alta calidad, lo que permite configurar el sistema fácilmente para operar a diferentes altitudes y resoluciones.

El sistema se adapta fácilmente a una combinación de cámaras. Por ejemplo, puede emplearse una cámara relativamente más costosa con un mayor número de píxeles como cámara de visión general. Se prevé que en un futuro próximo estén disponibles cámaras DSLR de 70 megapíxeles, y una cámara de 70 megapíxeles sería una buena opción para la cámara de visión general.

En la realización preferida, todas las lentes 114 de detalle de las cámaras 110 de detalle tienen la misma distancia focal, y las cámaras 110 de detalle tienen el mismo tamaño de píxel. Así, la unidad 100 de cámaras incorpora dos resoluciones de cámara distintas: de visión general y de detalle. Esto puede extenderse fácilmente a múltiples resoluciones, más allá de dos, haciendo uso de lentes 114 de detalle con diferentes distancias focales y/o haciendo uso de cámaras 110 de detalle con diferentes tamaños de píxel. La unidad 100 de cámaras también puede incorporar múltiples cámaras de visión general, con diferentes resoluciones.

Cada una de las lentes 114 de detalle y la lente 116 de visión general pueden ser una lente de enfoque fijo, enfocada al infinito, o una lente de enfoque variable. En este último caso, la correspondiente cámara 110 y/o 112 incorporará un mecanismo de autoenfoque.

Cada cámara 110 de detalle se fija por perno a una montura 140 de cámara que, a su vez, se fija con perno a un soporte central 122. Cada lente 114 de cámara de detalle se asegura adicionalmente con una abrazadera 144, que se atornilla a la montura 140 de cámara de detalle.

La cámara de visión general se fija por perno a una montura 142 de cámara que, a su vez, se fija por perno al soporte central 122. La lente 116 de cámara de visión general se asegura adicionalmente con una abrazadera 146, que se fija por perno a la montura 142 de cámara de visión general.

Las monturas 140 y 142 de cámara aíslan gran parte de la estructura de la unidad 100 de cámaras con respecto a las características específicas de los modelos de cámara y tamaños de lente individuales.

El soporte central 122 se fija a un par de soportes laterales 124a y 124b, y cada soporte lateral 124 se fija a su vez a un soporte trasero 126 y un soporte frontal 128, para formar un bastidor rígido 120.

## ES 2 724 464 T3

Cada soporte lateral 124 se fija al bloque 130 de punto de montaje a través de un conjunto de cuatro pernos, y el bloque 130 de punto de montaje se fija a su vez al soporte trasero 126 o al soporte frontal 128, según corresponda, a través de un conjunto adicional de cuatro pernos. Los bloques 130 de punto de montaje proporcionan de este modo el mecanismo de fijación entre los soportes laterales 124 y los soportes trasero y frontal 126 y 128.

5 Cada uno de los soportes laterales 124 y los soportes trasero y frontal 126 y 128 tiene un perfil de sección transversal en forma de C, para minimizar el peso y maximizar la rigidez, mientras que el soporte central 122 está ahuecado para minimizar el peso y maximizar la rigidez.

10 Cada bloque 130 de punto de montaje es sólido y tiene el propósito adicional de proporcionar un punto de conexión entre la unidad 100 de cámaras y una aeronave de reconocimiento, como se describe a continuación.

Todas las piezas están fabricadas con aluminio liviano, excepto los sujetadores que están fabricados con acero.

15 El soporte trasero 126 y el soporte frontal 128 sujetan tres cajas 150 de distribución de alimentación y control. Cada caja 150 distribuye señales de alimentación y control a un par de cámaras. Para una mayor claridad, en las figuras se ha omitido el cableado de alimentación y control entre las cajas 150 y las cámaras 110 y 112.

20 En la realización preferida, cada cámara 110 de detalle tiene una lente 114 con una distancia focal de 300 mm adecuada para imágenes de alta resolución a altitudes relativamente altas. Por ejemplo, cuando se utiliza una cámara Nikon D800 de 36 megapíxeles (que tiene un píxel de 4,88 micrones), una lente de 300 mm permitirá una distancia de muestreo respecto a tierra (GSD) de 30 cm a 18.288 metros, 20 cm a 12.192 metros, 10 cm a 6.096 metros, 8 cm a 4.876,8 metros, 6 cm a 3.657,6 metros, 4 cm a 2.438,4 metros, 2 cm a 1.219,2 metros, 1 cm a 609,6 metros, etc.

25 Suponiendo que las cámaras 110 de detalle y la cámara 112 de visión general tengan conteos y tamaños de píxel similares, la cámara 112 de visión general idealmente tendrá una lente 116 con una distancia focal de entre 4 y 8 veces más corta que la distancia focal de la lente 114 de detalle, como se explica adicionalmente más abajo. Es decir, para una lente 114 de detalle de 300 mm, las distancias focales adecuadas para la lente 116 de visión general varían entre aproximadamente 40 mm y 75 mm. Con fines ilustrativos, el sistema actual utiliza una lente 116 de visión general de 50 mm.

30 La Fig. 6 muestra el campo 162 de visión lateral de 6,90 grados de cada una de las cinco cámaras 110 de detalle, con lentes 114 de 300 mm, y el campo lateral de 39,60 grados de la cámara 112 de visión general con una lente 116 de 50 mm.

35 En la presente memoria, la dirección lateral es la dirección perpendicular a la dirección 220 de vuelo, y la dirección longitudinal es la dirección paralela a la dirección 220 de vuelo.

40 Como se muestra, las cámaras de detalle están inclinadas lateralmente a 6 grados, es decir, ligeramente menos que sus campos 162 de visión de 6,90 grados, de modo que los campos 162 de visión se superpongan ligeramente.

45 Con las cámaras Nikon D800 de 36 megapíxeles, las cinco cámaras 110 de detalle tienen un campo de visión agregado con un número de píxeles de aproximadamente 160 megapíxeles, es decir, excluyendo la superposición.

Pueden encontrarse teleobjetivos de reserva, adecuados para su uso como lentes 114 de detalle, en diversas distancias focales, que habitualmente incluyen 85 mm, 105 mm, 135 mm, 180 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm y 800 mm.

50 A 6.096 metros, una lente de 400 mm en una cámara Nikon D800 permite una GSD de 7,4 cm, una lente de 600 mm una GSD de 5,0 cm y una lente de 800 mm una GSD de 3,7 cm.

55 Pueden encontrarse lentes estándar y de gran angular de reserva, adecuadas para su uso como lentes 116 de visión general, en diversas distancias focales que habitualmente incluyen 10,5 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm, 20 mm, 21 mm, 24 mm, 28 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55mm, 60mm y 70mm.

60 La unidad 100 de cámaras se adapta fácilmente a diferentes modelos y tamaños de cámaras 110 (y 112) y lentes 114 (y 116), a través de diferentes monturas 140 (y 142) de cámara y abrazaderas 144 (y 146). Para lentes extremadamente largas puede usarse un soporte central 122 más alto.

65 Como se muestra en la Fig. 6 y la Fig. 7, las cámaras de detalle están inclinadas hacia dentro para que sus campos 162 de visión se crucen directamente debajo de la unidad 100 de cámaras, creando una parte central con un diámetro mínimo donde los campos de visión pasan a través del orificio 212 para cámaras. Esto hace que la unidad 100 de cámaras sea compatible con los orificios para cámara estándar de 50,8 cm, así como con orificios de cámara tan pequeños como aproximadamente 43,18 cm.

## ES 2 724 464 T3

La Fig. 8 muestra la proyección de los campos 160 y 170 de visión tridimensionales de las cámaras 110 de detalle y la cámara 112 de visión general, sobre un plano de tierra. Muestra cómo el campo de detalle de las vistas 160 se superpone en una dirección perpendicular a la dirección 220 de vuelo.

5 La Fig. 9 muestra una placa adaptadora 200 que se fija a las pistas 214 de asiento de una aeronave, en este caso una Cessna 208, a través de sujetadores 202 de pista de asiento estándar. La placa adaptadora tiene una abertura 216 que expone un orificio 212 para cámara a través del suelo 210 de la aeronave.

10 La Fig. 10 muestra una vista despiezada de la unidad 100 de cámaras, la placa adaptadora 200 y el suelo 210 de la aeronave. La placa adaptadora 200 está diseñada para fijar la unidad 100 de cámaras a una aeronave en particular, y aísla el diseño de la unidad 100 de cámaras con respecto a las características específicas de la aeronave. Se ha diseñado una placa adaptadora diferente para cada variación de acoplamiento de la aeronave, p. ej. debido a diferentes separaciones de las pistas de asiento, o porque la instalación del orificio para cámaras de la aeronave incluye sus propios puntos de montaje.

15 Cuatro puntos 132 de montaje están atornillados a la placa adaptadora, coincidiendo cada punto 132 de montaje con un rebaje en la base de su correspondiente bloque 134 de punto de montaje. Un perno 143 de montaje fija firmemente cada bloque 134 de punto de montaje a su correspondiente punto 132 de montaje, fijando así la unidad 100 de cámaras a la placa adaptadora 200.

20 La placa adaptadora 200 permite instalar y desinstalar fácilmente la unidad 100 de cámaras en una aeronave, mediante la instalación y desinstalación de los cuatro pernos 143 de montaje. La placa adaptadora 200 generalmente se instala y desinstala fácilmente en una aeronave, sin necesidad de modificaciones en la aeronave (suponiendo que ya se haya instalado un orificio para cámaras adecuado). La instalación de la cápsula externa de cámaras generalmente es una operación mucho más complicada.

25 La Fig. 11 muestra una unidad 100 de HyperCamera V5-180, que utiliza lentes 114 más cortas de 180 mm para las cámaras 110 de detalle y una correspondiente lente de 28 mm para la cámara 112 de visión general.

30 Cuando se utiliza una cámara Nikon D800 de 36 megapíxeles (que tiene un tamaño de píxel de 4,88 micrones), una lente de 180 mm permite una distancia de muestreo respecto a tierra (GSD) de 9,9 cm a 3.657,6 metros, 8,3 cm a 3.048 metros, 6,6 cm a 2.438,4 metros, 5 cm a 1.828,8 metros, 3,3 cm a 1.219,2 metros, y así sucesivamente.

35 La Fig. 11 muestra el campo 162 de visión lateral de 11,40 grados de cada una de las cinco cámaras 110 de detalle, con lentes 114 de 180 mm, y el campo lateral de 65,50 grados de la cámara 112 de visión general con una lente 116 de 28 mm.

40 Como se muestra, las cámaras de detalle tienen un ángulo de 10,50 grados de separación lateral, es decir, ligeramente menor que sus campos 162 de visión de 11,40 grados, de modo que los campos 162 de visión se superponen ligeramente.

45 La Fig. 12 muestra la proyección de los campos 160 y 170 de visión tridimensionales de las cámaras 110 de detalle y la cámara 112 de visión general de la Fig. 10, sobre un plano de tierra. Muestra cómo el campo de detalle de las vistas 160 se superpone en una dirección perpendicular a la dirección 220 de vuelo, y cómo los campos de visión más amplios asociados con lentes más cortas llevan a una altitud de vuelo más baja para la misma huella sobre tierra, es decir, en comparación con la Fig. 8.

50 La Fig. 13 y la Fig. 14 muestran vistas en planta de una aeronave 230 de reconocimiento Cessna 208, que transporta una unidad 100 de cámaras instalada centralmente sobre un orificio para cámaras. Las figuras también muestran una unidad 310 de control de cámara (CCU) y una unidad 320 de batería, que se utilizan para controlar y alimentar la unidad 100 de cámaras. Éstas se describen con más detalle a continuación. Para mayor claridad, se han omitido los cables que conectan la CCU 310, la unidad 320 de batería y la unidad 100 de cámaras.

55 La Fig. 15 muestra un alzado frontal de la aeronave 230 de reconocimiento Cessna 208, que transporta una HyperCamera, y muestra el campo 172 de visión lateral de la unidad 100 de cámaras, y el campo 182 de visión de detalle lateral de la unidad 100 de cámaras. El campo 182 de visión de detalle lateral agregado es el agregado de los cinco campos 162 de visión de detalle laterales superpuestos individuales.

60 La Fig. 16 muestra un alzado lateral de la aeronave 230 de reconocimiento Cessna 208, que transporta una HyperCamera, y muestra el campo 174 de visión general longitudinal de la unidad 100 de cámaras, y el campo 164 de visión de detalle longitudinal de la unidad 100 de cámaras.

65 La Fig. 17 muestra los campos 170 de visión general superpuestos y los campos 180 de visión de detalle agregados de tres tomas sucesivas en la dirección 220 de vuelo. El campo 180 de visión de detalle agregado es el agregado de los cinco campos 160 de visión de detalle superpuestos individuales. En la velocidad de disparo de cámara ilustrada en la figura (es decir, tal como implica la superposición longitudinal), los campos 180 de visión de detalle agregados

se superponen longitudinalmente aproximadamente en un 20 %, mientras que los campos 170 de visión general se superponen longitudinalmente aproximadamente en un 85 %.

5 La Fig. 18 muestra los campos 170 de visión general superpuestos y los campos 180 de visión de detalle agregados de dos capturas, desde líneas de vuelo adyacentes, es decir con un vuelo en direcciones opuestas 220. En la separación entre líneas de vuelo ilustrada en la figura, los campos 180 de visión de detalle agregados se superponen lateralmente entre un 20 % y un 25 %, mientras que los campos 170 de visión general se superponen lateralmente aproximadamente un 40 %.

10 Suponiendo que las cámaras 110 de detalle y la cámara 112 de visión general tengan recuentos y tamaños de píxel similares, el tamaño del campo 172 de visión general lateral y el tamaño del campo 182 de visión de detalle lateral agregado serán similares, cuando la relación entre distancia focal de la lente 114 de cámara de detalle y la distancia focal de la lente 116 de cámara de visión general sea aproximadamente 6, y pueden elegirse combinaciones de lentes útiles con relaciones de distancia focal entre aproximadamente 4 y 8.

15 La Fig. 19 muestra los campos 180 de visión de detalle agregados superpuestos de una sucesión de capturas a lo largo de tres líneas de vuelo adyacentes, que forman parte de una trayectoria 222 de vuelo serpentina habitual, es decir, un subconjunto de las líneas de vuelo que conformarían un levantamiento de área grande habitual. Para una mayor claridad, se han omitido los correspondientes campos 170 de visión general. La figura también muestra la posición 224 de disparo correspondiente a cada campo 180 de visión de detalle agregado, es decir, la posición de la aeronave 230 de reconocimiento.

20 Como ya se ha mencionado, los levantamientos aéreos tradicionales de resolución única normalmente se realizan con un solapamiento de 60/40, es decir, un 60 % de solapamiento hacia delante (o longitudinal), y un 40 % de solapamiento lateral. Con la HyperCamera de resolución múltiple, operada como se muestra en las Figs. 17 a 19, las fotos generales se capturan con una superposición de 85/40, y las fotos de detalle se capturan con una superposición de 20/20, como máximo.

25 En comparación con un sistema de cámaras aéreas de resolución única tradicional y un conteo de píxeles de detalle agregado comparable (p. ej. 160 megapíxeles), la HyperCamera es entre 2 y 3 veces más eficiente, como se detalla a continuación, con respecto al tiempo reducido de vuelo de levantamiento y en lo referente a un menor número de fotos a procesar. La HyperCamera también presenta una mayor eficiencia que muchos sistemas de cámaras aéreas, ya solo por su alto conteo de píxeles (detalle).

30 Como alternativa a la captura de fotografías tanto de visión general como de detalle, puede usarse la HyperCamera para capturar solo fotos de detalle, con una mayor superposición (p. ej. 60/40 en lugar de 20/20), para permitir la creación de un ortomosaico con mayor precisión espacial, pero a costa de un mayor número de capturas y costos de procesamiento. En este caso, la cámara de visión general 112 puede omitirse o usarse para otro propósito.

35 Para analizar la eficiencia relativa de una HyperCamera de resolución múltiple, asumamos una configuración de la HyperCamera de resolución múltiple con una superposición lateral de X %, una superposición longitudinal de Y %, N cámaras 110 de detalle y M cámaras 112 de visión general, y en comparación, una configuración de la HyperCamera de resolución única con una superposición lateral de A %, una superposición longitudinal de B %, N cámaras de detalle y ninguna cámara de visión general. Suponiendo que X es menor que A, la mejora en la eficiencia lateral, como se refleja por una mayor separación de las líneas de vuelo, un menor tiempo de vuelo y un número menor de fotos de detalles capturadas, viene dada por  $(1-X)/(1-A)$ . Del mismo modo, suponiendo que Y sea menor que B, la mejora en la eficiencia longitudinal, como se refleja por una mayor separación de las capturas, un tiempo de vuelo más corto y un menor número de fotos de detalle capturadas, viene dada por  $(1-Y)/(1-B)$ . La mejora general en la eficiencia viene dada por  $(1-X)(1-Y)/(1-A)(1-B)$ . Esto debe descontarse por la sobrecarga de la captura de fotos de visión general, es decir, multiplicarse por un factor de  $(N/(N+M))$ . Para  $X/Y=20/20$ ,  $A/B=60/40$ ,  $N=5$  y  $M=1$ , la mejora de la eficiencia neta es 2,2.

40 La mayor eficiencia conlleva el costo de llevar a cabo ciertos cálculos fotogramétricos a la resolución más baja de la cámara 112 de visión general, en lugar de a la resolución más alta de las cámaras 110 de detalle. Sin embargo, esto se compensa, al menos parcialmente, por la mayor superposición entre las fotos de visión general que en la práctica tradicional.

45 La Fig. 20 muestra un diagrama de bloques de un sistema de alimentación y control para la unidad 100 de cámaras. Las cámaras 110 de detalle y la cámara 112 de visión general se controlan mediante un ordenador 300 a través de una interfaz 308 de cámaras, que puede consistir en un conjunto de interruptores digitales que activen las interfaces de control remoto de las cámaras.

50 El ordenador 300 usa uno o más receptores 304 del Sistema de navegación por satélite global (GNSS), para monitorear la posición y la velocidad de la aeronave 230 de reconocimiento a tiempo real. El uno o más receptores GNSS pueden ser compatibles con diversos sistemas de navegación por satélite basados en el espacio, incluyendo el Sistema de posicionamiento global (GPS), GLONASS, Galileo y BeiDou.

- 5 El ordenador 300 proporciona señales de disparo de tiempo preciso a las cámaras 110 y 112 a través de la interfaz 308 de cámaras, para activar la exposición de la cámara, de acuerdo con un plan de vuelo almacenado y la posición y velocidad a tiempo real de la aeronave. Si una cámara 110 y/o 112 incorpora un mecanismo de enfoque automático, entonces el ordenador 300 también proporciona una señal de enfoque a cada una de estas cámaras para activar el enfoque automático antes de la exposición.
- 10 El ordenador 300 activa la cámara 112 de visión general y las cámaras 110 de detalle a la misma velocidad. Alternativamente, el ordenador 300 puede activar la cámara 112 de visión general a una velocidad diferente a la de las cámaras 110 de detalle, es decir, a una velocidad más alta o bien a una más baja, para lograr una superposición diferente entre las fotos de visión general sucesivas, es decir, una superposición más alta o una superposición más baja, independientemente de la superposición entre sucesivas fotos de detalle. El ordenador 300 puede activar las cámaras simultáneamente, o puede escalonar el tiempo de disparo, p. ej. para lograr una alineación diferente de las fotos en forma longitudinal, o para reducir el consumo máximo de energía.
- 15 El plan de vuelo describe cada línea de vuelo que compone el levantamiento, y la velocidad de disparo nominal de las cámaras a lo largo de cada línea de vuelo requerida para asegurarse de que se mantenga la superposición necesaria entre disparos sucesivos. La velocidad de disparo es sensible a la elevación del terreno debajo de la aeronave, es decir, cuanto más alto sea el terreno, más alta deberá ser la velocidad de disparo. Esto lo ajusta el ordenador 300 en función de la velocidad real sobre tierra de la aeronave, que puede variar con respecto a su
- 20 velocidad nominal debido al viento y al manejo del/la piloto de la aeronave.
- El ordenador 300 también utiliza el plan de vuelo y la posición GNSS a tiempo real para guiar al/la piloto a lo largo de cada línea de vuelo, a través de una pantalla 302 para piloto.
- 25 Como se muestra en la Fig. 20, los datos de posición del receptor GNSS pueden aumentarse opcionalmente con información de orientación (cabeceo, alabeo y guiñada) desde una unidad 306 de medición inercial (IMU). Permite que el ordenador 300 brinde información mejorada al/la piloto sobre cómo de cerca está de seguir el plan de vuelo, y permite un procesamiento más preciso de las fotos. En caso de que la IMU 306 no esté presente, el receptor GNSS se conecta directamente al ordenador 300.
- 30 Cada cámara 110 y 112 almacena sus capturas localmente, p. ej. en una memoria flash extraíble. Esto elimina la necesidad de almacenamiento centralizado en el sistema de la HyperCamera, y la necesidad de un canal de comunicación de datos con un ancho de banda grande entre las cámaras y el almacenamiento centralizado.
- 35 Puede proporcionarse la posición GNSS de cada captura a cada cámara 110 y 112, para permitir que la cámara etiquete cada foto con su posición GNSS.
- Una o más unidades 330 opcionales de compensación de movimiento angular (AMC), que responden a la orientación reportada por la IMU 306, corrigen la orientación de las cámaras de manera que mantengan una
- 40 dirección de apuntamiento consistente a lo largo del tiempo, a pesar del cabeceo, alabeo y guiñada de la aeronave durante el vuelo. Esto asegura que las fotos capturadas puedan usarse para crear un ortomosaico sin espacios vacíos, al tiempo que permite minimizar la superposición entre capturas sucesivas y entre líneas de vuelo adyacentes.
- 45 La unidad 330 de AMC puede consistir en una plataforma con dos o tres ejes de rotación (es decir, balanceo e inclinación, o balanceo, inclinación y guiñada) sobre la cual se monta la unidad 100 de HyperCamera. Algunas plataformas 330 de AMC o de estabilización disponibles comercialmente incluyen la serie PAV de Leica Geosystems, incluyendo la PAV100, y la PV-15G de PV Labs, por ejemplo, como se describe en la Patente de Estados Unidos n.º 6.263.160 (Lewis), cuyos contenidos se incorporan en el presente documento como referencia.
- 50 Alternativa o adicionalmente, las unidades 330 de AMC pueden comprender uno o más mecanismos de dirección de haz en la trayectoria óptica de cada cámara (o grupo de cámaras), de modo que se corrija la dirección de apuntamiento de las cámaras mediante la dirección de haz. Por ejemplo, la compensación de cabeceo y alabeo puede proporcionarse mediante uno o más mecanismos de dirección de haz, mientras que la compensación de guiñada se proporciona mediante una plataforma 330 de AMC separada.
- 55 La compensación del movimiento angular resulta cada vez más importante a medida que aumenta la altitud de vuelo y/o disminuye la GSD.
- 60 El desenfoque por movimiento, debido al movimiento hacia delante de la aeronave, es igual a la velocidad de la aeronave multiplicada por el tiempo de exposición de la cámara. Una vez que el desenfoque por movimiento se convierte en una fracción significativa de (o supera), la GSD pasa a ser útil para proporcionar un mecanismo de compensación de movimiento hacia delante (FMC), para reducir o eliminar el desenfoque por movimiento. La FMC puede proporcionarse de diversas formas, incluyendo la traslación o la rotación del eje óptico de la cámara (moviendo el sensor de imagen, un espejo intermedio o la propia cámara) o la integración de demora de
- 65 tiempo (TDI) de líneas adyacentes de píxel en el sensor de imagen.

El ordenador 300 almacena la posición GNSS de cada captura. Esto se utiliza durante el posterior procesamiento de las fotos para producir un ortomosaico preciso. El ordenador 300 también almacena la orientación de cada captura si la IMU 306 está presente, y almacena la orientación corregida de cada captura si está presente una unidad 330 de AMC, en función de la información de corrección de AMC.

5 Las cámaras 110 y 112 están alimentadas por una unidad 320 de batería. La unidad 320 de batería proporciona un voltaje más alto que el requerido por todos los componentes conectados, por ejemplo, entre 24 V y 28 V, y el requisito de voltaje de cada componente conectado se proporciona a través de un convertidor CC-CC 326. Por ejemplo, una cámara Nikon D800 requiere menos de 10V. Unos convertidores CC-CC 326 adicionales también proporcionan los voltajes adecuados para alimentar el ordenador 300, la pantalla 302 para piloto, el receptor GNSS 304 y la IMU 306. Para mayor claridad, estas conexiones de alimentación se han omitido en la Fig. 20.

15 La unidad 320 de batería contiene dos baterías de 12 V (nominales) o una sola batería de 24 V (nominales). Contiene un circuito de carga que le permite ser cargada por goteo desde una aeronave, con una fuente 322 de alimentación auxiliar adecuada, lo que le permite permanecer cargada en todo momento. También se puede cargar en tierra con una unidad 324 de suministro de energía en tierra (GPU).

20 La interfaz 308 de cámaras y los convertidores CC-CC 326 pueden alojarse en una unidad 310 de control de cámaras (CCU). Ésta también puede incluir una interfaz USB para permitir que el ordenador 300 controle la interfaz de cámaras.

Los convertidores CC-CC 326 que proporcionan energía a las cámaras 110 y 112 pueden ubicarse en la CCU 310, o más cerca de las cámaras en unas cajas 150 de distribución.

25 Las fotos capturadas por la HyperCamera están diseñadas para quedar cosidas a la perfección en un ortomosaico, y la Fig. 21 muestra un flujo de proceso fotogramétrico para crear de manera eficiente un ortomosaico a partir de fotos de HyperCamera de resolución múltiple. El proceso se ejerce sobre fotos detalladas 400 capturadas por las cámaras 110 de detalle, y sobre fotos 402 de visión general capturadas por las cámaras 112 de visión general.

30 El proceso consta de cuatro pasos principales: (1) se detectan automáticamente características en cada una de las fotos 400 y 402, y se hacen coincidir entre las fotos (paso 410); se utiliza ajuste en bloque para refinar iterativamente las estimaciones iniciales de la posición tridimensional en mundo real de cada característica, así como la posición de la cámara (posición y orientación tridimensional) y la calibración de la cámara (distancia focal, distorsión radial y tangencial) asociada con cada foto (en el paso 412); se ortorectifica cada foto 400 de detalle de acuerdo con la posición de la cámara y los datos de elevación del terreno (en el paso 414); y se mezclan las fotos ortorectificadas (ortofotos) para formar el ortomosaico final 404 (en el paso 416).

35 Los datos de elevación (usados en el paso 414) pueden derivarse de las posiciones de características tridimensionales (refinadas durante el paso 412); y/o pueden derivarse de una coincidencia densa estéreo de múltiples vistas entre fotos (véanse, por ejemplo, la Patente de Estados Unidos n.º 8.331.615 (Furukawa), y la Patente de Estados Unidos n.º 8.634.637 (Hirschmueller et al); y/o pueden obtenerse de otra fuente, tal como un levantamiento LIDAR del área de interés. Los datos de elevación pueden estar en la forma de un modelo de elevación digital vectorial o ráster (DEM), o en la forma de una nube de puntos tridimensional, o en la forma de un modelo geométrico tridimensional. Pueden incluir características de la superficie, tales como vegetación y edificios, o pueden describir el terreno desnudo.

La precisión del ortomosaico 404 se deriva de la alta superposición entre las fotos 402 de visión general de baja resolución, mientras que el detalle en el ortomosaico 404 se deriva de las fotos 400 de detalle de mayor resolución.

50 A modo de alternativa, como se indicó anteriormente, puede llevarse a cabo un levantamiento con una mayor superposición entre las fotos 400 de detalle, y el ortomosaico puede crearse a partir de las fotos 400 de detalle solamente.

55 El ortomosaico generalmente se almacena como una pirámide de imágenes, es decir, dentro de la cual se calculan previamente diferentes niveles de zoom (binarios) para un acceso rápido a cualquier nivel de zoom. Los niveles de zoom más bajos en la pirámide se generan a partir de niveles de zoom más altos, mediante filtrado de paso bajo y submuestreo, por lo que toda la pirámide puede generarse a partir del ortomosaico con resolución de detalle. Como alternativa, pueden generarse niveles de zoom más bajos a partir de un ortomosaico creado a partir de las fotos 402 de visión general, en cuyo caso también se ortorectifican y se combinan las fotos 402 de visión general, como se ha descrito anteriormente para las fotos 400 de detalle.

60 Se deriva una estimación inicial de la posición de la cámara para cada foto, refinada posteriormente mediante el proceso de ajuste en bloque (en el paso 412), a partir de la posición GNSS de cada foto, así como de su orientación derivada de IMU, en caso de estar disponible.

65



Las características del terreno detectadas automáticamente pueden aumentarse con puntos de tierra identificados manualmente, cada uno de los cuales puede tener una posición del mundo real inspeccionada de manera precisa (que luego se conocerá como un punto de control de tierra).

5 Las HyperCameras V5-300 y V5-180 son dos modelos de la gama HyperCamera. Puede lograrse incluso una mayor eficiencia si se opera a altitudes más altas con distancias focales más largas, y las configuraciones adicionales de la HyperCamera se describen a continuación.

10 La Fig. 22 tabula la GSD en función de la altitud de vuelo sobre el suelo (en metros), y la distancia focal del objetivo de 100 mm a 600 mm (en incrementos de 100 mm). También tabula la amplitud de barrido (en km) de los campos de visión de 30 grados y 45 grados, en función de la altitud. Además, tabula el número de cámaras de detalle requeridas para cubrir estos campos de visión en función de la distancia focal.

15 La Fig. 23 tabula adicionalmente la GSD en función de una distancia focal de 700 mm a 1200 mm.

A partir de las tablas de las Figs. 22 y 23, resulta instructivo comparar las características de las configuraciones de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900. Cada configuración tiene aproximadamente el mismo campo de visión lateral de 30 grados, pero suponiendo una GSD de 5 cm, las correspondientes amplitudes de barrido son 1,6 km, 3,3 km y 4,9 km respectivamente (correspondientes a altitudes de vuelo de 3.048, 6.096 y 9.144 metros respectivamente). De manera crucial, la eficiencia de captura relativa será entonces 1x, 2x y 3x, respectivamente (asumiendo la misma velocidad de la aeronave).

20 Se puede lograr una HyperCamera V10-600 de 30 grados utilizando dos unidades de HyperCamera V5-600 de 15 grados en tándem, cada una de ellas montada sobre una placa adaptadora 200 en forma de cuña que induzca la inclinación lateral requerida de 7,5 grados.

30 Se puede lograr una HyperCamera V15-600 de 45 grados utilizando tres unidades de HyperCamera V5-600 de 15 grados en tándem, montándose la unidad central de manera plana, y montándose cada una de las dos unidades exteriores sobre una placa adaptadora 200 en forma de cuña que induzca la inclinación lateral de 15 grados.

Se puede lograr una HyperCamera V15-900 de 30 grados utilizando tres unidades de HyperCamera V5-900 de 10 grados en tándem, montándose la unidad central de manera plana, y montándose cada una de las dos unidades exteriores sobre una placa adaptadora 200 en forma de cuña que induzca la inclinación lateral de 10 grados.

35 Alternativa o adicionalmente, para utilizar una forma de cuña para inducir la inclinación lateral requerida, la placa adaptadora 200 puede comprender uno o más mecanismos de ajuste de inclinación en bruto y/o en detalle, para permitir ajustar la inclinación de la unidad 100 de cámaras tanto nominalmente como para compensar las variaciones en la inclinación del suelo de la aeronave. Los mecanismos de inclinación pueden comprender uno o más calzos, uno o más tornillos de desviación o similares.

40 El ajuste de inclinación también se puede proporcionar a través del mecanismo de compensación de rodillo de la unidad (AMC) de compensación de movimiento angular 330, si está presente, ajustando el rodillo nominal preestablecido de la unidad 100 de cámaras.

45 Las Figs. 24A, 24B y 24C muestran las huellas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 3.657,6 metros. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene una separación de 1 km. Las figuras muestran la misma amplitud de barrido, pero con una GSD creciente.

50 Las Figs. 25A, 25B y 25C muestran tres huellas superpuestas sucesivas de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 3.657,6 metros. Con el fin de garantizar una adecuada superposición longitudinal, la velocidad de disparo aumenta al aumentar la resolución.

55 Las Figs. 26A, 26B y 26C muestran dos huellas superpuestas de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 3.657,6 metros.

La Fig. 27 muestra una elevación frontal de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600 que comprende dos unidades de cámara V5-600, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes. La línea discontinua muestra la división entre los campos de visión de las unidades de cámara.

60 La Fig. 28 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600, que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

65 La Fig. 29 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V10-600, que comprende dos unidades de cámara V5-600 instaladas en una cápsula de carga montada sobre el vientre estándar

de la Cessna 208, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

La Fig. 30 muestra un alzado frontal de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes. La línea discontinua muestra la división entre los campos de visión de las unidades de cámara.

La Fig. 31 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en la cabina de la aeronave, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

La Fig. 32 muestra un alzado lateral de una aeronave Cessna 208 que transporta una HyperCamera V15-900, que comprende tres unidades de cámara V5-900 instaladas en una cápsula de carga montada sobre el vientre estándar de la Cessna 208, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes de cada unidad de cámara.

Las Figs. 33A, 33B y 33C muestran dos huellas superpuestas de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 7.315,2 metros. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene una separación de 1 km.

Las Figs. 34A, 34B y 34C muestran dos huellas superpuestas de dos líneas de vuelo adyacentes de las HyperCameras V5-300, V10-600 y V15-900, respectivamente, a una altitud de vuelo constante de 10.972,8 metros. La cuadrícula discontinua en las figuras tiene una separación de 1 km.

En general, puede realizarse un modelo particular de HyperCamera utilizando una cantidad de unidades 100 de cámaras idénticas más pequeñas, cada una montada con el ángulo lateral requerido. Como se muestra en las Figs. 27 a 32, las unidades 100 de cámaras individuales pueden montarse a lo largo del eje longitudinal de la aeronave. El disparo de cada unidad 100 de cámaras puede escalonarse, para tener en cuenta su posición longitudinal y la velocidad de la aeronave, o los desplazamientos longitudinales entre fotos de diferentes unidades de cámara pueden tenerse en cuenta durante el procesamiento posterior.

El diseño de la HyperCamera es, por lo tanto, modular y adecuado para la implementación junto con uno o más orificios de cámara estándar.

Se puede realizar una HyperCamera oblicua, es decir, con una dirección de apuntamiento que no sea vertical (y habitualmente con una dirección de apuntamiento de 45 grados), usando una o más unidades 100 de cámara vertical montadas en el ángulo oblicuo requerido, p. ej. mediante una placa adaptadora inclinada 200, o utilizando una o más unidades 100 de cámaras oblicuas, comprendiendo cada una una serie de cámaras montadas en el ángulo oblicuo requerido, dentro de un bastidor orientado por lo demás verticalmente.

Las fotos aéreas oblicuas tienen varios usos. Se pueden usar para producir un ortomosaico georreferenciado oblicuo, para proporcionar un complemento útil a un ortomosaico vertical. Se pueden usar junto con fotos verticales durante el ajuste fotogramétrico en bloque (como se ha descrito anteriormente en relación con la Fig. 21) para lograr una mayor precisión, incluyendo una mayor precisión en los datos de elevación. Y se pueden usar para texturizar un modelo de elevación o un modelo tridimensional completo del área de interés, para soportar la visualización e interacción tridimensionales.

Las Figs. 35A y 35B muestran unos alzados frontal y lateral, respectivamente, de una aeronave Cessna 208 que transporta cinco HyperCameras instaladas en la cabina de la aeronave: una V10-600 vertical, una R10-600 oblicua derecha, una L10-600 oblicua izquierda, una F10-600 oblicua derecha y una B10-600 oblicua posterior, y los campos de visión de visión general y de detalle agregados resultantes de cada una.

La GSD oblicua (282) de una cámara inclinada en un ángulo (280) con respecto a la vertical viene dada por EQ 9 en la Fig. 44. La GSD vertical (262) se incrementa en un factor del cuadrado de la secante del ángulo de inclinación. El primer término secante se debe a la mayor distancia de visión inducida por la inclinación, mientras que el segundo término secante se debe al acortamiento del suelo inducido por la inclinación. Por lo tanto, una cámara inclinada deberá tener una distancia focal correspondiente más larga para coincidir con la GSD de una cámara vertical.

Para una inclinación de 45 grados, la GSD vertical aumenta en un factor de dos, lo que implica que una cámara oblicua a 45 grados deberá tener el doble de la distancia focal de una cámara vertical para que coincida con la GSD de la cámara vertical. Sin embargo, en la práctica, no existe un requisito estricto para hacer coincidir las GSD de las cámaras verticales y oblicuas, y se puede utilizar cualquier distancia focal adecuada para las cámaras oblicuas.

Si el sensor de imagen de la cámara está inclinado para ser paralelo al suelo, el segundo término secante desaparece. La GSD oblicua (286) viene dada por EQ 10 en la Fig. 44. Para una inclinación de 45 grados, la GSD vertical (262) se incrementa solo por un factor de la raíz cuadrada de dos, lo que implica que una cámara oblicua

con un sensor inclinado a 45 grados deberá tener 1,4 veces la distancia focal de una cámara vertical para que coincida con la GSD de la cámara vertical.

5 Sin embargo, la menor GSD sobre las superficies horizontales viene acompañada de una mayor GSD sobre las superficies verticales, tales como los lados de los edificios. Esto, a su vez, puede motivar una estrategia de captura de fotos oblicuas en múltiples pases, optimizándose cada pase para una orientación de superficie particular a través de la inclinación del sensor de imagen.

10 De manera más general, puede inclinarse el sensor de imagen de cualquier cámara no nadir para que quede (más) paralelo al suelo, para reducir el acortamiento de la perspectiva en las fotos capturadas por la cámara y mejorar así la GSD.

15 Cada HyperCamera oblicua de 900 mm tiene una GSD un 33 % mayor que la HyperCamera vertical de 600 mm. Una HyperCamera oblicua de 1200 mm tendría la misma GSD que la HyperCamera vertical de 600 mm. Una HyperCamera oblicua con un sensor inclinado de 850 mm también tendría la misma GSD que la HyperCamera vertical de 600 mm.

20 La Fig. 37 muestra una vista inferior de la unidad 100 de cámaras, donde las cámaras de detalle están dispuestas en un patrón en "X" alternativo para proporcionar más espacio para lentes 114 de detalle más largas, es decir, para acomodar los diámetros más grandes de las lentes más largas. Esta disposición también proporciona espacio para una segunda cámara de resolución más baja (es decir, con una lente más corta), que se puede utilizar para una segunda cámara de visión general o bien para una cámara espectral dedicada, tal como una cámara de infrarrojo cercano (NIR). La inclusión de una segunda cámara de visión general permite que ambas cámaras tengan una mayor distancia focal y, por lo tanto, brinden una mayor resolución y, por lo tanto, una mayor precisión fotogramétrica. Al incluir una cámara de infrarrojo cercano, se puede incluir una banda de infrarrojo cercano en el ortomosaico, lo que a su vez admite aplicaciones tales como la identificación de vegetación.

30 A medida que aumenta la distancia focal de las lentes 114 de detalle, el tamaño y el peso de un diseño de lente puramente refractivo (dióptrico) se vuelve significativo. Puede realizarse una lente más liviana y físicamente más corta, con la misma distancia focal larga, utilizando un diseño reflectante, es decir, utilizando espejos curvos para enfocar, ya sea utilizando solo espejos (diseño catóptrico) o junto con elementos refractivos correctivos (diseño catadióptrico). Los telescopios astronómicos, que se caracterizan por largas distancias focales y aberturas grandes, suelen utilizar diseños reflectantes. Los diseños modernos clásicos incluyen el Schmidt-Cassegrain, que combina espejos esféricos primarios y secundarios con una placa de corrección Schmidt, y el Ritchey-Chretien, que utiliza espejos hiperbólicos primarios y secundarios.

35 Así, pueden utilizarse lentes reflectantes 114 de detalle para reducir significativamente el tamaño y el peso de la unidad 100 de cámaras, y esto resulta particularmente beneficioso para distancias focales más largas, tales como 900 mm y más.

40 La Fig. 38 muestra una unidad 100 de cámaras implementada como una serie de cámaras 600, dispuestas en abanico, y el eje óptico 602 de cada cámara. Esto representa figurativamente cualquiera de los conjuntos de cámaras en la descripción, detalle o descripción general antecedentes, y proporciona contexto para la siguiente descripción. Cada cámara 600 consta de un cuerpo de cámara (por ejemplo, 110 o 112) y una lente de cámara (por ejemplo, 114 o 116).

50 La Fig. 39 muestra una unidad 100 de cámaras implementada utilizando un módulo 610 de cámara orientable que comprende una sola cámara 600 multiplexada en el tiempo a través de un espejo orientable 604, para producir múltiples trayectorias ópticas que barran el campo angular requerido. Esto permite utilizar una sola cámara para implementar un conjunto de cámaras que utilicen multiplexación en el tiempo, y por lo tanto reduce el número de cámaras físicas necesarias para implementar una HyperCamera, lo que a su vez reduce el tamaño, el peso y el costo de cada unidad 100 de cámaras. Como alternativa a un espejo orientable 604, puede utilizarse cualquier mecanismo de dirección de haz adecuado.

55 La Fig. 40 muestra una configuración alternativa de una unidad 100 de cámaras implementada utilizando un módulo 610 de cámara orientable, que comprende una sola cámara 600 multiplexada en el tiempo a través de un espejo orientable 604, para producir múltiples trayectorias ópticas. La adición de un espejo fijo 606 permite montar la cámara 600 verticalmente, lo que permite que la unidad 100 de cámaras tenga una base más pequeña.

60 La Fig. 41 muestra una unidad 100 de cámaras implementada utilizando un módulo 610 de cámara orientable que comprende una sola cámara 600 multiplexada en el tiempo a través de un espejo orientable 604, para producir múltiples trayectorias ópticas, con un espejo orientable 608 adicional que proporciona compensación de movimiento angular (AMC). Esto implementa la unidad 330 de AMC impulsada por IMU. Como alternativa a un espejo orientable 608, se puede usar cualquier mecanismo de dirección de haz adecuado.

65

El espejo orientable 608 puede usarse adicional o alternativamente para implementar un mecanismo de compensación de movimiento hacia delante (FMC). En el modo de FMC, el espejo se inclina levemente hacia atrás durante la exposición, para que coincida con el movimiento de avance de la aeronave, y se inclina hacia delante nuevamente entre las exposiciones. La inclinación del espejo 608 puede accionarse directamente, o puede oscilarse a una velocidad adecuada para proporcionar la FMC, con la exposición de la cámara sincronizada con la fase hacia atrás de la oscilación. La AMC y la FMC también pueden proporcionarse mediante espejos separados en cascada.

El espejo multiplexor orientable 604 puede detenerse en cada uno de un conjunto de posiciones discretas dentro del campo angular requerido, o puede girarse de manera continua para barrer el campo angular requerido. En este último caso, el movimiento del espejo proporciona una fuente adicional de movimiento sistemático durante la exposición de la cámara, tal como el movimiento hacia delante de la aeronave, y esto puede corregirse utilizando cualquiera de los mecanismos de FMC descritos anteriormente, incluso a través del espejo orientable 608 de compensación de movimiento, o a través de una plataforma 330 de estabilización separada.

La vibración de la aeronave también puede detectarse a través de la IMU, o mediante un dispositivo de detección de vibración adicional, y puede proporcionarse compensación de vibración (VC) utilizando cualquiera de los mecanismos de AMC o FMC descritos anteriormente, incluso a través del espejo orientable 608 de compensación de movimiento, o a través de una plataforma 330 de estabilización separada.

La AMC, FMC y VC también pueden proporcionarse a través del espejo multiplexor 604.

La Fig. 45 muestra una realización del módulo 610 de cámara orientable de la Fig. 41. El espejo multiplexor orientable 604 está fijado a través de una bisagra a una varilla 632 de un motor lineal 630, y el motor lineal 630 está fijado a través de una bisagra a una montura fija 634. El espejo 604 también está fijado mediante una bisagra a la montura 634, alrededor de la cual gira en respuesta al movimiento lineal de la varilla 632. El motor lineal 630 puede utilizar cualquier mecanismo de accionamiento adecuado, incluyendo un mecanismo de accionamiento piezoeléctrico, por ejemplo, como se describe en la Patente de Estados Unidos n.º 6.800.984 (Marth), o como se realiza en el piezomotor lineal Physik Instrumente (PI) M-272, que también incorpora un codificador lineal para un posicionamiento preciso.

El espejo orientable 608 de compensación de movimiento está fijado a una plataforma 636 de inclinación-basculación, que proporciona rotación en dos dimensiones. Alternativamente, la plataforma 636 puede limitarse a la rotación en una dimensión, p. ej. para proporcionar corrección solo para el movimiento del espejo multiplexor 604. La plataforma 636 de inclinación-basculación puede utilizar cualquier motor o accionador adecuado, incluyendo accionadores piezoeléctricos, por ejemplo, como se incorpora en el PI S-340, que también puede incorporar un sensor de galga de tensión para un control preciso de circuito cerrado.

El módulo 610 de cámara orientable de la Fig. 45 permite dirigir el campo 612 de visión de la cámara 600 en un intervalo angular de aproximadamente 50 grados, dependiendo de la apertura de la cámara y, por lo tanto, del diámetro de haz. Orientado adecuadamente, el módulo 610 de cámara orientable puede usarse para proporcionar direccionamiento a través de un intervalo simétrico o un intervalo asimétrico. Un intervalo asimétrico puede formar parte de un mayor intervalo simétrico.

La Fig. 46A y la Fig. 46B muestran el módulo 610 de cámara orientable orientado para cubrir un intervalo asimétrico, de vertical a oblicuo, es decir, la mitad de un intervalo simétrico equivalente. En la Fig. 46A el espejo multiplexor 604 se ha girado en una posición extrema en sentido horario y el campo 612 de visión de la cámara apunta verticalmente. En la Fig. 46B el espejo multiplexor 604 se ha girado en una posición extrema en sentido antihorario, y el campo 612 de visión de la cámara apunta oblicuamente hacia la derecha.

La Fig. 47 muestra una unidad 100 de cámaras implementada utilizando un par de módulos 614 de cámara de detalle dirigibles y un par de cámaras 112 de visión general fijas. Cada módulo 614 de cámara de detalle orientable consiste en un módulo 610 de cámara orientable que comprende un cuerpo 110 de cámara de detalle y una lente 114 de cámara de detalle. Juntos, los dos módulos 614 de cámara de detalle orientables cubren un campo de visión angular lateral continuo de aproximadamente 100 grados.

La Fig. 48A muestra la elevación y el plano del campo de visión gran angular de una unidad 100 de cámaras WS-300 orientables con gran angular de 300 mm, con un par de cámaras 122 de visión general fijas (p. ej. según la Fig. 47), operando a 4.876,8 metros. El campo de visión comprende el campo 180 de visión vertical y los dos campos 510 y 530 de visión oblicuos, dispuestos simétricamente con respecto a la línea 226 de vuelo. La Fig. 48B muestra el correspondiente campo de visión de una unidad de cámaras WS-600 de 600 mm que opera a 8.534,4 metros.

La Fig. 48A se basa en el uso de una unidad de cámaras WS-300 que comprende cámaras Nikon D800 (o similares), mientras que la Fig. 48B se basa en el uso de una unidad de cámaras WS-600 100 que incluye cámaras de detalle que utilizan el sensor de imagen CMOS ON Semiconductor VITA 25K de 25 megapíxeles (o similar), como

se describe más adelante. Para fines ilustrativos, todas las siguientes figuras se basan en el uso de cámaras con VITA 25K (o similar).

5 La Fig. 49A muestra una vista esquemática en planta de un módulo 616 de cámaras de detalle orientables. El eje de dirección de la cámara 620 de detalle corresponde al eje lateral del campo 180 de visión de detalle agregado. Siempre que se haga referencia en los sucesivos a un módulo 616 de cámaras de detalle orientables, también podría utilizarse una serie de cámaras fijas.

10 El módulo 616 de cámaras de detalle orientables puede implementarse utilizando uno o más módulos 610 de cámaras orientables, cubriendo cada uno parte del campo de visión requerido. Por ejemplo, la Fig. 49B muestra el módulo 616 de cámaras implementado utilizando un par de módulos 614 de cámaras de detalle orientables de medio campo.

15 El módulo 616 de cámaras de detalle orientables también puede implementarse utilizando uno o más módulos de cámaras oscilantes, como se describe en la Solicitud de Patente de Estados Unidos con n.º de serie 10/313.727 (Partynski et al.), y en la Solicitud de Patente de Estados Unidos con n.º de serie 11/607.511 (Pechatnikov et al.).

20 La Fig. 49C muestra una vista esquemática en planta de un módulo 618 de cámaras de visión general orientables. El eje de dirección de la cámara 622 de visión general corresponde al eje lateral del campo 190 de visión de visión general agregado. El módulo 618 de cámaras de visión general orientables puede implementarse de las mismas diversas formas que el módulo 616 de cámaras de detalle orientables.

25 La Fig. 49D muestra una vista en planta esquemática de una unidad 100 de cámaras que comprende un par de módulos 614 de cámara de detalle orientables de medio campo y dos cámaras 112 de visión general, es decir, correspondientes a la unidad 100 de cámaras de la Fig. 47.

30 La Fig. 49E muestra una vista en planta esquemática de una unidad 100 de cámaras que comprende un módulo 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo y dos cámaras 112 de visión general, es decir, que proporcionan una funcionalidad equivalente a la unidad 100 de cámaras de la Fig. 47 y la Fig. 49D.

La Fig. 50A muestra una vista en planta esquemática de una unidad 100 de cámaras que comprende un módulo 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo y un módulo 618 de cámaras de visión general orientables de campo completo.

35 La Fig. 50B muestra una vista en planta de un conjunto de campos de visión general y de detalle, verticales y oblicuos de cuatro vías, correspondientes a los campos de visión ilustrados en la Fig. 35A y la Fig. 35B. Las cinco vistas pueden capturarse utilizando cinco unidades 100 de cámaras fijas, como se describe en relación con la Fig. 35A y la Fig. 35B, o usando tres de las unidades 100 de cámaras orientables mostradas en la Fig. 50A.

40 La Fig. 51A muestra una elevación del campo de visión de una unidad 100 de cámara gran angular, que comprende el campo 180 de visión vertical, campos 510 y 530 de visión oblicuos, y campos 654a y 654b de visión intersticiales. La captura del campo ancho completo, es decir, la inclusión de los campos 654 de visión intersticiales, aumenta la superposición entre las líneas de vuelo adyacentes y la capacidad de observación de puntos dentro de los campos de visión tanto verticales como oblicuos.

45 La Fig. 51B muestra la elevación y el plano del campo de visión de gran angular continuo de una unidad 100 de cámara WS-600 operando a 8.534,8 metros.

50 La Fig. 52A muestra los campos de visión laterales superpuestos de una unidad 100 de cámaras gran angular desde tres líneas de vuelo adyacentes, e ilustra cómo los campos de visión intersticiales se superponen con los campos de visión verticales y oblicuos.

La Fig. 52B muestra los campos de visión laterales superpuestos de una unidad 100 de cámaras gran angular desde tres líneas de vuelo adyacentes, mostrando campos de cámara individuales.

55 La Fig. 53A muestra una vista en planta de los campos de visión de área amplia continua de una unidad 100 de cámaras WS-600, con cámaras 112 de visión general y cámaras 110 de detalle, operando a 8.534,8 metros, mientras que la Fig. 53B muestra el campo de visión de la misma unidad de cámara con solo las cámaras 110 de detalle.

60 Como se mencionó anteriormente, la unidad 100 de cámaras se puede usar para capturar solamente fotos de detalle, con una mayor superposición, para permitir la creación de un ortomosaico con mayor precisión espacial, y datos de elevación con mayor resolución y precisión.

65 La superposición longitudinal, es decir, en la dirección 220 de vuelo, se usa normalmente para capturar fotos redundantes de puntos de tierra con disparidad estéreo. Sin embargo, cuando se opera en altitudes más altas, con

distancias focales más largas, el ángulo del campo de visión longitudinal de una cámara 110 de detalle es lo suficientemente pequeño como para que exista una pequeña disparidad estéreo en las fotos que se superponen longitudinalmente.

5 Un enfoque alternativo es capturar imágenes superpuestas utilizando un segundo módulo de cámara que se inclina sobre el eje lateral. La Fig. 53C muestra una unidad 100 de cámaras que comprende dos módulos 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo para este propósito. El primer módulo 616a de cámaras captura imágenes verticalmente con respecto al eje lateral, mientras que el segundo módulo 616b de cámaras captura imágenes, por ejemplo, con una inclinación de 20 grados sobre el eje lateral. La inclinación se elige para maximizar la capacidad de observación de los puntos del terreno sin comprometer la precisión de la coincidencia de características.

La Fig. 53D muestra una vista en planta del campo 650a de visión sin inclinar resultante y el campo 650b de visión inclinado de una unidad de cámara WS-600 de doble campo de este tipo que funciona a 8.534,8 metros.

15 El enfoque tradicional para capturar oblicuos de cuatro vías, como se ejemplifica en la Fig. 50B, es capturar oblicuos en las dos direcciones laterales y las dos direcciones longitudinales, simultáneamente. Sin embargo, esto da como resultado un ángulo de visión más consistente en los oblicuos laterales que en los oblicuos longitudinales, ya que los oblicuos longitudinales tienen un campo de visión horizontal más amplio para acomodar una separación práctico de la línea de vuelo.

20 Un enfoque alternativo es llevar a cabo dos pases ortogonales sobre el área de interés y capturar dos oblicuos laterales de alta calidad durante cada pase.

Otro enfoque es capturar todos los oblicuos con el mismo campo de visión horizontal estrecho durante una sola pasada y reducir el espaciado de la línea de vuelo, según sea necesario. Al capturar cuatro oblicuos con el mismo campo horizontal estrecho simultáneamente, el enfoque óptimo (es decir, el enfoque que maximiza la separación de la línea de vuelo y, por lo tanto, la eficiencia del levantamiento) es organizar las cuatro direcciones oblicuas a 45 grados con respecto a la línea de vuelo.

30 La Fig. 54 muestra una unidad 100 compacta de WS-HyperCamera 300 que comprende cuatro módulos 614 de cámara de detalle orientables de medio campo, dispuestos en una configuración en "X" con el fin de capturar de manera óptima cuatro vistas oblicuas de alta calidad en una sola pasada. La unidad 100 de cámaras WS-300 también comprende opcionalmente un par de cámaras de visión general fija, que pueden usarse para imágenes de doble resolución o para capturar bandas espectrales adicionales, como NIR.

35 Si se desean oblicuos para las cuatro direcciones cardinales (norte, sur, este y oeste), entonces las líneas de vuelo del plan de vuelo pueden orientarse a 45 grados con respecto a las direcciones cardinales.

40 La Fig. 55A muestra una vista en planta del campo 660 de visión completo de una unidad de cámaras WS-300 de configuración en X que opera a 4.876,8 metros, que consta de dos campos 650a y 650b de visión ortogonales, mientras que la Fig. 55B muestra el campo 660 de visión completo de una unidad de cámaras WS-600 con una configuración en X que opera a 8.534,4 metros. Los dos campos 650 superpuestos proporcionan un grado de superposición y una capacidad de observación suficiente, de modo que no existe la necesidad de superposición longitudinal adicional entre capturas, es decir, más allá del mínimo requerido para evitar los huecos longitudinales.

45 La Fig. 56A muestra una vista en planta esquemática de la unidad 100 de cámaras compacta con una configuración en X de la Fig. 54, mientras que la Fig. 56B muestra la unidad 100 de cámaras con configuración en X menos compacta que comprende dos módulos 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo, dispuestos ortogonalmente. Pueden desplegarse sobre dos orificios de cámara, si es necesario.

50 Para evitar la reducción en la separación de las líneas de vuelo requerida por la configuración en X, se puede usar un módulo 616 de cámaras de detalle adicional para capturar un campo perpendicular a la dirección 220 de vuelo. Este campo adicional se puede usar para crear el ortomosaico vertical, mientras que los dos campos de configuración ortogonal en X se utilizan para crear ortomosaicos oblicuos (así como para aumentar la capacidad de observación de todos los puntos del terreno).

55 Si no se reduce la separación de las líneas de vuelo para acomodar los campos de configuración en X girados, entonces los campos de visión oblicuos dentro de cada campo de gran angular serán correspondientemente más grandes, lo que resulta en oblicuos de calidad ligeramente inferior.

60 La Fig. 57A muestra una vista en planta de los campos 650a, 650b y 650c de visión de una unidad de cámaras WS-600 con una configuración X + 1 de este tipo, que opera a 8.534,4 metros.

65 La Fig. 57B muestra una vista esquemática en planta de una correspondiente unidad 100 de cámaras, que comprende dos pares de módulos 614 de cámara de detalle orientables de medio campo dispuestos con una

configuración en X, así como un módulo 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo para el campo vertical perpendicular.

5 La Fig. 58A muestra una vista en planta de tres capturas sucesivas 660a, 660b y 660c de una unidad 100 de cámaras WS-600 con una configuración en X que opera a 8.534,4 metros.

La Fig. 58B muestra una vista en planta de las capturas 660a y 660b de dos líneas 226a y 226b de vuelo adyacentes, de una unidad 100 de cámaras WS-600 con configuración en X que opera a 8.534,4 metros.

10 La huella longitudinal (b, 672) de una cámara aérea está determinada por su ángulo de campo de visión longitudinal (delta, 670) y su altitud (a, 254), por EQ 11 en la Fig. 59. La separación longitudinal entre capturas (d, 676) está determinada por la huella longitudinal (b, 672) y la superposición longitudinal deseada (c, 674), por EQ 12 en la Fig. 59. La velocidad de disparo (r) está determinada por la separación entre capturas (d, 676) y la velocidad (v, 678) de la aeronave, dadas por EQ 13 en la Fig. 59.

15 Como se ha descrito en relación con la anterior Fig. 43, el ángulo del campo de visión lateral (gamma, 270) de un conjunto serie de cámaras es una función del número de cámaras (N), el ángulo del campo de visión lateral (beta, 250) de cada cámara y la superposición angular lateral (omega, 272) entre cámaras adyacentes. Del mismo modo, el número de cámaras (N) necesarias para cubrir un ángulo de campo de visión particular está determinado por el ángulo de campo de visión lateral objetivo (gamma, 270), el campo de visión lateral (beta, 250) de cada cámara, y la superposición angular (omega, 272) entre cámaras adyacentes, dados por EQ 14 en la Fig. 60.

20 Si se realiza el número requerido de cámaras (N) virtualmente multiplexando en el tiempo un número menor de cámaras físicas (C), entonces la velocidad secuencial (q) de cada cámara se determina por el número requerido de cámaras (N), el número de las cámaras físicas (C), la velocidad de disparo (r) y el ciclo de trabajo (u) del mecanismo de dirección por haz de multiplexación en el tiempo, dados por EQ 15 en la Fig. 60.

25 El ángulo del campo de visión lateral utilizable (phi, 680) es el ángulo del campo de visión dentro del cual las imágenes son lo suficientemente consistentes para su uso en la creación de un ortomosaico vertical. Puede ser tan bajo como 20 grados, o tan alto como 45 grados, dependiendo de la calidad requerida del ortomosaico resultante. Esto determina a su vez la separación de las líneas de vuelo (e, 682), dada por EQ 16 en la Fig. 60.

30 En general, deberá minimizarse la separación de las líneas de vuelo (e, 682) para maximizar la capacidad de observación de los puntos de tierra y evitar puntos de tierra no observados (p. ej., en cañones urbanos). Esto resulta particularmente importante para generar modelos digitales de superficie de alta calidad, ortomosaicos reales y superficies texturizadas en 3D.

35 La velocidad a la cual se captura el área del suelo mediante un sistema de cámaras aéreas está determinada por la separación de las líneas de vuelo (e, 682) y la velocidad (v, 678) de la aeronave, dadas por EQ 17 en la Fig. 60.

40 Cuando se gira el campo de visión con un ángulo de rotación del eje distinto de cero (lambda, 686), es decir, relativo a una línea nominal perpendicular a la línea 226 de vuelo, cambian diversos parámetros de captura. La separación entre capturas resultante (d (lambda), 690) es mayor, dada por EQ 18 en la Fig. 61. La velocidad de disparo resultante (r (lambda)) es menor, dada por EQ 19 en la Fig. 61. La separación de las líneas de vuelo (e(lambda), 692) es más pequeña, dada por EQ 20 en la Fig. 61. La velocidad secuencial resultante (q(lambda)) es menor, dada por EQ 21 en la Fig. 61. Y la velocidad de captura de área resultante (R(lambda)) es menor, dada por EQ 22 en la Fig. 61.

45 La Fig. 62 muestra un diagrama de bloques mecánico y electrónico de la unidad 100 de cámaras con uno o más módulos 610 de cámaras orientables, y representa una variación del diagrama de bloques de la Fig. 20. Los bloques tienen las mismas funciones que en la Fig. 20, excepto por lo descrito a continuación. Se ha omitido la alimentación por claridad.

50 El ordenador 300 controla uno o más módulos 610 de cámaras orientables, que se describen más adelante. Las imágenes a tiempo real de los módulos de cámaras se comprimen mediante uno o más módulos 700 de entrada/salida de imagen y se almacenan en uno o más dispositivos 702 de almacenamiento de imágenes. El uno o más módulos 700 de entrada/salida de imagen también pueden proporcionar al ordenador acceso a las imágenes, tanto para el monitoreo a tiempo real como para la posterior recuperación. Los dispositivos 702 de almacenamiento de imágenes comprenden medios extraíbles para permitir el envío desde el campo a una instalación de procesamiento. El uno o más módulos 700 de entrada/salida de imagen y el uno o más dispositivos 702 de almacenamiento de imágenes pueden incorporarse en cada cámara 600 individual (p. ej. cuando la cámara 600 sea una DSLR, tal como una Nikon D800), o pueden estar separados.

55 La compresión de imagen puede utilizar cualquier esquema adecuado, incluyendo JPEG o un esquema de compresión similar basado en DCT, o JPEG2000 o un esquema de compresión similar basado en wavelet, implementado en hardware o software.

5 El ordenador 300 puede monitorear la calidad de las fotos capturadas por las cámaras, y dirigir al piloto (o piloto automático) para que vuelva a volar sobre las partes del plan de vuelo que se hayan visto afectadas. El ordenador 300 puede monitorear las fotos para detectar un mal enfoque, una mala exposición, la presencia de  
nubes u otros objetos no deseados tales como otros aviones, etc.

10 El dispositivo 704 de entrada para piloto permite al piloto proporcionar información al ordenador, incluyendo la selección de planes de vuelo, el reconocimiento de alertas, la navegación por imágenes, el control de calidad, etc. Puede incluir cualquier dispositivo adecuado, tal como una pantalla táctil (junto con la pantalla 302 para piloto),  
tableta, teclado, etc.

El ordenador 300 puede controlar el piloto automático 706 de la aeronave para dirigir la misma a lo largo de cada línea de vuelo del plan de vuelo, y entre las mismas.

15 La Fig. 63 muestra un diagrama de bloques electrónico y mecánico del módulo 610 de cámaras orientables. Los acoplamientos mecánicos se muestran con líneas discontinuas.

20 El ordenador 300 mantiene la sincronización a nivel de captura y proporciona la misma a un microcontrolador 710, a través de señales a la interfaz 712 de control del microcontrolador. La interfaz 712 de control puede incluir una interfaz en serie, de USB o de Ethernet, o cualquier otra interfaz adecuada.

25 El microcontrolador 710 mantiene la sincronización a nivel de trama, y la proporciona a la cámara 600 a través de la interfaz 714 de control de cámaras. El microcontrolador 710 proporciona control a nivel de trama del espejo multiplexor 604, a través de señales a su controlador 640, y al espejo 608 de compensación de movimiento (MC), a través de señales, a su controlador 642.

30 El microcontrolador 710 informa al ordenador 300 del ángulo de giro lateral de cada foto, lo que permite que el ordenador 300 incluya el ángulo de giro lateral en la estimación inicial de la postura de cámara de cada foto. Esto se refina posteriormente mediante un proceso de ajuste en bloque (en el paso 412 en la Fig. 21), como se describió anteriormente. Los metadatos de la foto, incluyendo la exposición, el tiempo y la pose, pueden almacenarse mediante el ordenador 300 y/o almacenarse junto a cada foto en el uno o más dispositivos 702 de almacenamiento de imágenes.

35 La cámara 600 produce un flujo de imágenes en su interfaz 716 de flujo de imágenes. La interfaz 716 de flujo de imágenes puede comprender una interfaz en serie, de USB o de Ethernet, una interfaz de alta velocidad tal como CoaXPress (CXP) o CameraLink (CL), utilizando múltiples canales si fuera necesario, o cualquier otra interfaz adecuada. Si la interfaz 716 de flujo de imágenes comprende una interfaz CXP, también puede proporcionar la interfaz 714 de control de cámaras.

40 El espejo multiplexor 604 está fijado a una plataforma 638 de goniómetro, controlada por el microcontrolador 710 a través de un controlador 640. Un sensor 644 de posición opcional admite control de circuito cerrado. La plataforma 638 de goniómetro puede utilizar un motor lineal, como se describe en relación con la anterior Fig. 45, o cualquier otro accionador o motor adecuado, incluyendo un accionador o motor lineal (tal como un accionador fonomagnético) y un motor giratorio (tal como un motor paso a paso, un motor de corriente continua o un motor sin escobillas) acoplado a través de una caja de engranajes o un tornillo sin fin. El controlador 640 puede ser cualquier controlador adecuado, por ejemplo, un controlador de movimiento PI C-867 cuando se use junto con un piezomotor PI M-272. El sensor 644 de posición puede ser de cualquier tipo adecuado, incluyendo un sensor óptico, un sensor capacitivo, un sensor de presión y un sensor de corriente parásita. En caso de que el espejo multiplexor también se utilice para proporcionar compensación de movimiento, la plataforma 638 de goniómetro puede proporcionar dos  
50 ejes de rotación.

55 El espejo 608 de compensación de movimiento (MC) está fijado a una plataforma 636 de inclinación-basculación, que se controla mediante el microcontrolador 710 a través de un controlador 642. Un sensor 646 de posición opcional admite control de bucle cerrado. La plataforma 636 de inclinación-basculación puede utilizar accionadores piezoeléctricos, como se describe en relación con la anterior Fig. 45, o cualquier otro accionador o motor adecuado, incluyendo accionadores o motores lineales (tales como accionadores fonomagnéticos) y motores giratorios (tales como motores paso a paso, motores de corriente continua o motores sin escobillas) acoplado a través de una caja de engranajes o un tornillo sin fin. El controlador 642 puede ser cualquier controlador adecuado, por ejemplo, un controlador PI E-616 cuando se use junto con una plataforma de inclinación-basculación de tipo PI S-340. El sensor 646 de posición puede ser de cualquier tipo adecuado, incluyendo un sensor óptico, sensor capacitivo,  
60 sensor de tensión y sensor de corriente de Foucault.

65 La Fig. 64 muestra una tabulación, para una unidad 100 de cámaras orientables con configuración en X que comprende cámaras de 36 megapíxeles, con una velocidad de disparo (r), una velocidad secuencial (q) y una velocidad de captura de área (R) en función de la altitud (a, 254), velocidad de la aeronave (v, 678) y ángulo de campo de visión utilizable (phi, 680). La tabulación se basa en una GSD constante de 7 cm (y, por lo tanto, una



distancia focal que aumenta con la altitud). La velocidad de captura diaria se basa en seis horas de levantamiento por día.

5 Hasta 5.486,4 metros, la velocidad secuencial requerida de la cámara 600 está por debajo de la velocidad secuencial de 4Hz de la cámara réflex digital Nikon D800 de 36 megapíxeles, y hasta 6.705,6 metros la velocidad secuencial está por debajo de la velocidad secuencial de 5Hz de la cámara réflex digital Nikon D810. Para altitudes más altas (o velocidades más altas a altitudes más bajas), se puede usar una cámara con una velocidad secuencial más alta.

10 Pueden encontrarse diversas cámaras de visión artificial de alta velocidad y cámaras de video de alta resolución. Muchas de estas cámaras utilizan sensores de imagen CMOS con un obturador electrónico rodante. Esto conlleva una distorsión geométrica en presencia de movimiento, y las hace incompatibles con la mayoría de los mecanismos de compensación de movimiento. Un número menor de cámaras utiliza sensores de imagen CMOS con un obturador electrónico global, lo que las hace adecuadas para su uso en el módulo 610 de cámaras orientables. Las  
15 cámaras que utilizan sensores de imagen CCD también resultan adecuadas, ya que los CCD tienen intrínsecamente un obturador electrónico global. Las cámaras con obturadores exteriores (p. ej. obturadores mecánicos) también pueden resultar adecuadas.

20 Es habitual el uso de diversos sensores de imagen CMOS con obturador global de resolución media y alta, incluyendo los de tipo KAC-12040 ON Semiconductor de 12 megapíxeles, VITA 12K de 12 megapíxeles, VITA 16K de 16 megapíxeles y VITA 25K de megapíxeles; y el CMV12000 CMOSIS de 12 megapíxeles y CMV20000 de 20 megapíxeles.

25 El VITA 25K tiene una amplitud de píxel de 4,5 micrones y admite velocidades secuenciales de hasta 53Hz. El CMV20000 tiene una amplitud de píxel de 6,4 micrones y admite velocidades secuenciales de hasta 30 Hz (a 12 bits/píxel). El CMV12000 tiene una amplitud de píxel de 5,5 micrones y admite velocidades secuenciales de hasta 180 Hz (a 12 bits/píxeles) y 300 Hz (a 10 bits/píxel).

30 Las cámaras de visión artificial que utilizan el VITA 25K de 25 megapíxeles incluyen la Adimec S-25A30 de 32 fps, la CMOSVision Condor de 53fps y la ISVI IC-X25CXP de 53fps.

Las cámaras de visión artificial que utilizan el CMV20000 de 20 megapíxeles incluyen la Jai SP-20000C-PMCL a 30 fps y la Ximea CB200CG-CM a 30 fps.

35 Las cámaras de visión artificial que utilizan el CMV12000 de 12 megapíxeles incluyen la Adimec Q-12A65 a 66 fps, la Basler Beat beA4000-62kc a 62 fps y la IO Industries Flare 12M180-CX a 149 fps.

40 La Fig. 65 muestra una tabulación, para una GSD constante de 5 cm y una unidad 100 de cámaras orientables con configuración en X de 25 megapíxeles (asumiendo p. ej. una cámara 600 que utilice el sensor de imagen VITA 25K ON Semiconductor), de la velocidad de disparo, la velocidad secuencial y la velocidad de captura de área. La CMOS Vision Condor y la ISVI IC-X25CXP admiten una captura de GSD de 5 cm, hasta 16.459,2 metros.

45 La Fig. 66 muestra una tabulación, para una GSD constante de 5 cm y una unidad 100 de cámaras orientables con configuración en X de 12 megapíxeles (p. ej. asumiendo una cámara 600 que utilice el sensor de imagen CMOS12 CMV12000), de la velocidad de disparo, la velocidad secuencial y la velocidad de captura de área. La Flare 12M180-CX admite una captura de GSD de 5 cm más allá de los 18.288 metros.

50 La capacidad de observación de los puntos de tierra y la calidad de las texturas 3D pueden aumentarse adicionalmente al aumentar el número de direcciones de visualización, más allá de las cuatro de la configuración en X.

55 La Fig. 67A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de tres campos, que opera a 8.534,4 metros. La Fig. 67B muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de cuatro campos, que opera a 8.534,4 metros. La Fig. 68A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad de cámaras WS-600 de cinco campos, que opera a 8.534,4 metros.

60 Estos campos de visión también pueden capturarse utilizando múltiples unidades 100 de cámara, desplegando cada unidad 100 de cámara sobre un orificio de cámara separado. Por ejemplo, puede llevarse a cabo la captura de cuatro campos utilizando dos unidades 100 de cámara con una configuración en X, giradas 45 grados entre sí.

65 En general, para una unidad 100 de cámara de campo M, los campos deberán separarse uniformemente de manera angular, es decir, separados 180/M grados, y deberán disponerse simétricamente con respecto a la dirección de vuelo, es decir, un campo deberá rotarse 90/M grados con respecto a la dirección de vuelo.

Si la rotación absoluta de los campos en relación con la dirección de vuelo varía (como en las Figs. 67A, 67B y 68A), entonces la separación mínima ajustada entre las líneas de vuelo, dada por EQ 20 en la Fig. 61, estará determinada

por el campo con la diferencia de rotación absoluta más pequeña, mientras que la velocidad secuencial ajustada máxima, dada por EQ 21 en la Fig. 61, estará determinada por el campo con la mayor diferencia de rotación absoluta.

5 Los fotogramas sucesivos capturados por una cámara 600 multiplexada en el tiempo, en una unidad 610 de cámaras orientables, necesariamente se verán desplazados en la dirección de vuelo debido al movimiento de avance de la aeronave, un efecto que se ha ignorado en las figuras anteriores para una mayor claridad. Por lo tanto, los fotogramas adyacentes quedan ligeramente escalonados, como se ilustra en la Fig. 68B para una unidad 100 de cámaras WS-600 de doble cámara de campo único, que opera a 8.534,4 metros. En la figura, las dos cámaras 600  
10 de la unidad 100 de cámaras se dirigen simultáneamente desde el centro hacia afuera. El escalonamiento inducido no tiene efecto en el grado de superposición dentro las líneas de vuelo, y entre las mismas, ya que el efecto es sistemático.

15 La Fig. 69 muestra una vista en planta de los vectores de movimiento sistemáticos que deben corregirse para cada una de las cuatro cámaras 600 de una unidad 100 de cámaras con una configuración en X. Si se mueve de manera continua el espejo multiplexor orientable 604, entonces su vector 720 de movimiento será dominante. El movimiento de la aeronave agrega un vector 722 de menor movimiento constante hacia delante, que produce el vector 724 de movimiento resultante (que se muestra en línea discontinua).

20 Si se corrige el movimiento angular lineal del espejo multiplexor 604 oscilando el espejo 608 de compensación de movimiento, entonces la velocidad angular promedio del espejo 608 de compensación de movimiento durante el periodo de exposición se corresponderá con la velocidad angular constante del espejo multiplexor 604, y la fase de la oscilación se alineará con el intervalo de exposición, de modo que la velocidad angular de corrección máxima se alineará con el centro del intervalo de exposición.

25 La Fig. 70 muestra la posición angular ( $y$ , 730) como una función del tiempo ( $t$ , 732) para el espejo multiplexor 604 y el espejo 608 de compensación de movimiento, cuando se usa este último para corregir el movimiento del primero. El gráfico 734 muestra el movimiento lineal del espejo multiplexor 604, mientras que los gráficos 736a y 736b muestran dos posibles movimientos sinusoidales del espejo 608 de compensación de movimiento, cada uno con su  
30 velocidad máxima alineada con el centro del intervalo 738 de exposición.

La posición angular ( $y$ , 730) del espejo 608 de compensación de movimiento es una función de la amplitud ( $A$ ) y la frecuencia ( $f$ ) de la oscilación y el tiempo ( $t$ , 732), dada por EQ 23 en la Fig. 70. La velocidad angular ( $dy/dt$ ) del espejo 608 de compensación de movimiento es la derivada de EQ 23, dada por EQ 24, y es máxima cuando el coseno es uno, dada por EQ 25. La velocidad angular promedio del espejo 608 sobre el intervalo 738 de exposición es la integral de EQ 24, dividida por el intervalo de exposición, dada por EQ 26.

40 Como la velocidad angular ( $dy/dt$ ) es proporcional tanto a la amplitud ( $A$ ) como a la frecuencia ( $f$ ) de la oscilación, dada por EQ 24, la velocidad angular del espejo 608 de compensación de movimiento puede ajustarse a la velocidad angular del espejo multiplexor 604 variando tanto su amplitud como su frecuencia. Para mantener la alineación de fase, sin embargo, la frecuencia deberá ser un múltiplo entero de la velocidad secuencial de la cámara. La senoide 736a tiene el doble de amplitud y la mitad de la frecuencia de la senoide 736b, por lo tanto, tienen la misma velocidad angular cuando están en fase (por ejemplo, en  $t=0$  en la Fig. 70).

45 Como se muestra en el gráfico 734 en la Fig. 71, el movimiento lineal del espejo multiplexor 604 puede modularse mediante una senoide, reduciéndolo e incluso invirtiéndolo periódicamente. Esto permite adaptar la velocidad angular del espejo 608 de compensación de movimiento a la velocidad angular del espejo multiplexor 604 mediante una senoide 736 de baja amplitud, con un ligero retardo de fase para tener en cuenta la asimetría del movimiento del espejo multiplexor 604. Una vez más, las velocidades promedio coinciden en el intervalo de exposición.

50 La Fig. 72A muestra una realización alternativa del módulo 610 de cámaras orientables, en donde el espejo multiplexor 604 está montado a 45 grados con respecto al eje óptico y está configurado para girar alrededor del eje óptico, lo que permite dirigir el campo 612 de visión de la cámara 600 de lado a lado. El espejo 604 está acoplado a un motor giratorio 648, que lo hace girar. El motor 648 puede ser cualquier motor giratorio adecuado (tal como un motor paso a paso, un motor de corriente continua o un motor sin escobillas). Alternativamente, el espejo se puede acoplar a un accionador lineal o motor lineal a través de un engranaje.

60 Como es habitual, el espejo 608 de compensación de movimiento (o el espejo fijo 606 en su lugar) proporciona la función de doblar el eje óptico para permitir un montaje vertical más conveniente de la cámara 600. Como se muestra, dobla el eje óptico aproximadamente 90 grados, desde la vertical a la horizontal. El espejo 608 de compensación de movimiento también puede proporcionar las funciones de compensación de movimiento descritas anteriormente (junto con el motor o accionador 636, no mostrado).

65 La Fig. 72A muestra el módulo 610 de cámaras orientables con el espejo multiplexor 604 posicionado para imágenes verticales, mientras que la Fig. 72B muestra el módulo 610 de cámaras orientables con el espejo multiplexor 604 posicionado para la formación de imágenes en un ángulo oblicuo.

La Fig. 73A y la Fig. 73B muestran una vista en planta y una elevación posterior, respectivamente, del módulo 610 de cámaras orientables de la Fig. 72A, ambas con el espejo multiplexor 604 colocado para la formación de imágenes en un ángulo oblicuo.

5 El módulo 610 de cámaras orientables de la Fig. 72A admite un intervalo de dirección más amplio que el módulo 610 de cámaras orientables de la Fig. 45, permitiendo así el diseño de unidades 100 de cámaras más compactas y/o menos costosas.

10 La Fig. 74 muestra una vista en planta de una unidad 100 de HyperCamera WS-300, que comprende dos módulos 616 de cámaras de detalle orientables de campo completo que utilizan el diseño de espejo multiplexor giratorio de la Fig. 72A, y una cámara 112 de visión general fija. Esta unidad 100 de cámaras admite el mismo campo 660 de visión de detalle completo que la unidad 100 de cámaras de la Fig. 54, pero utilizando dos cámaras de detalle en lugar de cuatro. Cada una de las dos cámaras de detalle opera a una velocidad secuencial dos veces  
15 mayor que la de cada una de las cuatro cámaras de detalle. El campo 160 de visión de cada módulo 616 de cámaras se muestra en sus dos extremos oblicuos (R=derecha, L=izquierda).

La Fig. 75A muestra una vista en planta del campo 660 de visión completo de una unidad 100 de cámaras WS-600 con configuración en X alternativa, que utiliza el diseño giratorio y opera a 8.534,4 metros. El campo 660 de visión completo es equivalente al campo 660 de visión de la Fig. 55B. Mientras que el espejo multiplexor giratorio 604 induce la rotación en campos de cámara individuales, como se muestra en la Fig. 75A, las capturas sucesivas proporcionan una cobertura completa, como se muestra en la Fig. 75B.

20

La Fig. 76A muestra un módulo 624 de cámaras orientables de doble campo que comprende dos módulos 610 de cámaras orientables de campo completo que utilizan el diseño giratorio, pero que comparten una sola cámara 600 a través de un espejo 656 de conmutación. El espejo 656 también proporciona las funciones del espejo 608 de compensación de movimiento o el espejo fijo 606. El campo 612 de visión asociado con cada eje de dirección se muestra en el nadir y sus dos extremos oblicuos (N=nadir, R=derecha, L=izquierda).

25

Como se muestra con más detalle en la Fig. 76B, cuando el espejo 656 de conmutación está orientado en una primera dirección, dirige el campo de visión de la cámara 600 a un primer espejo multiplexor 604a, y cuando está orientado en una segunda dirección, dirige el campo de visión de la cámara 600 a un segundo espejo multiplexor 604b montado en ángulo recto con respecto al primero. El espejo 656 de conmutación está acoplado a un motor giratorio 658, que lo hace girar. El motor 658 puede ser cualquier motor giratorio adecuado (tal como un motor paso a paso, un motor de corriente continua o un motor sin escobillas). Alternativamente, el espejo 656 se puede acoplar a un accionador o motor lineal a través de un engranaje.

30

35

La Fig. 77 muestra una vista en planta de una unidad 100 de HyperCamera WS-300, que comprende un módulo 626 de cámaras de detalle orientables de doble campo que utiliza el diseño giratorio, y una cámara 112 de visión general fija. Esta unidad 100 de cámaras soporta el mismo campo 660 de visión de detalle completo que la unidad 100 de cámaras de la Fig. 54, pero usando una cámara de detalle en lugar de cuatro. La cámara de detalle individual funciona a una velocidad secuencial cuatro veces mayor que la de cada una de las cuatro cámaras de detalle. El campo 160 de visión asociado con cada eje de dirección se muestra en sus dos extremos oblicuos (R=derecha, L=izquierda).

40

45

La Fig. 78A muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad 100 de cámaras WS-600 de cuatro campos que utiliza el diseño giratorio, mientras que la Fig. 78B muestra una vista en planta de los campos de visión de una unidad 100 de cámaras WS-600 de cinco campos que utiliza el diseño giratorio, ambas operando a 8.534,4 metros.

50

Estos campos pueden capturarse utilizando una unidad 100 de cámaras que comprende un número adecuado de módulos 616 de cámaras de detalle de campo completo que utilizan el diseño giratorio, o módulos 626 de cámaras de detalle de campo doble que utilizan el diseño giratorio. Como antes, estos campos de visión también pueden capturarse utilizando múltiples unidades 100 de cámara que utilicen el diseño giratorio, desplegándose cada unidad 100 de cámaras sobre un orificio de cámara separado. Por ejemplo, puede llevarse a cabo la captura de cuatro campos utilizando dos unidades 100 de cámaras con configuración en X giradas 45 grados entre sí.

55

Estos campos también pueden capturarse utilizando un único módulo 616 de cámaras de detalle orientable que utilice el diseño giratorio, girando los espejos 604 y 608 (o 606) (y sus motores) en el plano horizontal sobre el eje vertical de la cámara 110 de detalle. Idealmente, la cámara 110 se mantiene fija (pero esto no es crucial). Los espejos pueden rotarse sucesivamente a cada una de un conjunto de posiciones angulares discretas, a lo que puede seguir la captura de un campo completo en cada una de esas posiciones. Las fotos pueden capturarse con densidad arbitraria únicamente en función del número de posiciones angulares discretas, sujetas a la velocidad secuencial máxima de la cámara y a la velocidad de giro máxima del espejo multiplexor 604. Alternativamente, los espejos pueden girarse alrededor del eje de la cámara de manera continua para capturar fotos en un patrón en espiral, con una compensación de movimiento adecuada.

60

65

La presente invención se ha descrito con referencia a una serie de realizaciones preferidas. Los expertos en la técnica apreciarán que existen varias realizaciones alternativas de la presente invención, y que el alcance de la invención solo está limitado por las reivindicaciones adjuntas.

5 A lo largo de la presente memoria descriptiva y de las reivindicaciones que siguen, a menos que el contexto requiera lo contrario, se entenderá que la palabra “comprenden” y las variaciones tales como “comprende” o “que comprende/n” implican la inclusión de un elemento integrante o paso, o de un grupo de elementos integrantes o pasos, pero no la exclusión de cualquier otro elemento integrante o paso, o grupo de elementos integrantes o pasos.

10 La referencia en la presente memoria a cualquier publicación anterior (o información derivada de la misma), o a cualquier materia que sea conocida, no es y no debe tomarse como un reconocimiento o admisión, o cualquier forma de sugerencia, de que dicha publicación previa (o información derivada de la misma) o materia conocida forme parte del conocimiento general común en el campo del esfuerzo al que se refiere la presente memoria.

15

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema para capturar imágenes aéreas del suelo, con módulos de cámara que tienen campos de visión ópticos del suelo en forma de dos tiras (650a, 650b) de longitud finita, sustancialmente en ángulo recto entre sí, estando el sistema caracterizado por:
- 10 a) dos módulos (610, 614a, 614b) de cámara de detalle dirigible, comprendiendo cada módulo (610, 614a, 614b) de cámara de detalle dirigible una cámara (110, 600) de detalle y un mecanismo de direccionamiento del haz,
- 15 b) se multiplexa en el tiempo una dirección de apuntamiento de la cámara (110, 600) de detalle mediante la variación a lo largo del tiempo, con el mecanismo de direccionamiento del haz, para cubrir un campo (160, 612) de visión del suelo más amplio, en la forma de una tira (650) de longitud finita orientada a lo largo de un eje (620) de direccionamiento,
- 20 c) el mecanismo de direccionamiento del haz comprende un primer espejo orientable (604) montado en una trayectoria óptica de la cámara (110, 600) de detalle, creando el primer espejo orientable (604) el direccionamiento del campo de visión efectivo (160, 612) al girarse el mismo sobre el eje óptico de la trayectoria óptica de la cámara (110, 600) de detalle,
- 25 d) estando distribuidos los ejes (620) de direccionamiento de cada módulo (610, 614a, 614b) de cámara de detalle angularmente con una diferencia de 90 grados entre sí, y con un ángulo de 45 grados con respecto a una línea (226) de vuelo.
- 30 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el sistema puede fijarse, por encima de un orificio (212) para cámara, a al menos uno de: un suelo (210) de una aeronave (230) o un suelo (210) de una cápsula (232) soportada por una aeronave (230), para proporcionar a las cámaras (110, 600) de detalle una vista del suelo situado debajo de la aeronave (230), a través del orificio (212) para cámara.
- 35 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, comprendiendo el sistema al menos una cámara (112) de visión general, siendo la longitud focal de la cámara (112) de visión general más corta que la longitud focal de cada cámara (110, 600) de detalle.
- 40 4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde, dentro de cada módulo (610, 614) de cámara de detalle, la cámara (110, 600) de detalle tiene una lente que se selecciona del grupo que comprende: una lente dióptrica, una lente catóptrica o una lente catadióptrica.
- 45 5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde, dentro de cada módulo (610, 614) de cámara de detalle, el primer espejo orientable (604) está estacionario durante un periodo de exposición de la cámara (110, 600) de detalle.
- 50 6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde, dentro de cada módulo (610, 614) de cámara de detalle orientable, el primer espejo orientable (604) tiene una velocidad angular no cero durante un periodo de exposición de la cámara (110, 600) de detalle, y cada módulo (610, 614) de cámara de detalle orientable comprende un segundo espejo orientable (608) configurado para corregir un efecto, en la cámara (110, 600) de detalle, de la velocidad angular del primer espejo orientable (604) durante el periodo de exposición, para garantizar que la cámara (110, 600) de detalle apunte en una dirección constante durante el periodo de exposición.
- 55 7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde una velocidad angular del segundo espejo orientable (608) es sinusoidal, y una velocidad angular promedio del segundo espejo orientable (608) es igual a una velocidad angular promedio del primer espejo orientable (604) durante el periodo de exposición.
- 60 8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la velocidad angular del primer espejo orientable (604) es constante durante el periodo de exposición, y la velocidad angular del segundo espejo orientable (608) es máxima durante el periodo de exposición.
- 65 9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la velocidad angular del segundo espejo orientable (608) es constante durante el periodo de exposición.
10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la velocidad angular del primer espejo orientable (604) es una constante modulada por una senoide, para reducir la velocidad angular promedio del primer espejo orientable (604) durante el periodo de exposición.
11. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende adicionalmente al menos un mecanismo (330) de compensación de movimiento angular (AMC), estando configurado el al menos un mecanismo (330) de AMC para corregir un efecto, en cada cámara (110, 600) de detalle, del movimiento angular de la aeronave (230) para asegurar que las cámaras (110, 600) de detalle apunten en una dirección consistente en el tiempo.
12. El sistema de la reivindicación 11, en donde la AMC (330) se proporciona a través de un espejo orientable.

5 13. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que comprende adicionalmente al menos un mecanismo de compensación de movimiento hacia delante (FMC), estando configurado el al menos un mecanismo de FMC para corregir un efecto, en cada cámara (110, 600) de detalle, del movimiento hacia delante de la aeronave (230), para reducir el desenfoque por movimiento en las fotos capturadas por las cámaras (110, 600) de detalle.

14. El sistema de la reivindicación 13, en donde la FMC se proporciona a través de un espejo orientable.

10 15. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en donde la línea (226) de vuelo está inclinada sustancialmente a 45 grados en una dirección cardinal.

15 16. Un método para capturar imágenes aéreas del suelo, utilizando módulos de cámara que tienen campos ópticos de visión del suelo en forma de dos tiras (650a, 650b), de longitud finita, sustancialmente en ángulo recto entre sí, estando el método caracterizado por:

20 a. la multiplexación en el tiempo, mediante la variación a lo largo del tiempo, de una dirección de apuntamiento de cada uno de los dos módulos (610, 614a, 614b) de cámara de detalle orientable para cubrir un campo (160, 612) de visión más amplio del suelo, en forma de una tira (650) de longitud finita orientada a lo largo de un eje (620) de direccionamiento,

b. cada módulo (610, 614a, 614b) de cámara de detalle orientable comprende una cámara (110, 600) de detalle y un mecanismo de direccionamiento del haz,

25 c. el mecanismo de direccionamiento del haz comprende un primer espejo orientable (604) montado en una trayectoria óptica de la cámara (110, 600) de detalle, la multiplexación en el tiempo incluye girar el primer espejo orientable (604) alrededor del eje óptico de la trayectoria óptica de la cámara (110, 600) de detalle, para crear el direccionamiento del campo (160, 612) de visión efectivo,

d. los ejes (620) de direccionamiento de los módulos (610, 614a, 614b) de cámara de detalle están distribuidos angularmente con una diferencia de 90 grados entre sí, y con un ángulo de 45 grados con respecto a una línea (226) de vuelo,

30 e. en donde la línea (226) de vuelo está inclinada sustancialmente a 45 grados en una dirección cardinal.

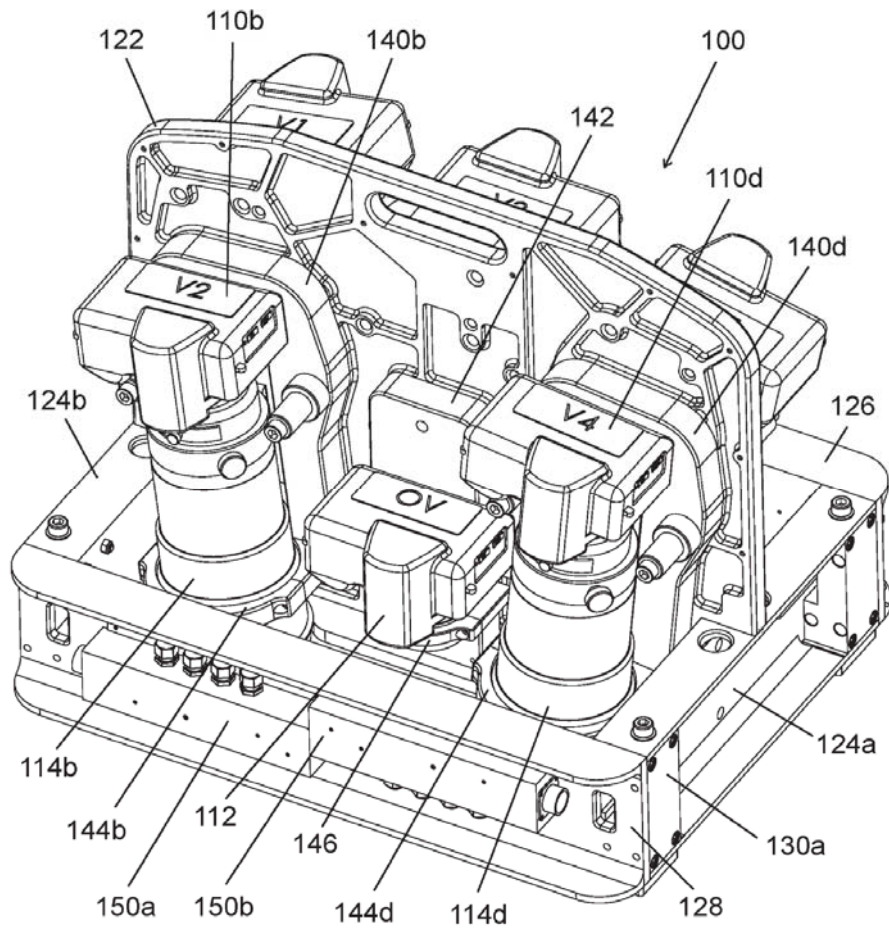


Fig. 1

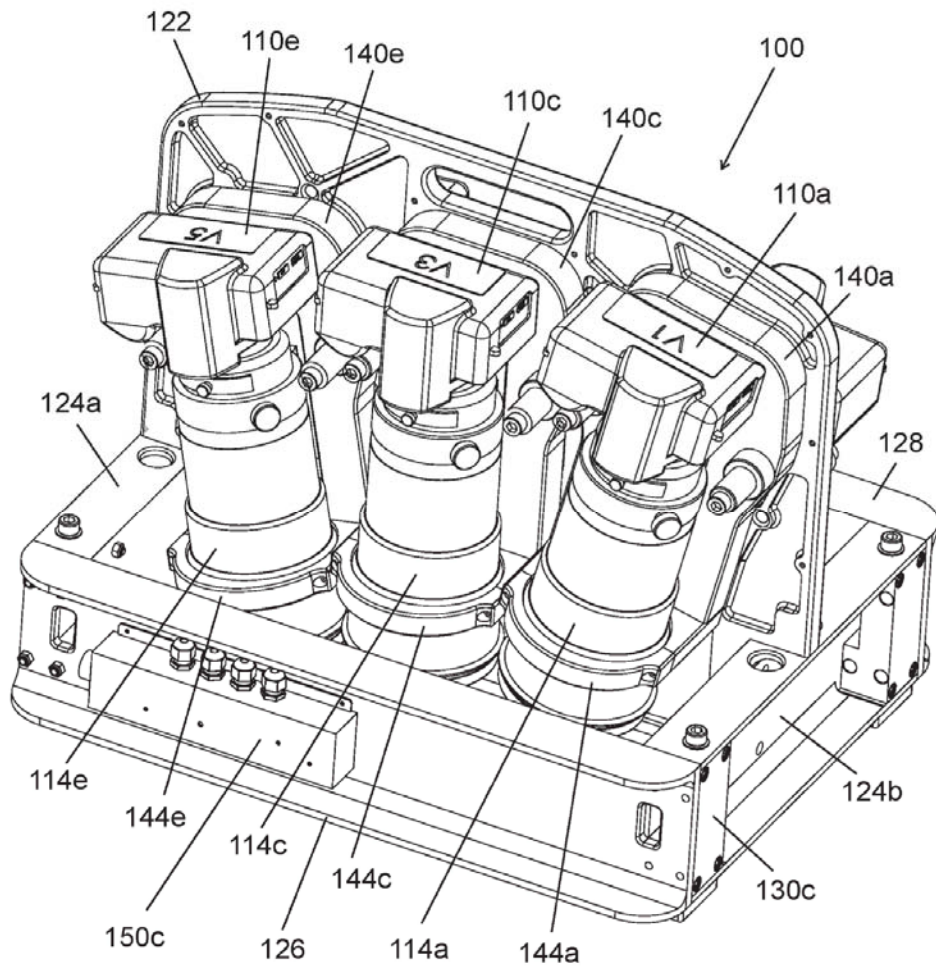


Fig. 2



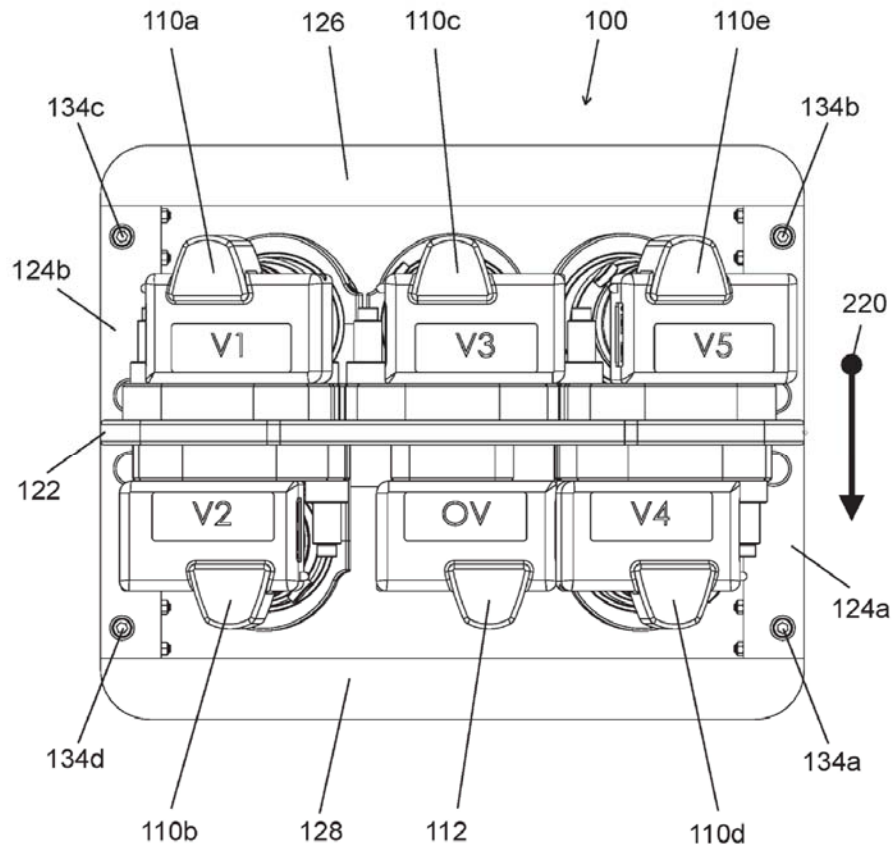


Fig. 3

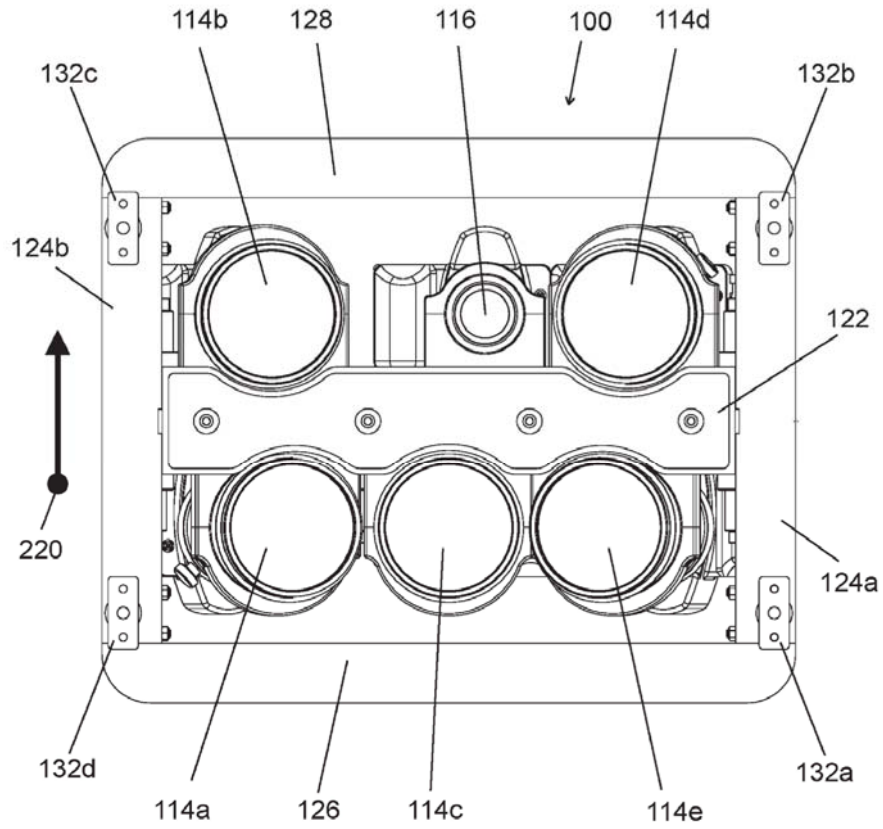
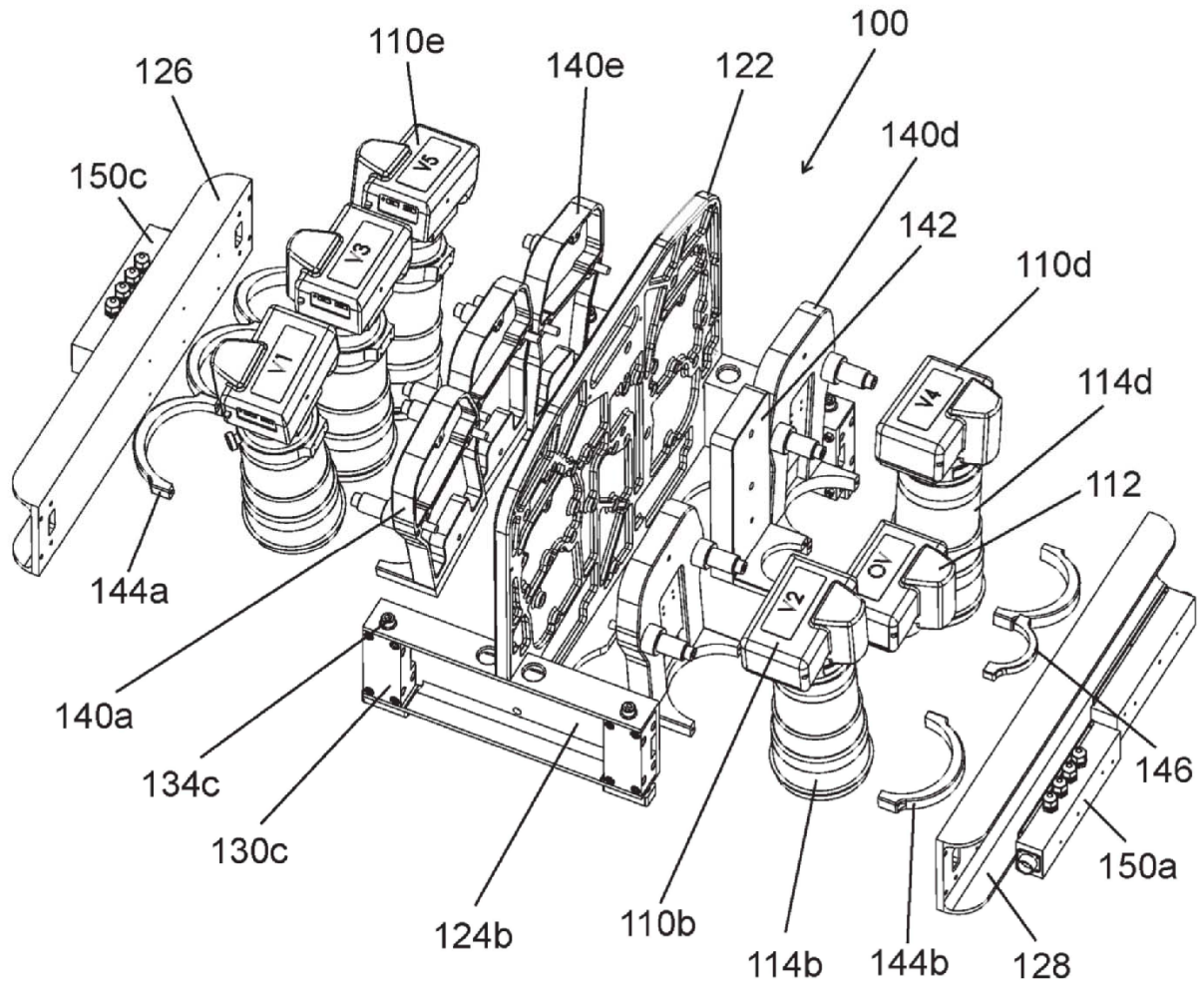


Fig. 4



**Fig. 5**

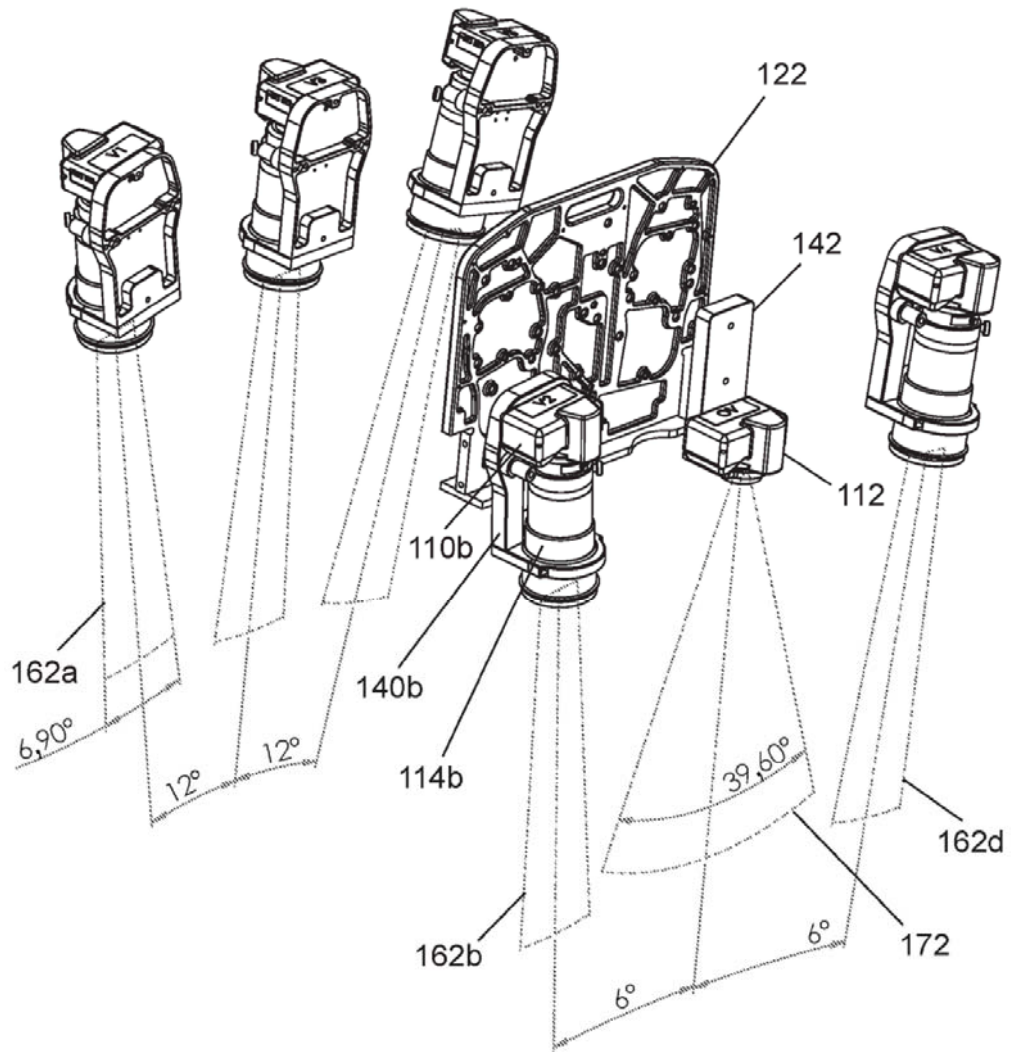
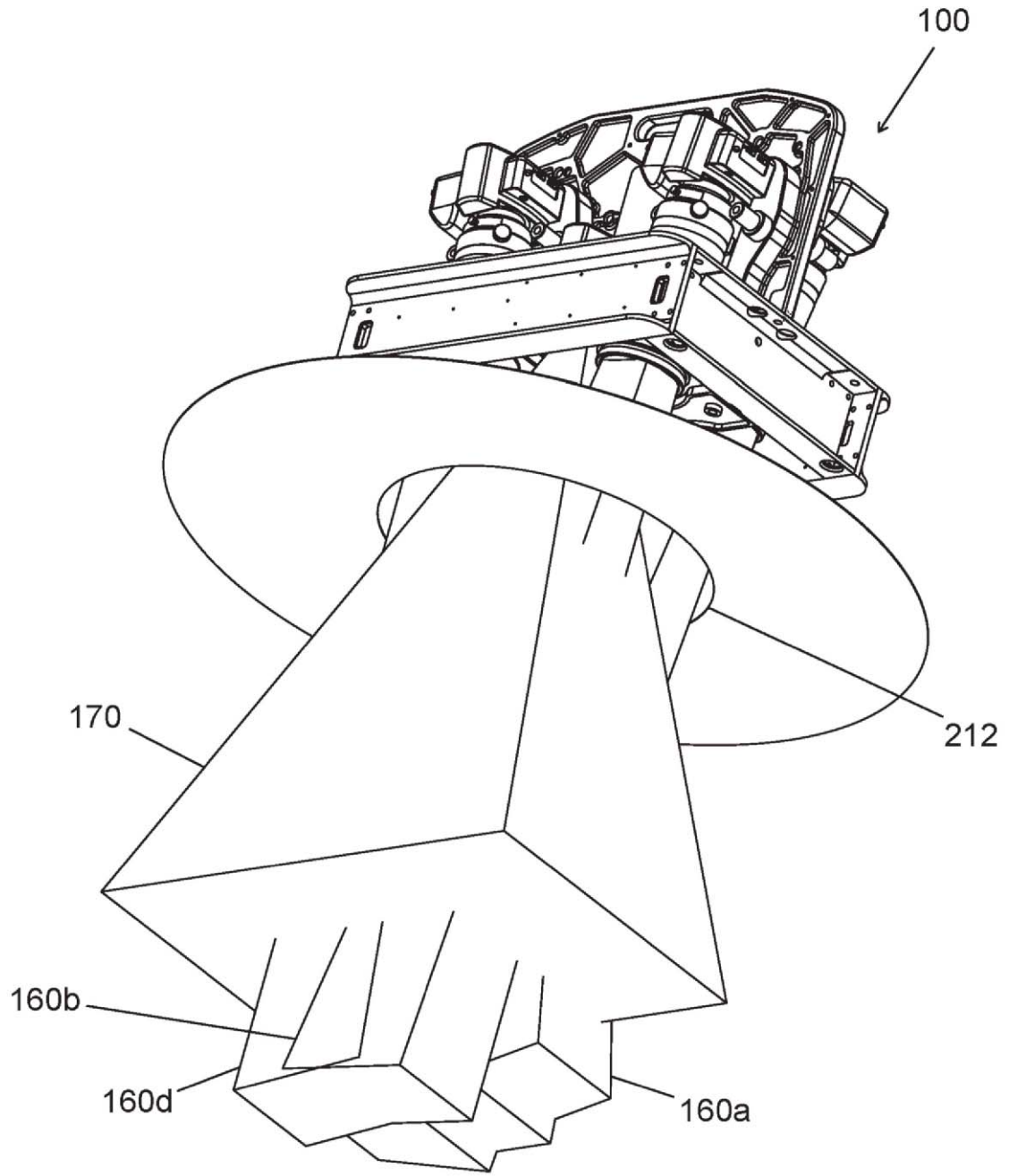
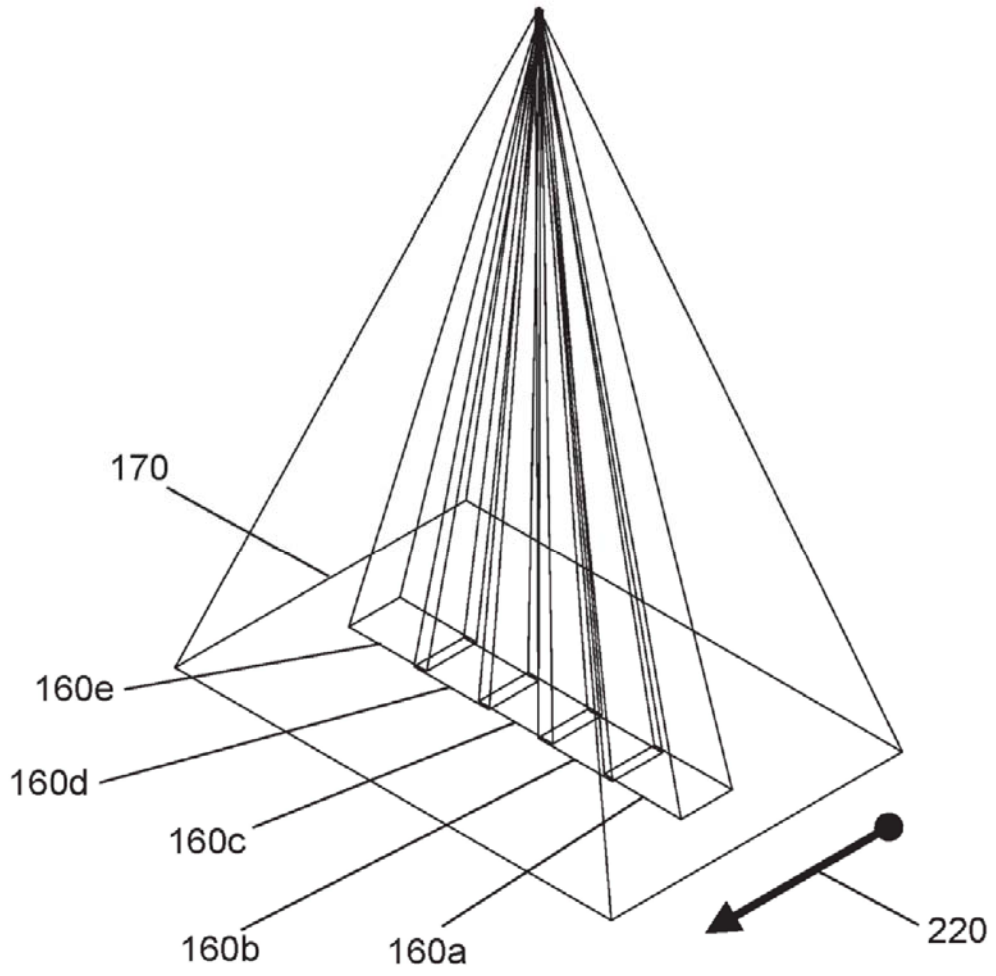


Fig. 6



**Fig. 7**



**Fig. 8**

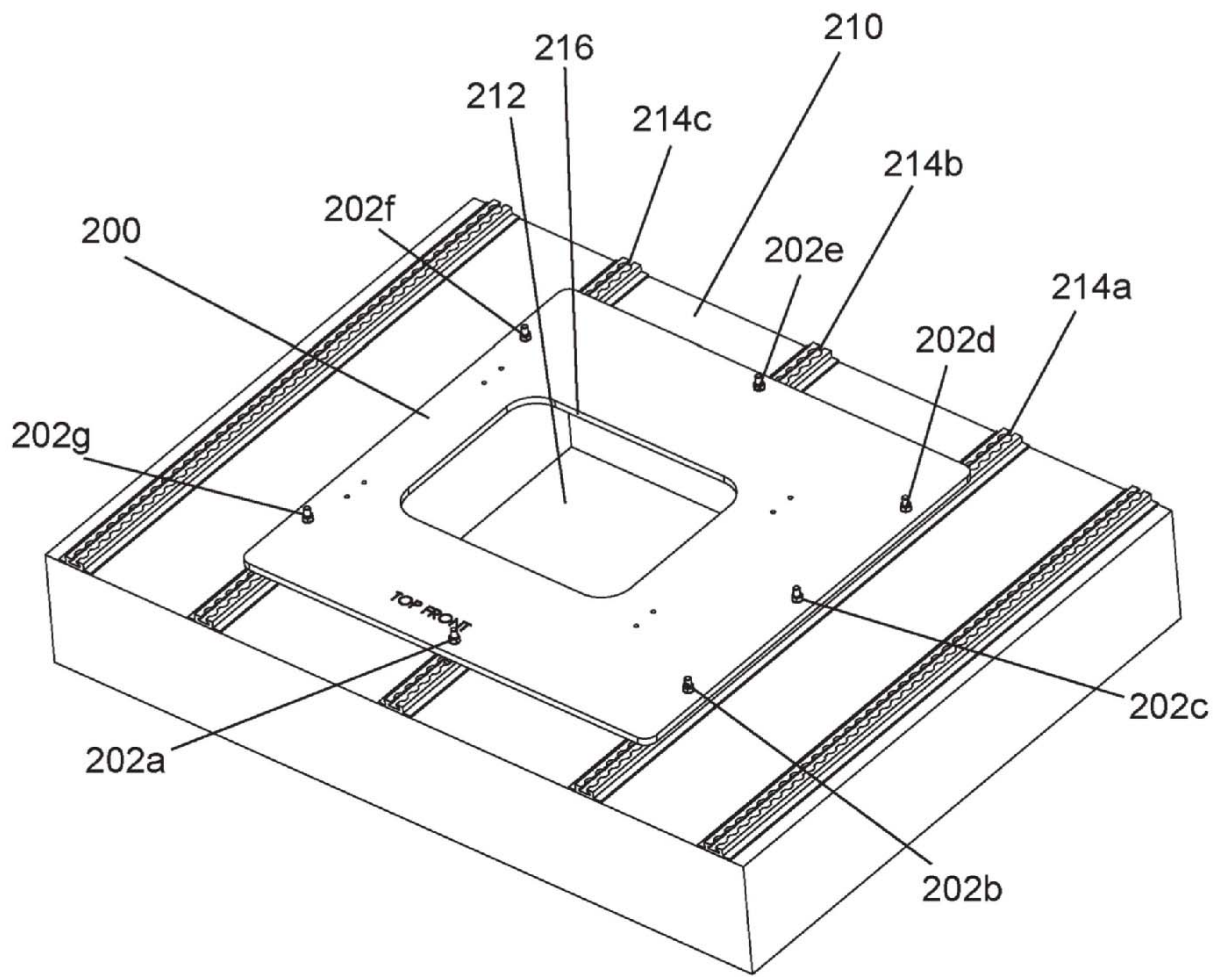


Fig. 9

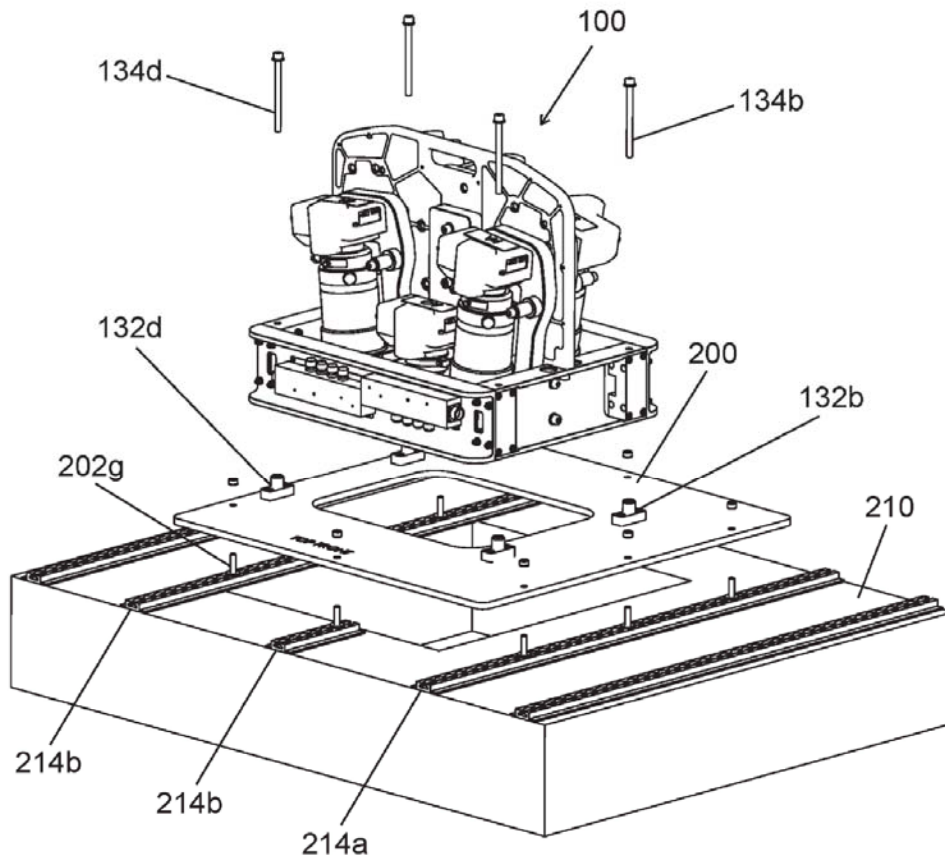
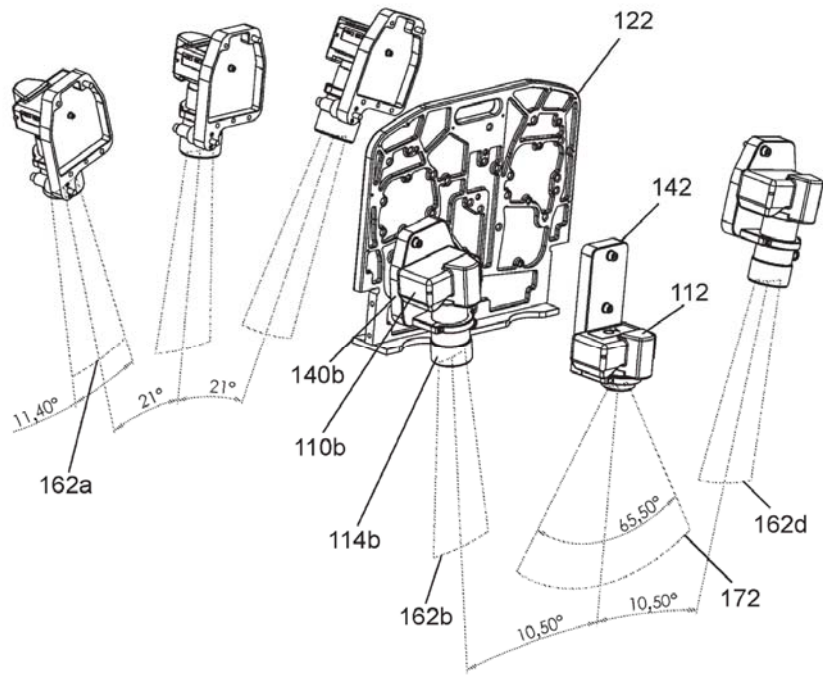
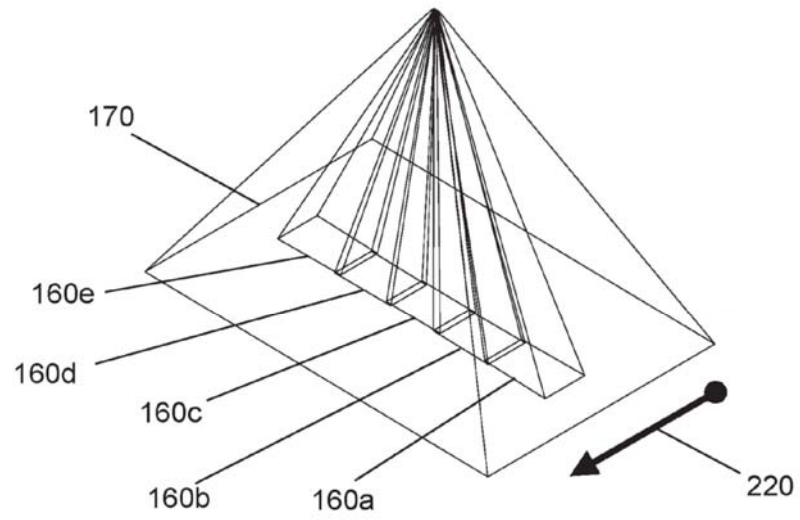


Fig. 10





**Fig. 11**



**Fig. 12**

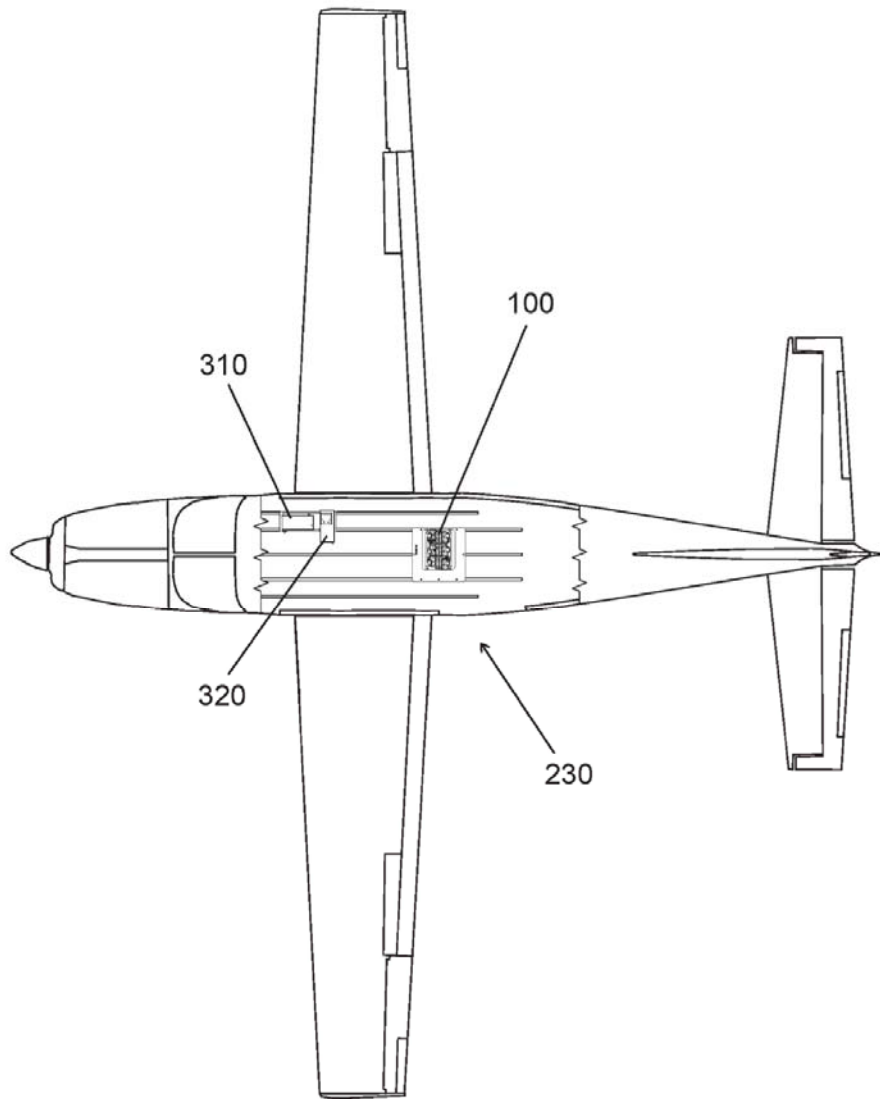


Fig. 13

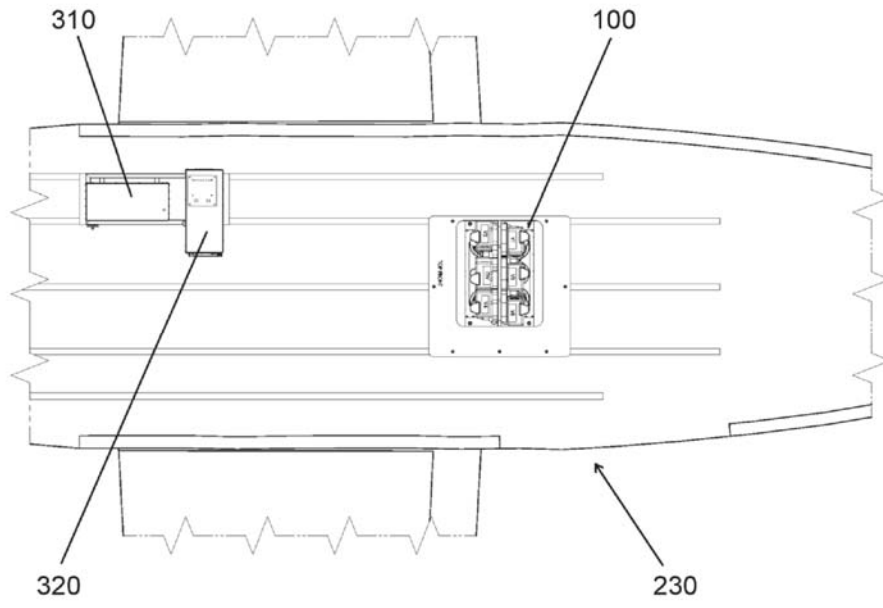
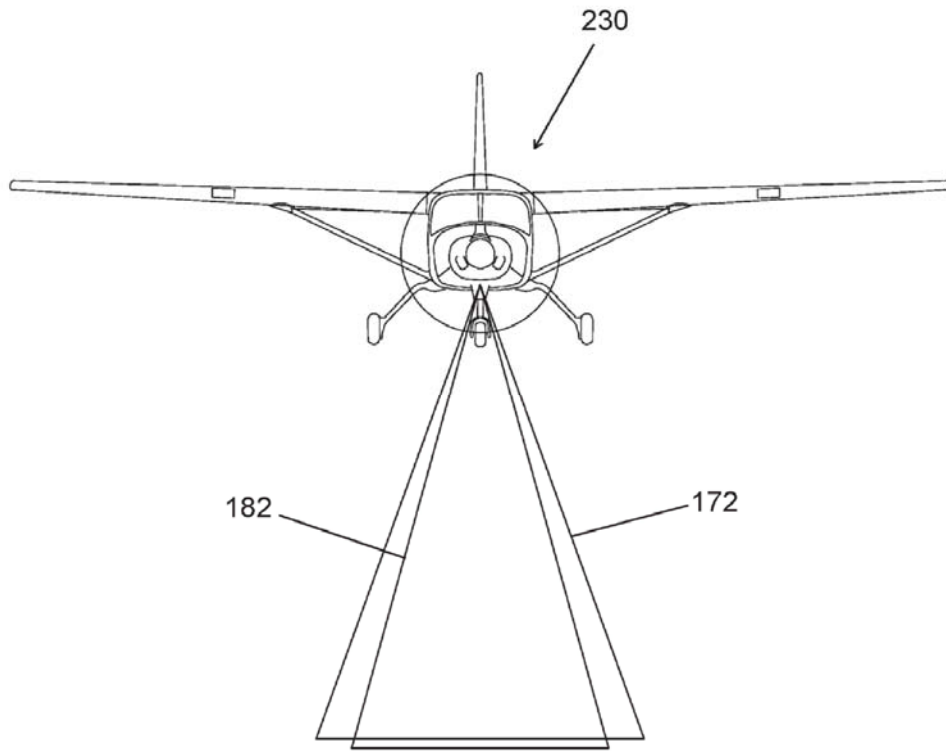
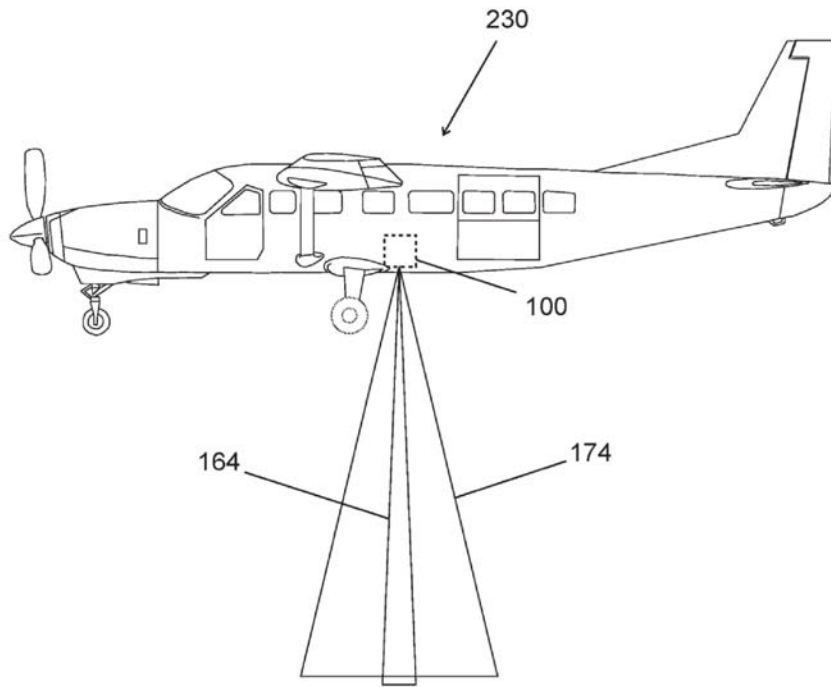


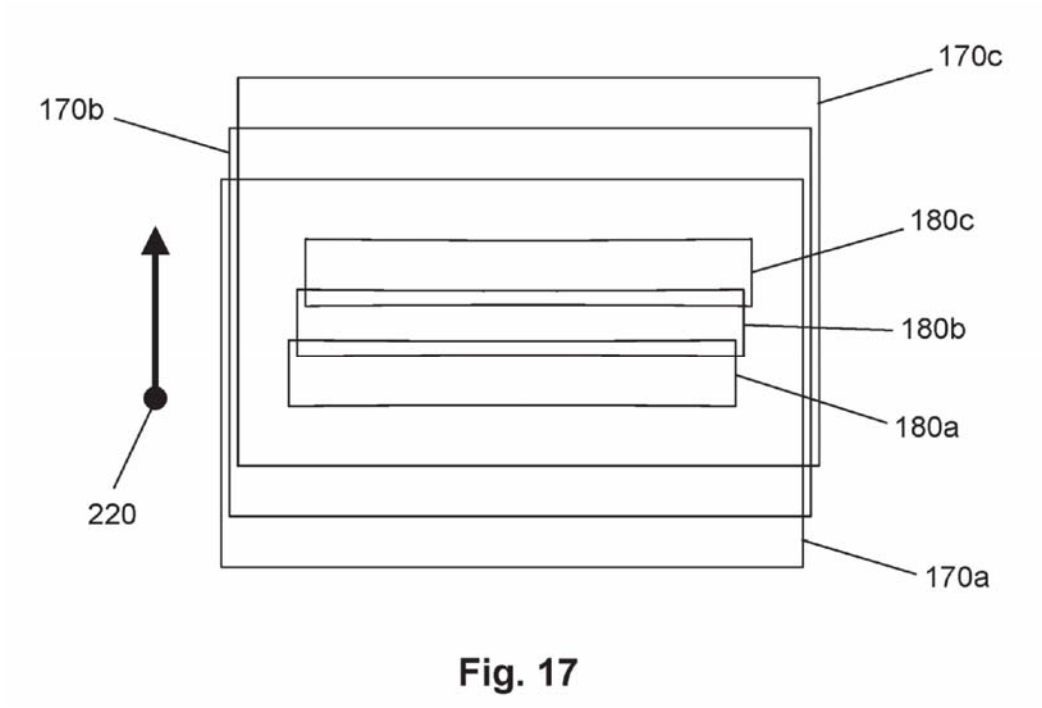
Fig. 14



**Fig. 15**



**Fig. 16**



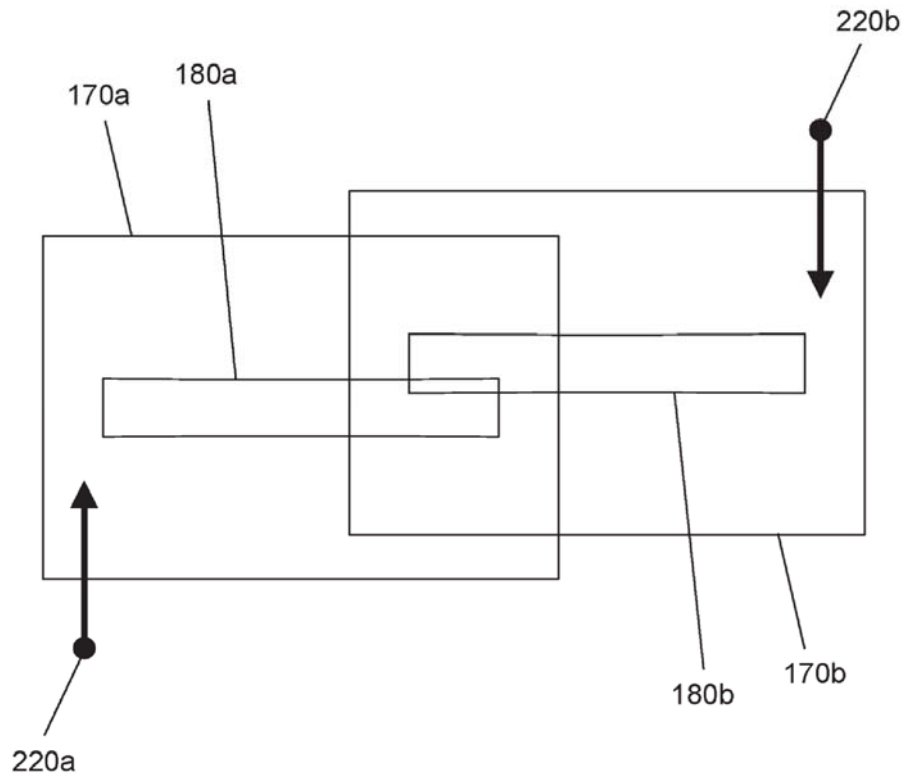


Fig. 18



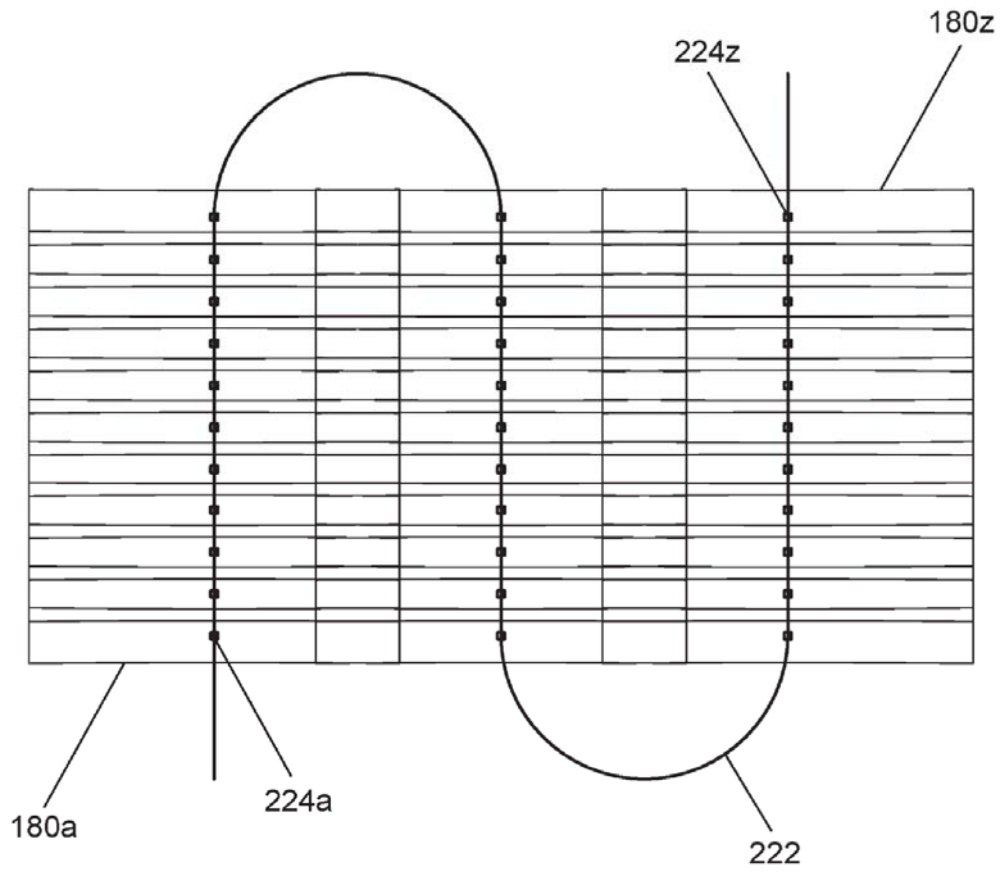


Fig. 19

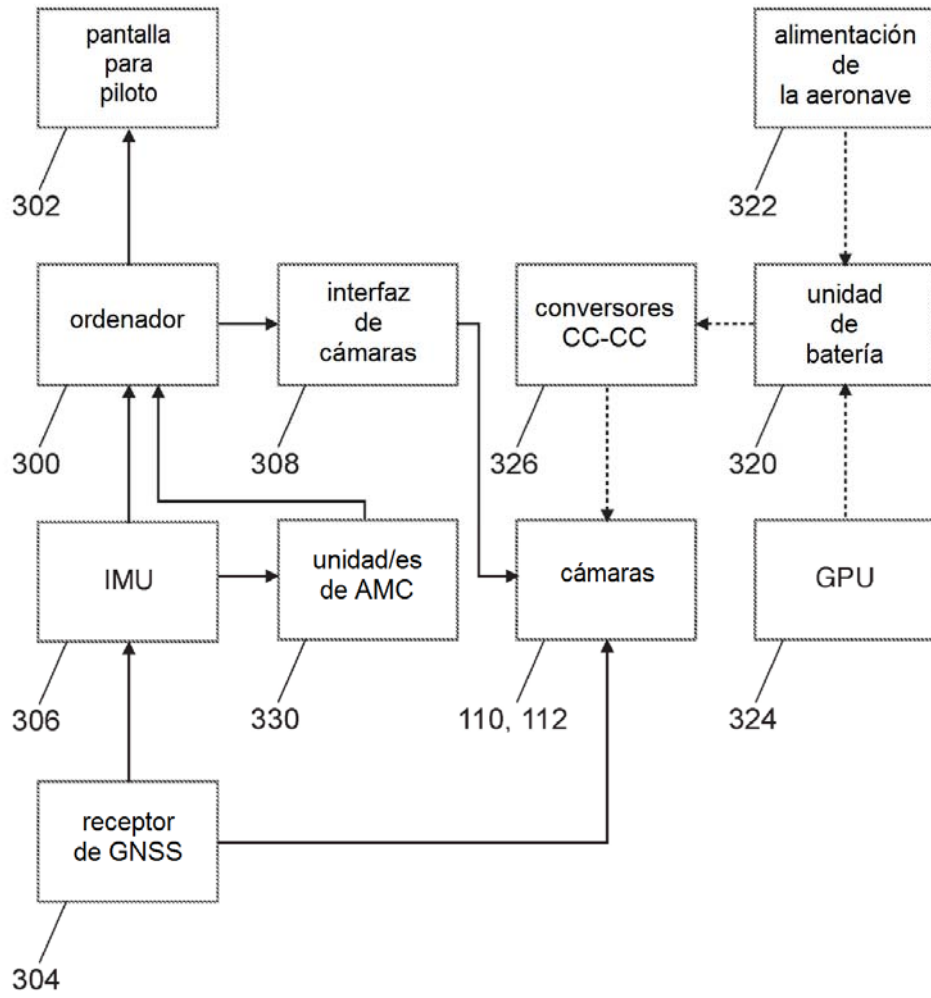


Fig. 20

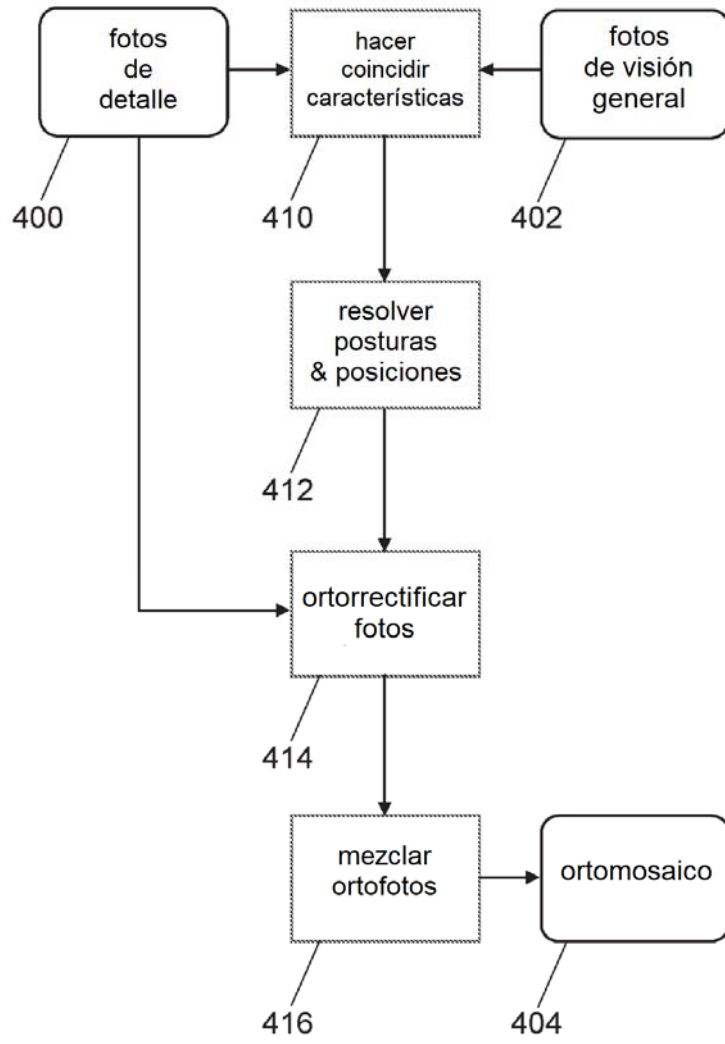


Fig. 21

# ES 2 724 464 T3

altitud	distancia focal						barrido 30°	barrido 45°
	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm		
609,6 m (2000')	3,0 cm	1,5 cm	1,0 cm	0,7 cm	0,6 cm	0,5 cm	0,3 km	0,5 km
1.219,2 m (4000')	6,0 cm	3,0 cm	2,0 cm	1,5 cm	1,2 cm	1,0 cm	0,7 km	1,0 km
1.828,8 m (6000')	8,9 cm	4,5 cm	3,0 cm	2,2 cm	1,8 cm	1,5 cm	1,0 km	1,5 km
2.438,4 m (8000')	11,9 cm	6,0 cm	4,0 cm	3,0 cm	2,4 cm	2,0 cm	1,3 km	2,0 km
3.048 m (10000')	14,9 cm	7,4 cm	5,0 cm	3,7 cm	3,0 cm	2,5 cm	1,6 km	2,5 km
3.657,6 m (12000')	17,9 cm	8,9 cm	6,0 cm	4,5 cm	3,6 cm	3,0 cm	2,0 km	3,0 km
4.267,2 m (14000')	20,8 cm	10,4 cm	6,9 cm	5,2 cm	4,2 cm	3,5 cm	2,3 km	3,5 km
4.876,8 m (16000')	23,8 cm	11,9 cm	7,9 cm	6,0 cm	4,8 cm	4,0 cm	2,6 km	4,0 km
5.486,4 m (18000)	26,8 cm	13,4 cm	8,9 cm	6,7 cm	5,4 cm	4,5 cm	2,9 km	4,5 km
6096 m (20000')	29,8 cm	14,9 cm	9,9 cm	7,4 cm	6,0 cm	5,0 cm	3,3 km	5,1 km
6.705,6 m (22000')	32,7 cm	16,4 cm	10,9 cm	8,2 cm	6,5 cm	5,5 cm	3,6 km	5,6 km
7.315,2 m (24000')	35,7 cm	17,9 cm	11,9 cm	8,9 cm	7,1 cm	6,0 cm	3,9 km	6,1 km
7.924,8 m (26000')	38,7 cm	19,3 cm	12,9 cm	9,7 cm	7,7 cm	6,4 cm	4,2 km	6,6 km
8.534,4 m (28000')	41,7 cm	20,8 cm	13,9 cm	10,4 cm	8,3 cm	6,9 cm	4,6 km	7,1 km
9.144 m (30000')	44,6 cm	22,3 cm	14,9 cm	11,2 cm	8,9 cm	7,4 cm	4,9 km	7,6 km
9.753,6 m (32000')	47,6 cm	23,8 cm	15,9 cm	11,9 cm	9,5 cm	7,9 cm	5,2 km	8,1 km
10.353,2 m (34000')	50,6 cm	25,3 cm	16,9 cm	12,6 cm	10,1 cm	8,4 cm	5,6 km	8,6 km
10.972,8 m (36000')	53,6 cm	26,8 cm	17,9 cm	13,4 cm	10,7 cm	8,9 cm	5,9 km	9,1 km
11.582,4 m (38000')	56,5 cm	28,3 cm	18,8 cm	14,1 cm	11,3 cm	9,4 cm	6,2 km	9,6 km
12.192 m (40000')	59,5 cm	29,8 cm	19,8 cm	14,9 cm	11,9 cm	9,9 cm	6,5 km	10,1 km
12.801,6 m (42000')	62,5 cm	31,2 cm	20,8 cm	15,6 cm	12,5 cm	10,4 cm	6,9 km	10,6 km
13.411,2 m (44000')	65,5 cm	32,7 cm	21,8 cm	16,4 cm	13,1 cm	10,9 cm	7,2 km	11,1 km
14.020,8 m (46000')	68,4 cm	34,2 cm	22,8 cm	17,1 cm	13,7 cm	11,4 cm	7,5 km	11,6 km
14.630,4 m (48000')	71,4 cm	35,7 cm	23,8 cm	17,9 cm	14,3 cm	11,9 cm	7,8 km	12,1 km
15.240 m (50000')	74,4 cm	37,2 cm	24,8 cm	18,6 cm	14,9 cm	12,4 cm	8,2 km	12,6 km
15.849,6 m (52000')	77,4 cm	38,7 cm	25,8 cm	19,3 cm	15,5 cm	12,9 cm	8,5 km	13,1 km
16.459,2 m (54000')	80,3 cm	40,2 cm	26,8 cm	20,1 cm	16,1 cm	13,4 cm	8,8 km	13,6 km
17.068,8 m (56000')	83,3 cm	41,7 cm	27,8 cm	20,8 cm	16,7 cm	13,9 cm	9,1 km	14,1 km
17.678,4 m (58000')	86,3 cm	43,1 cm	28,8 cm	21,6 cm	17,3 cm	14,4 cm	9,5 km	14,6 km
18.288 m (60000')	89,3 cm	44,6 cm	29,8 cm	22,3 cm	17,9 cm	14,9 cm	9,8 km	15,2 km
	13,7°	6,9°	4,6°	3,4°	2,7°	2,3°	FOV longitudinal	
	20,4°	10,3°	6,9°	5,1°	4,1°	3,4°	FOV lateral	
	0,9°	0,9°	0,9°	0,6°	0,5°	0,4°	superposición lateral	
	19,5°	9,4°	6,0°	4,5°	3,6°	3,0°	separación lateral	
	2	4	5	7	9	10	Recuento de cámara 30°	
	39,8°	38,3°	30,8°	32,1°	32,9°	30,4°	FOV real	
	3	5	8	10	13	15	Recuento de cámara 45°	
	59,3°	47,7°	48,8°	45,6°	47,3°	45,4°	FOV real	

**Fig. 22**

# ES 2 724 464 T3

altitud	distancia focal						barrido 30°	barrido 45°
	700 mm	800 mm	900 mm	1000 mm	1100 mm	1200 mm		
609,6 m (2000')	0,4 cm	0,4 cm	0,3 cm	0,3 cm	0,3 cm	0,2 cm	0,3 km	0,5 km
1.219,2 m (4000')	0,9 cm	0,7 cm	0,7 cm	0,6 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,7 km	1,0 km
1.828,8 m (6000')	1,3 cm	1,1 cm	1,0 cm	0,9 cm	0,8 cm	0,7 cm	1,0 km	1,5 km
2.438,4 m (8000')	1,7 cm	1,5 cm	1,3 cm	1,2 cm	1,1 cm	1,0 cm	1,3 km	2,0 km
3.048 m (10000')	2,1 cm	1,9 cm	1,7 cm	1,5 cm	1,4 cm	1,2 cm	1,6 km	2,5 km
3.657,6 m (12000')	2,6 cm	2,2 cm	2,0 cm	1,8 cm	1,6 cm	1,5 cm	2,0 km	3,0 km
4.267,2 m (14000')	3,0 cm	2,6 cm	2,3 cm	2,1 cm	1,9 cm	1,7 cm	2,3 km	3,5 km
4.876,8 m (16000')	3,4 cm	3,0 cm	2,6 cm	2,4 cm	2,2 cm	2,0 cm	2,6 km	4,0 km
5.486,4 m (18000)	3,8 cm	3,3 cm	3,0 cm	2,7 cm	2,4 cm	2,2 cm	2,9 km	4,5 km
6096 m (20000')	4,3 cm	3,7 cm	3,3 cm	3,0 cm	2,7 cm	2,5 cm	3,3 km	5,1 km
6.705,6 m (22000')	4,7 cm	4,1 cm	3,6 cm	3,3 cm	3,0 cm	2,7 cm	3,6 km	5,6 km
7.315,2 m (24000')	5,1 cm	4,5 cm	4,0 cm	3,6 cm	3,2 cm	3,0 cm	3,9 km	6,1 km
7.924,8 m (26000')	5,5 cm	4,8 cm	4,3 cm	3,9 cm	3,5 cm	3,2 cm	4,2 km	6,6 km
8.534,4 m (28000')	6,0 cm	5,2 cm	4,6 cm	4,2 cm	3,8 cm	3,5 cm	4,6 km	7,1 km
9.144 m (30000')	6,4 cm	5,6 cm	5,0 cm	4,5 cm	4,1 cm	3,7 cm	4,9 km	7,6 km
9.753,6 m (32000')	6,8 cm	6,0 cm	5,3 cm	4,8 cm	4,3 cm	4,0 cm	5,2 km	8,1 km
10.353,2 m (34000')	7,2 cm	6,3 cm	5,6 cm	5,1 cm	4,6 cm	4,2 cm	5,6 km	8,6 km
10.972,8 m (36000')	7,7 cm	6,7 cm	6,0 cm	5,4 cm	4,9 cm	4,5 cm	5,9 km	9,1 km
11.582,4 m (38000')	8,1 cm	7,1 cm	6,3 cm	5,7 cm	5,1 cm	4,7 cm	6,2 km	9,6 km
12.192 m (40000')	8,5 cm	7,4 cm	6,6 cm	6,0 cm	5,4 cm	5,0 cm	6,5 km	10,1 km
12.801,6 m (42000')	8,9 cm	7,8 cm	6,9 cm	6,2 cm	5,7 cm	5,2 cm	6,9 km	10,6 km
13.411,2 m (44000')	9,4 cm	8,2 cm	7,3 cm	6,5 cm	6,0 cm	5,5 cm	7,2 km	11,1 km
14.020,8 m (46000')	9,8 cm	8,6 cm	7,6 cm	6,8 cm	6,2 cm	5,7 cm	7,5 km	11,6 km
14.630,4 m (48000')	10,2 cm	8,9 cm	7,9 cm	7,1 cm	6,5 cm	6,0 cm	7,8 km	12,1 km
15.240 m (50000')	10,6 cm	9,3 cm	8,3 cm	7,4 cm	6,8 cm	6,2 cm	8,2 km	12,6 km
15.849,6 m (52000')	11,1 cm	9,7 cm	8,6 cm	7,7 cm	7,0 cm	6,4 cm	8,5 km	13,1 km
16.459,2 m (54000')	11,5 cm	10,0 cm	8,9 cm	8,0 cm	7,3 cm	6,7 cm	8,8 km	13,6 km
17.068,8 m (56000')	11,9 cm	10,4 cm	9,3 cm	8,3 cm	7,6 cm	6,9 cm	9,1 km	14,1 km
17.678,4 m (58000')	12,3 cm	10,8 cm	9,6 cm	8,6 cm	7,8 cm	7,2 cm	9,5 km	14,6 km
18.288 m (60000')	12,8 cm	11,2 cm	9,9 cm	8,9 cm	8,1 cm	7,4 cm	9,8 km	15,2 km

2,0°	1,7°	1,5°	1,4°	1,2°	1,1°	FOV longitudinal
2,9°	2,6°	2,3°	2,1°	1,9°	1,7°	FOV lateral
0,4°	0,3°	0,3°	0,3°	0,3°	0,3°	superposición lateral
2,6°	2,3°	2,0°	1,8°	1,6°	1,4°	separación lateral

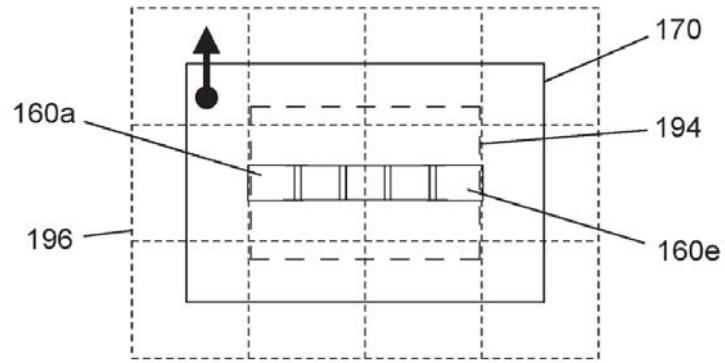
  

12	14	15	17	19	21	Recuento de cámara 30°
31,2°	31,8°	30,1°	30,2°	30,1°	30,0°	FOV real

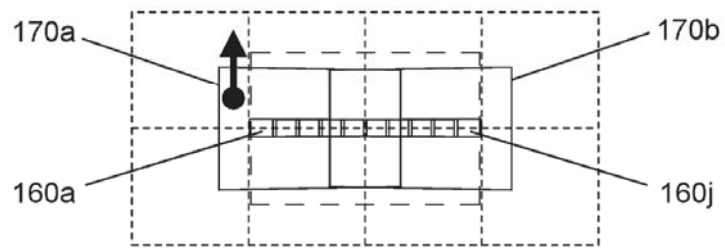
  

18	20	23	26	29	32	Recuento de cámara 45°
46,7°	45,3°	46,0°	46,0°	45,8°	45,6°	FOV real

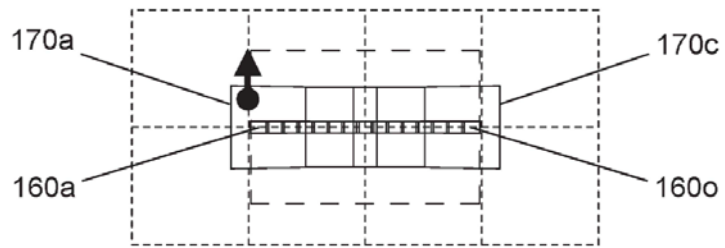
**Fig. 23**



**Fig. 24A**



**Fig. 24B**



**Fig. 24C**

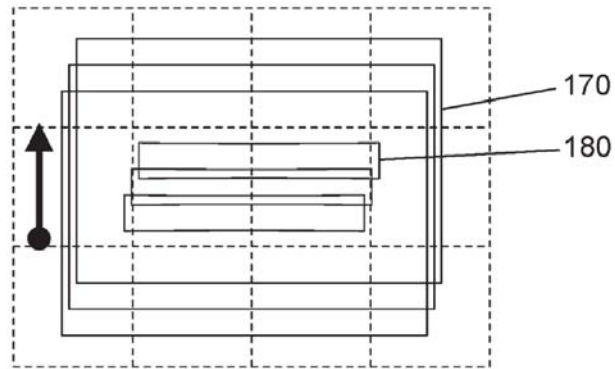


Fig. 25A

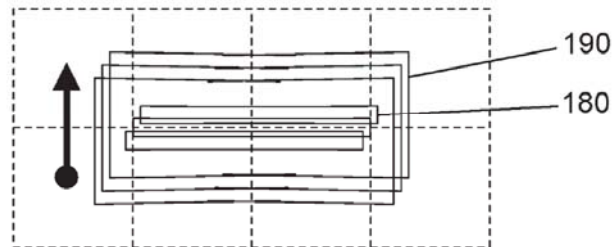


Fig. 25B

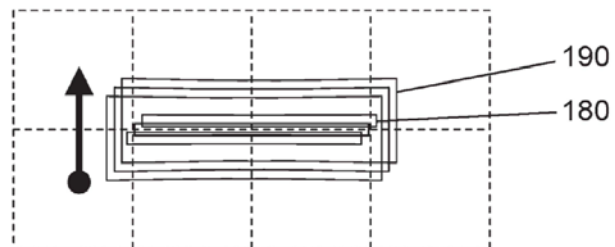


Fig. 25C

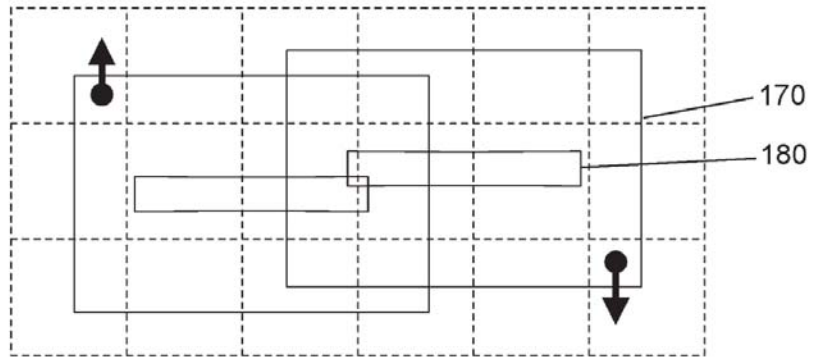


Fig. 26A

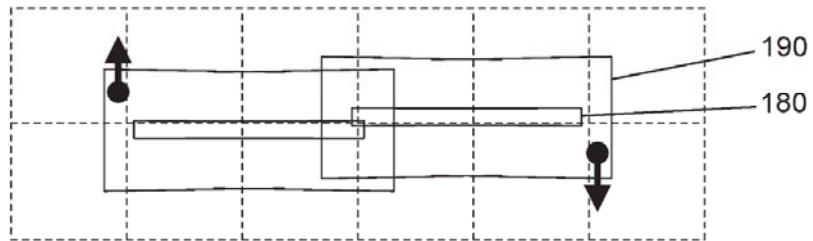


Fig. 26B

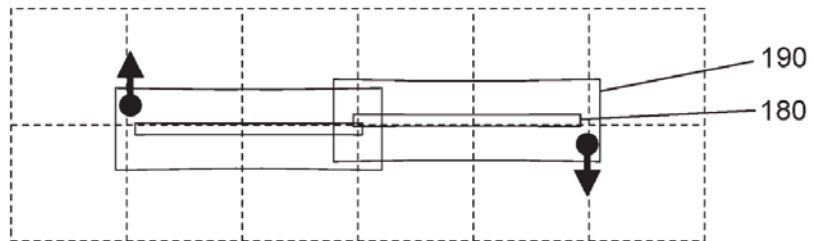
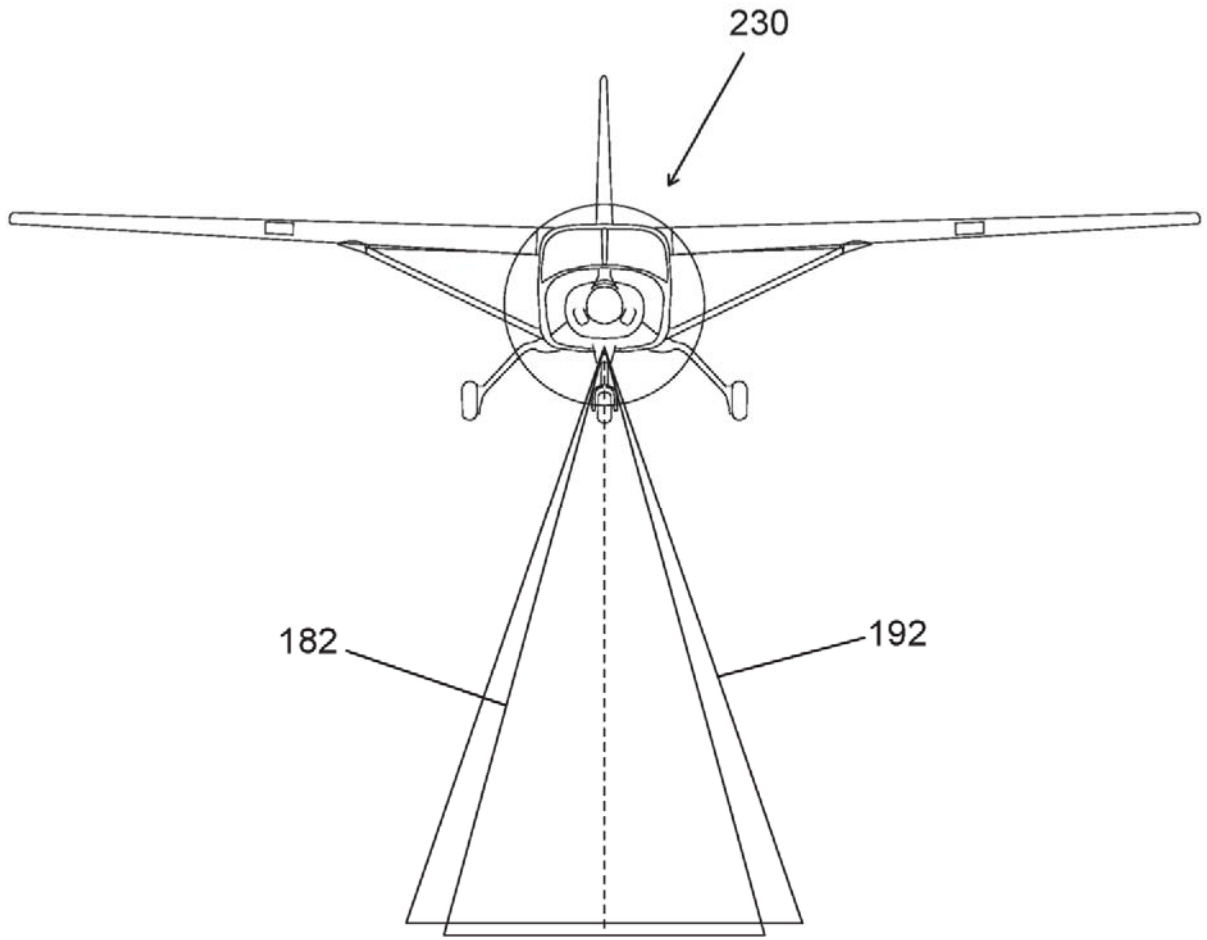
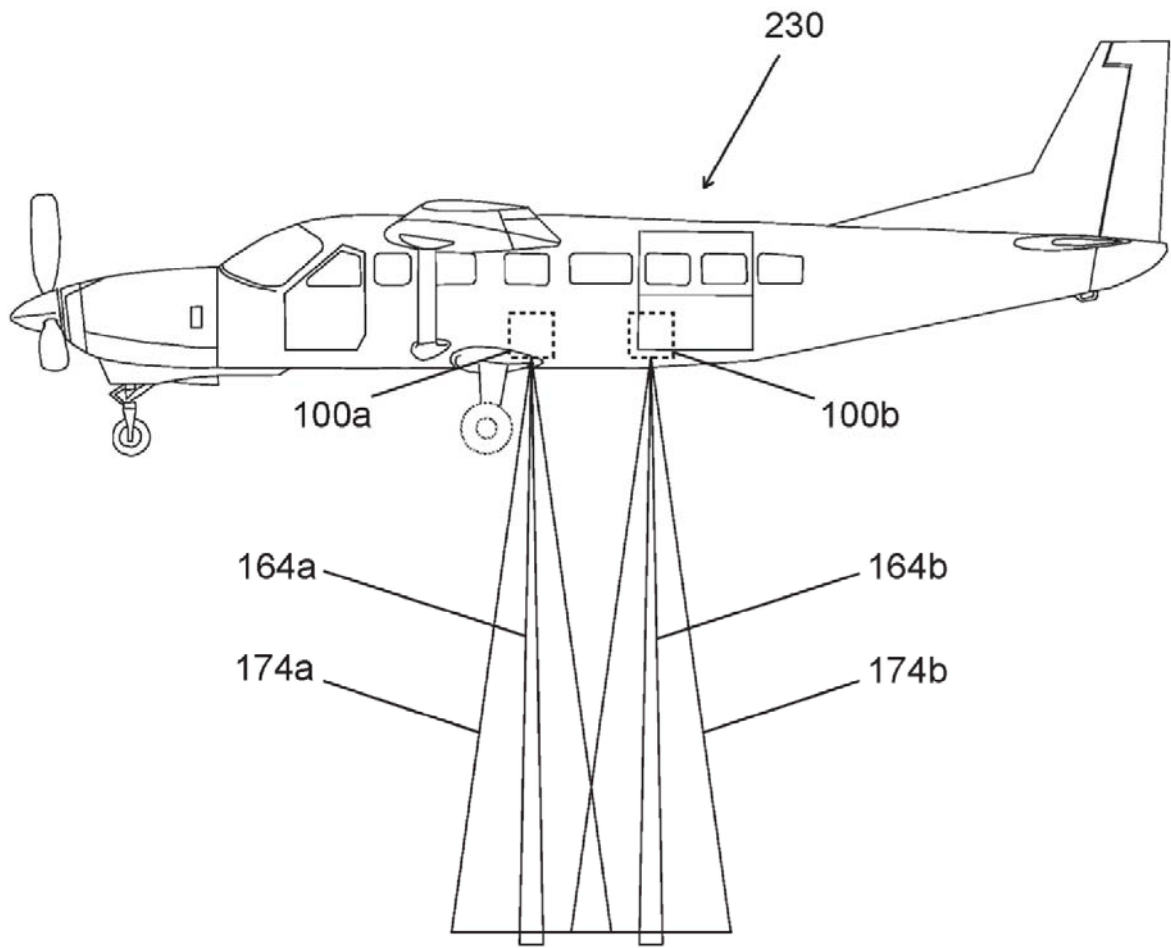


Fig. 26C

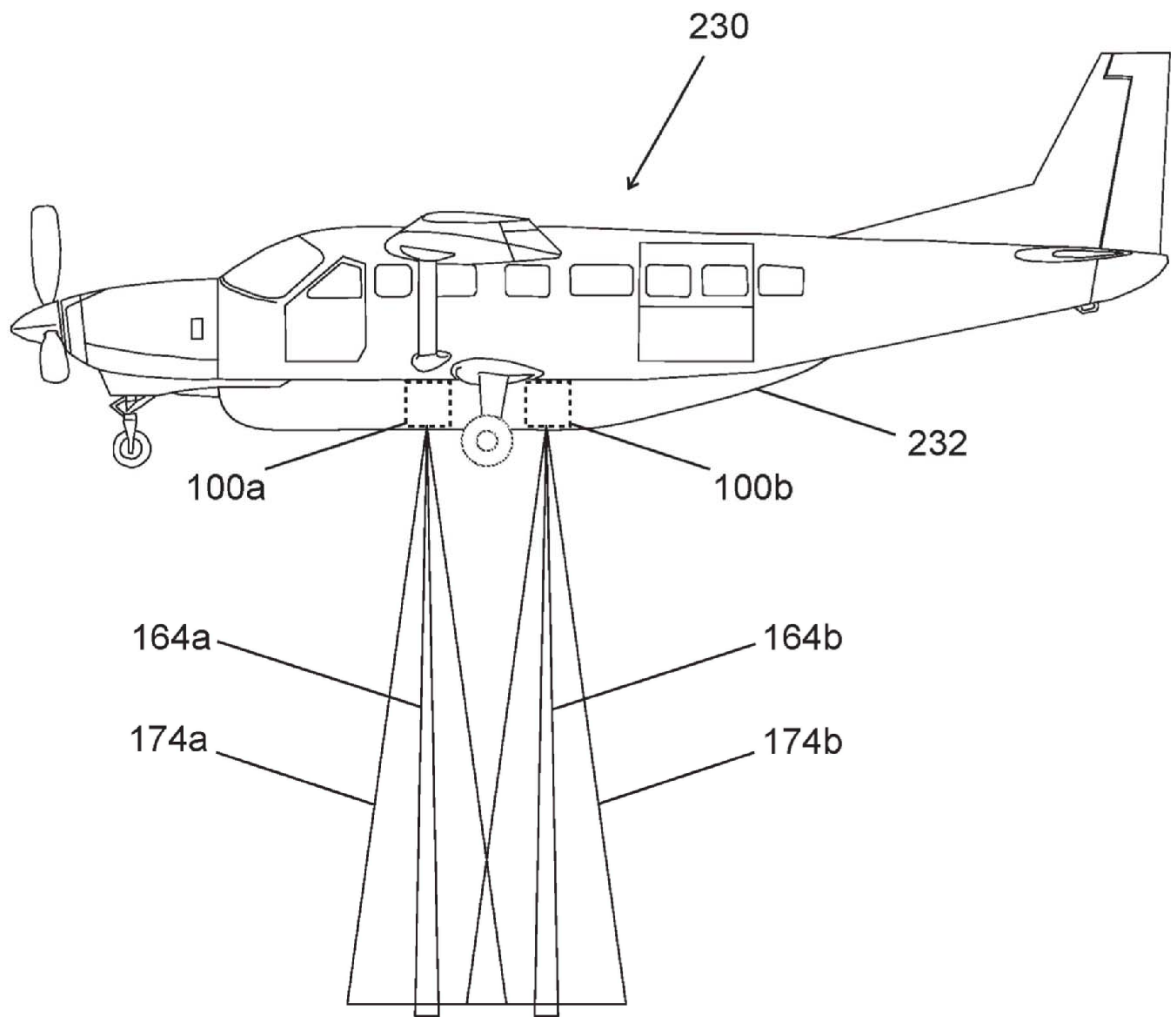




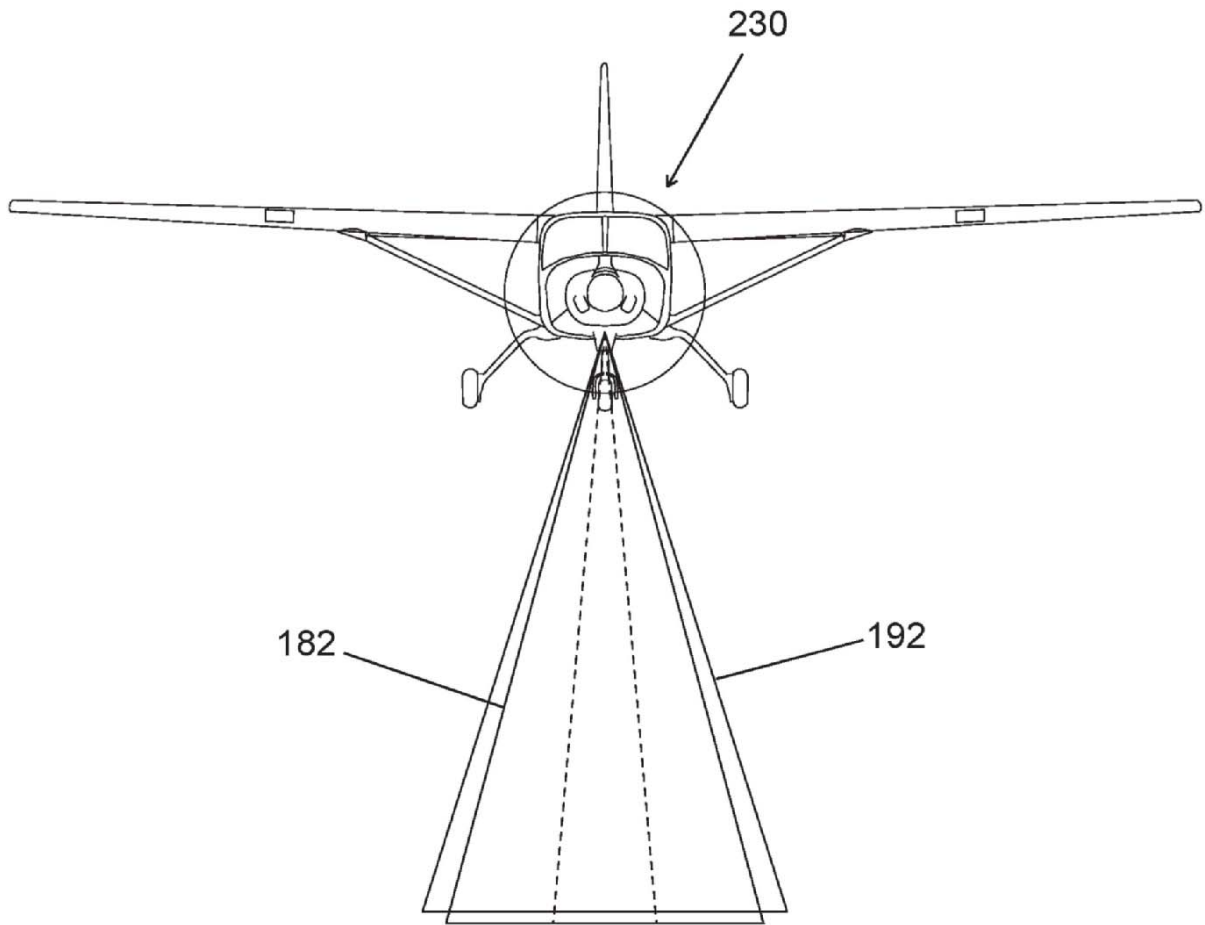
**Fig. 27**



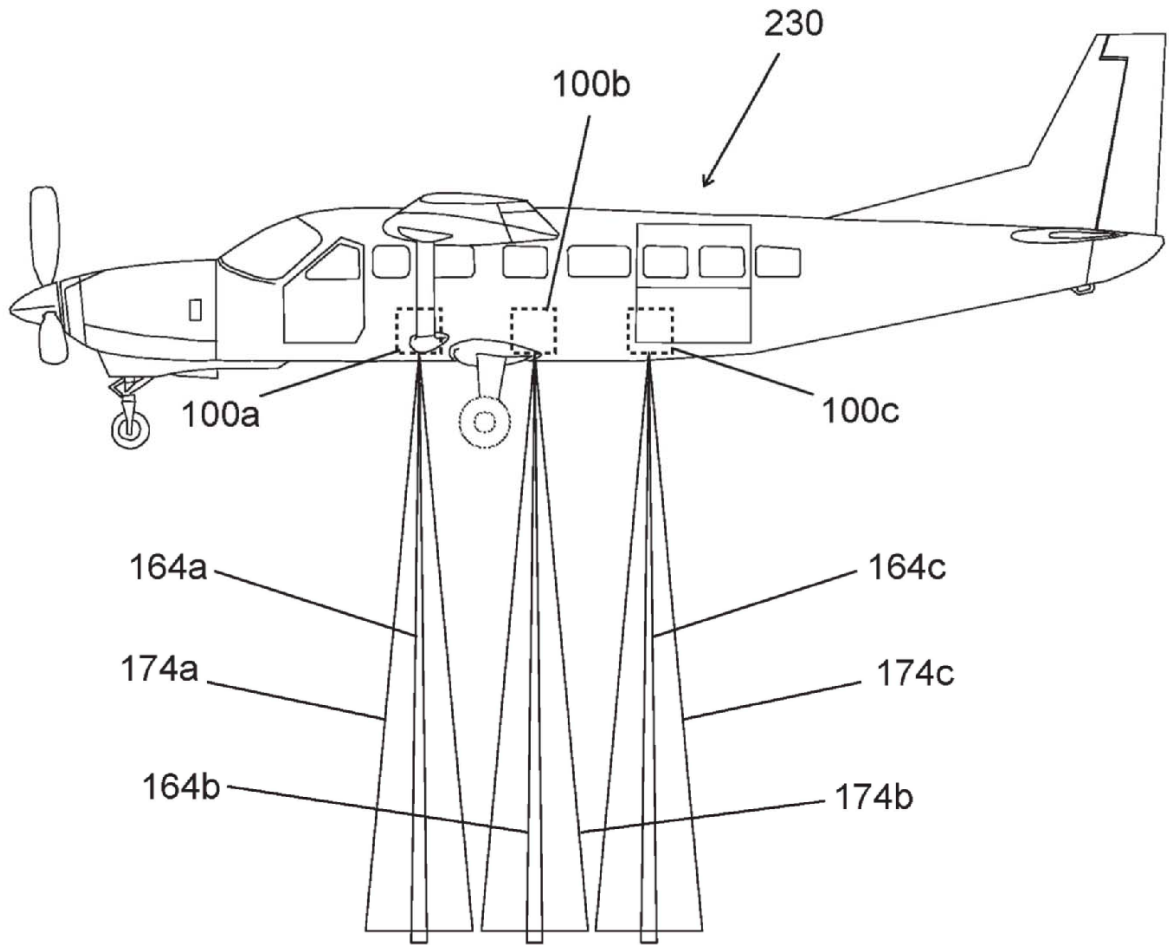
**Fig. 28**



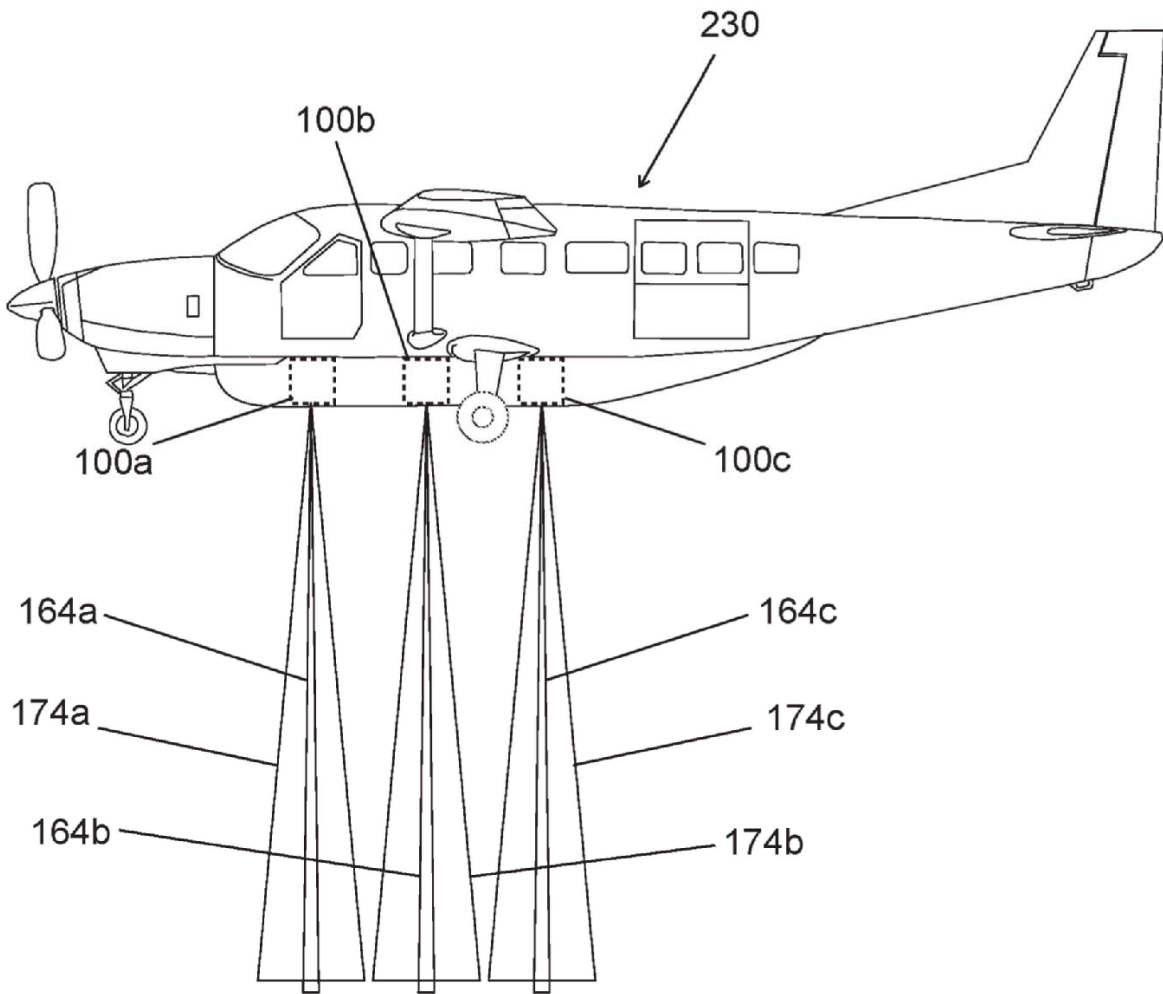
**Fig. 29**



**Fig. 30**



**Fig. 31**



**Fig. 32**

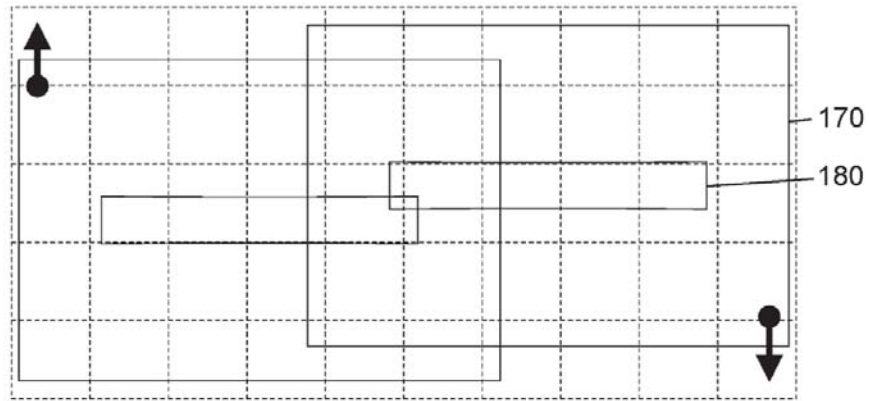


Fig. 33A

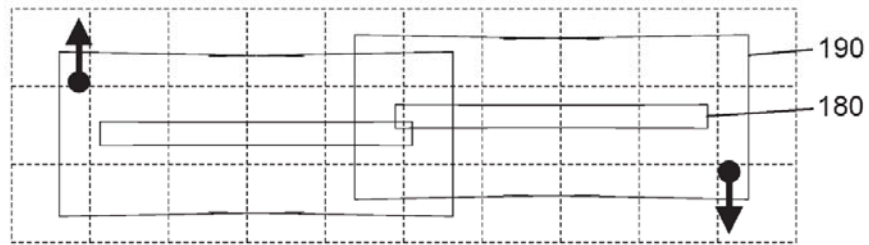


Fig. 33B

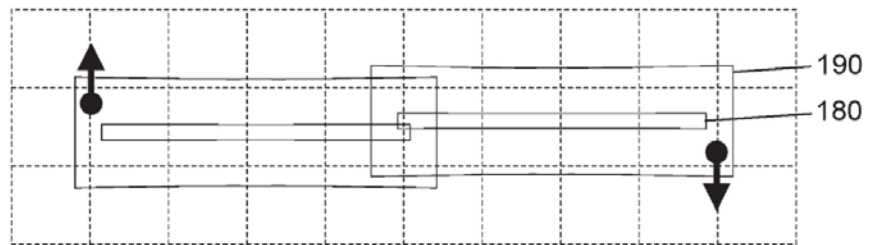


Fig. 33C

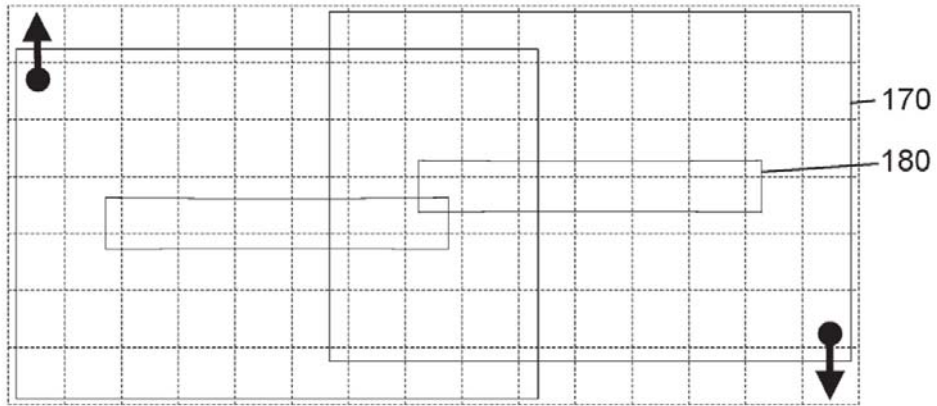


Fig. 34A

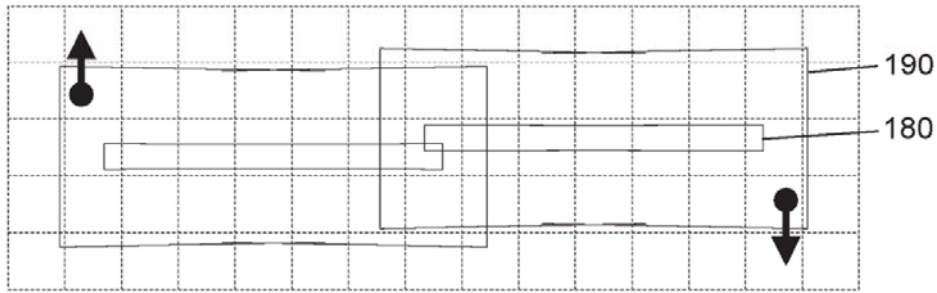


Fig. 34B

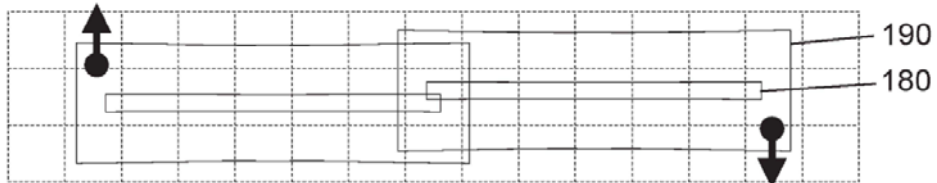
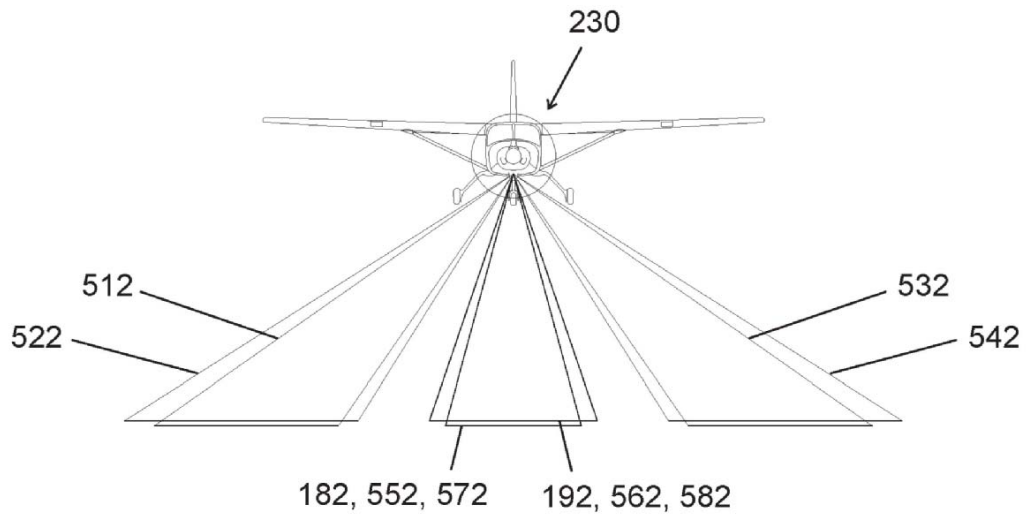
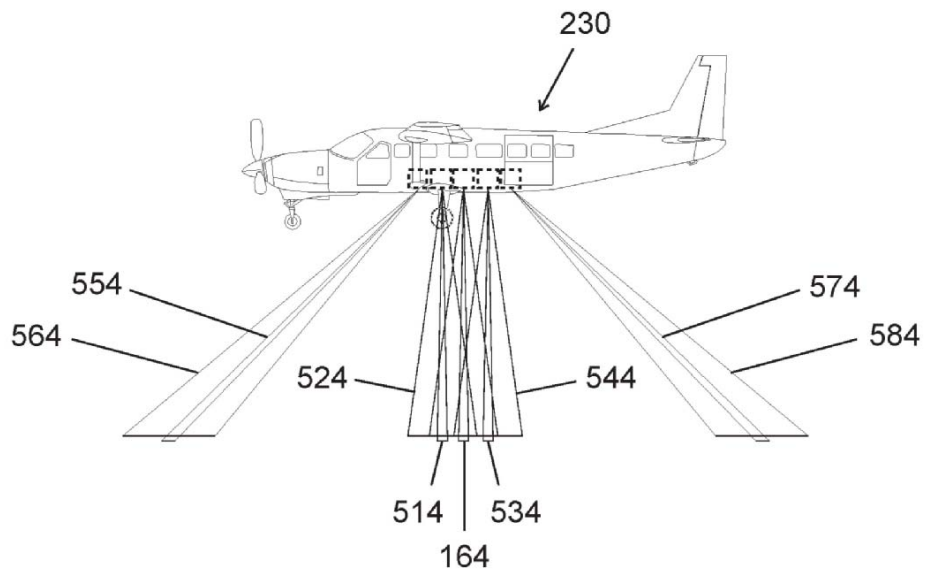


Fig. 34C

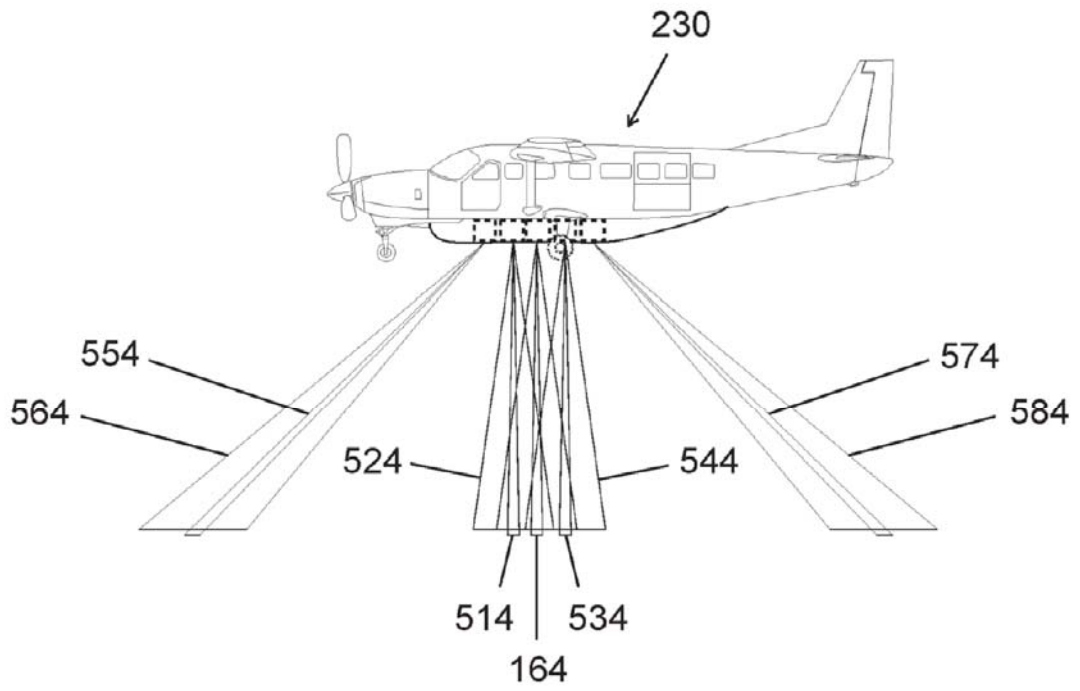




**Fig. 35A**



**Fig. 35B**



**Fig. 36**

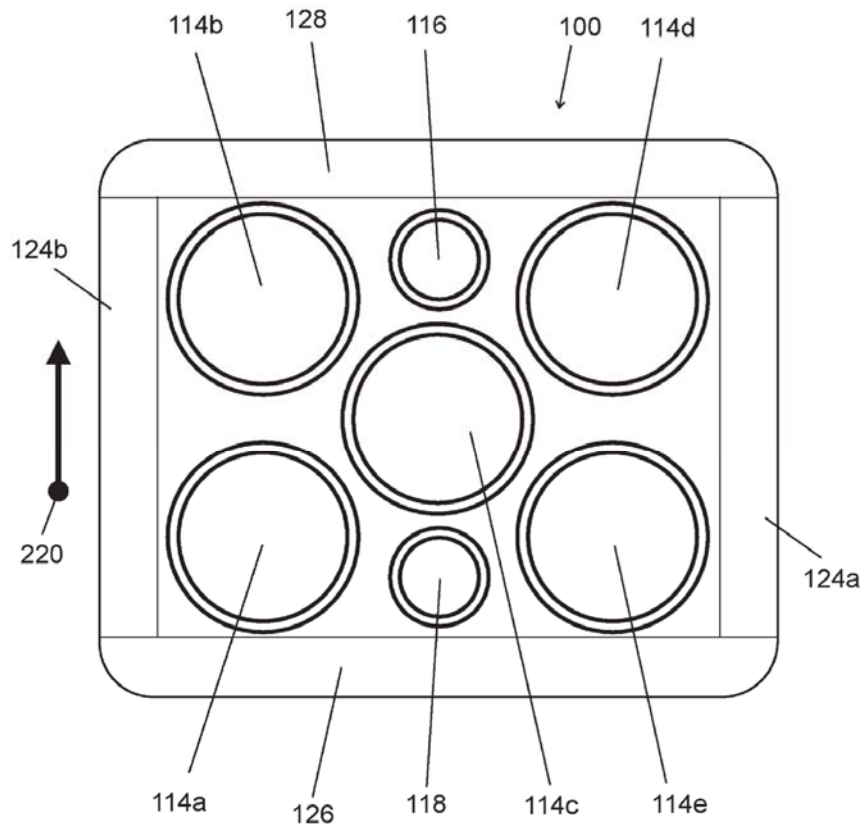


Fig. 37

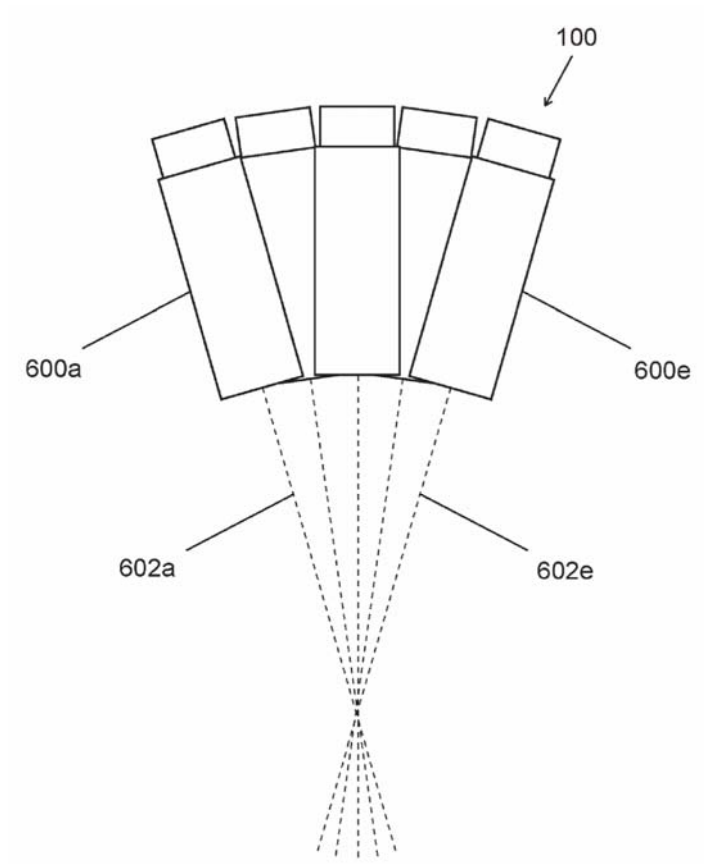
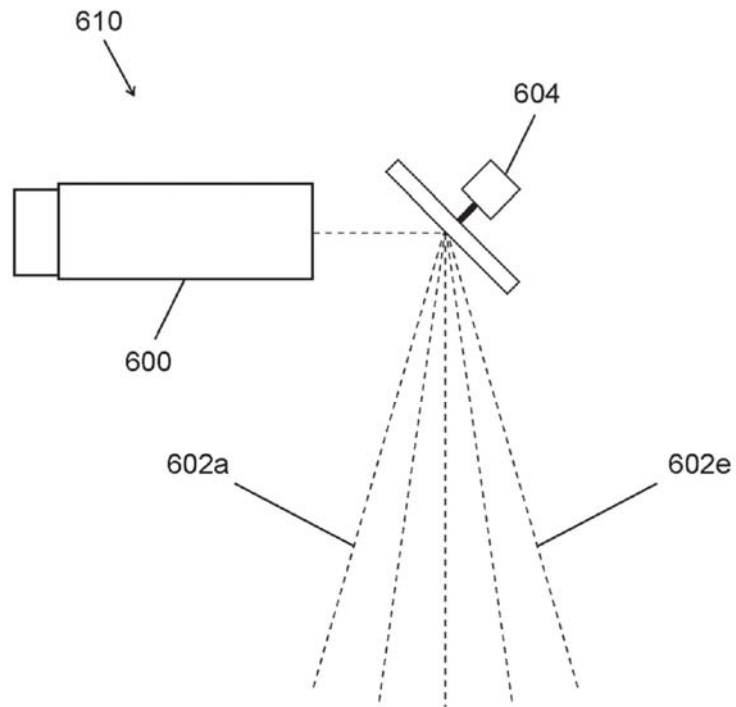
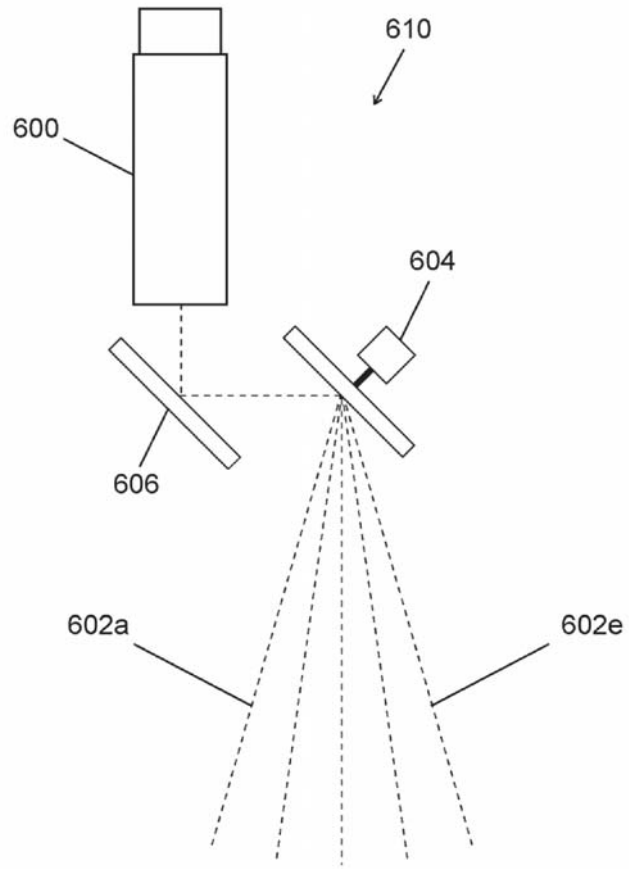


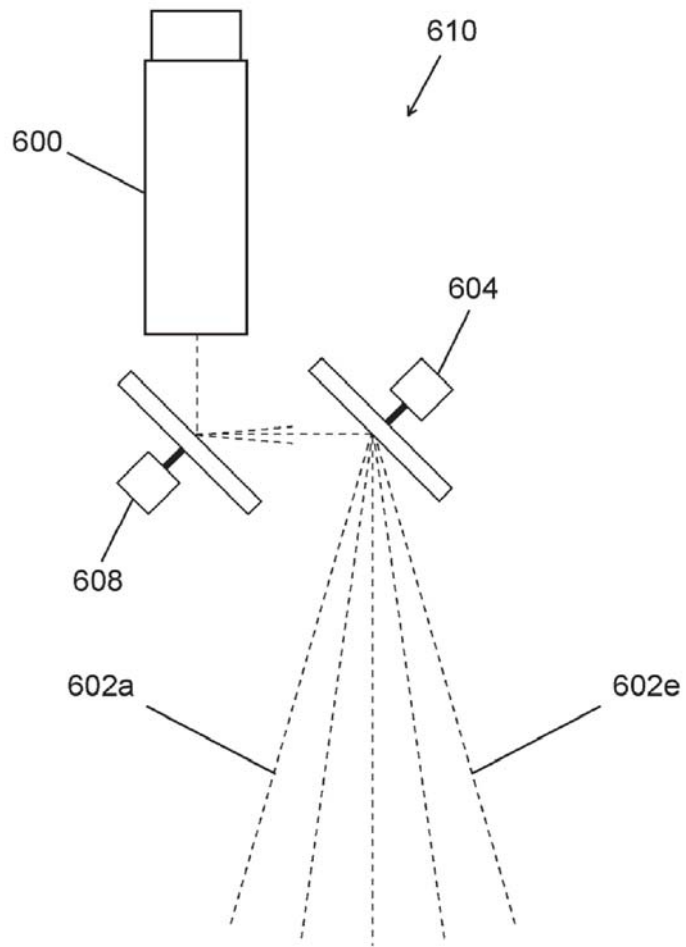
Fig. 38



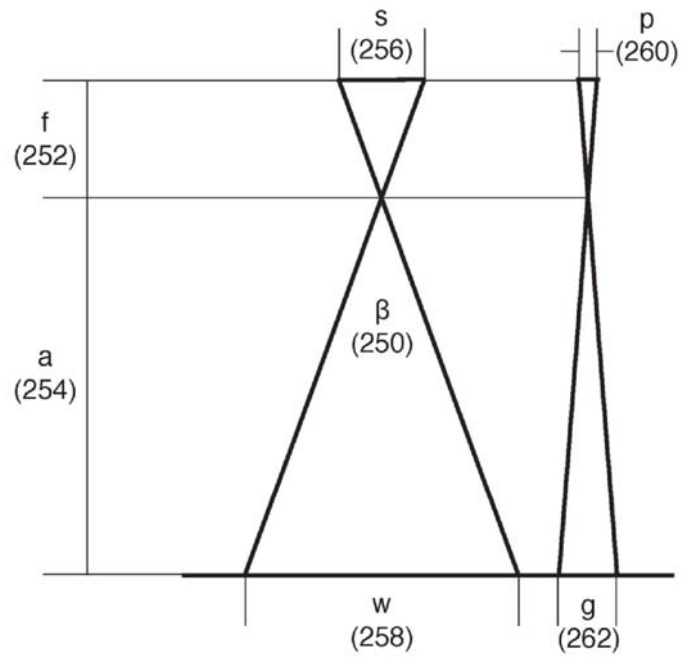
**Fig. 39**



**Fig. 40**



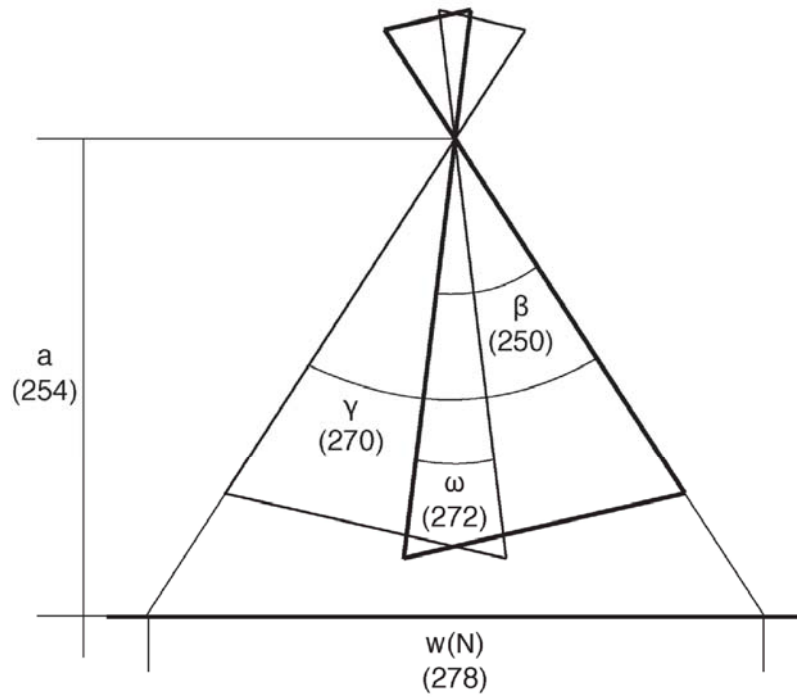
**Fig. 41**



EQ 1:  $g = p \cdot a / f$   
 EQ 2:  $w = s \cdot a / f$   
 EQ 3:  $s = 2f \cdot \tan(\beta / 2)$   
 EQ 4:  $\beta = 2 \cdot \arctan(s / 2f)$   
 EQ 5:  $w = 2a \cdot \tan(\beta / 2)$   
 EQ 6:  $\beta = 2 \cdot \arctan(w / 2a)$

**Fig. 42**

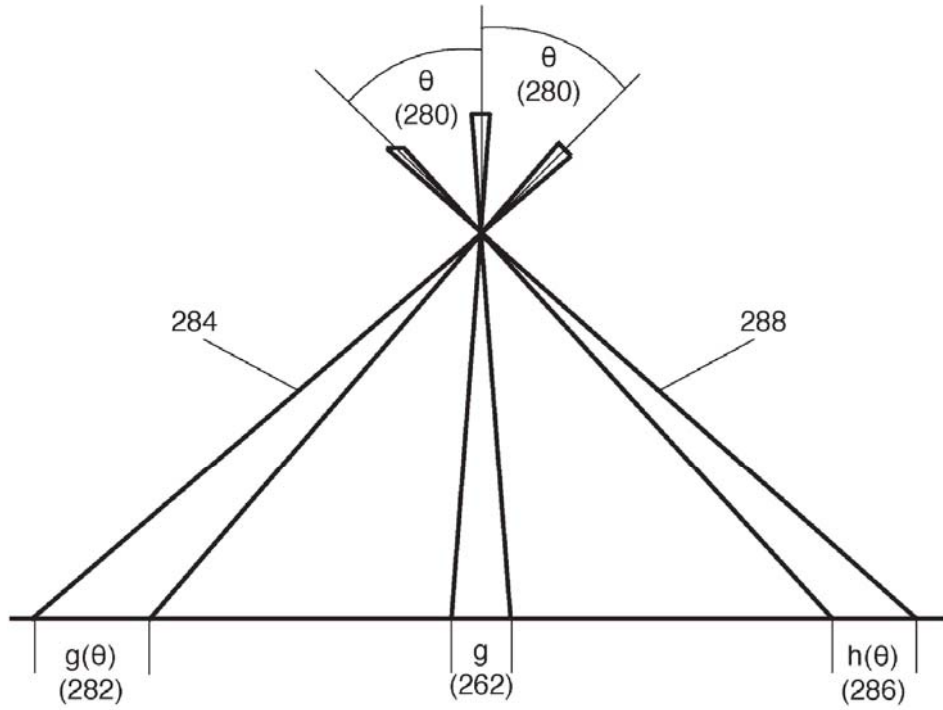




EQ 7:  $\gamma = N \cdot \beta - (N-1)\omega$

EQ 8:  $w(N) = 2a \cdot \tan(\gamma/2)$

**Fig. 43**



EQ 9:  $g(\theta) = g \cdot \sec^2(\theta)$

EQ 10:  $h(\theta) = g \cdot \sec(\theta)$

**Fig. 44**

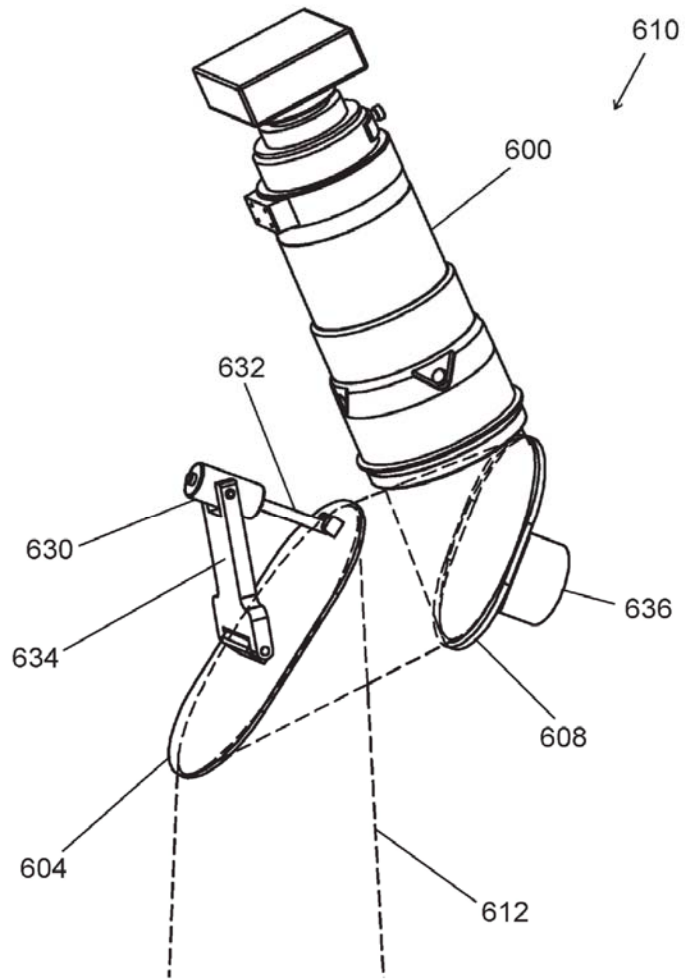
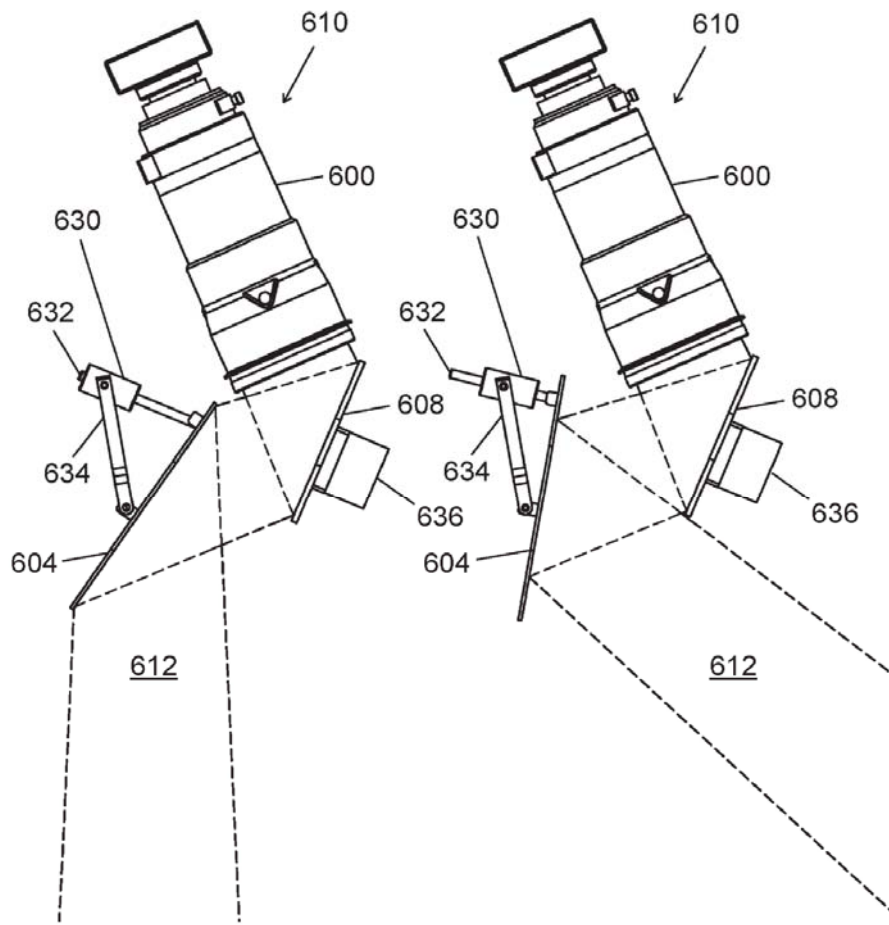
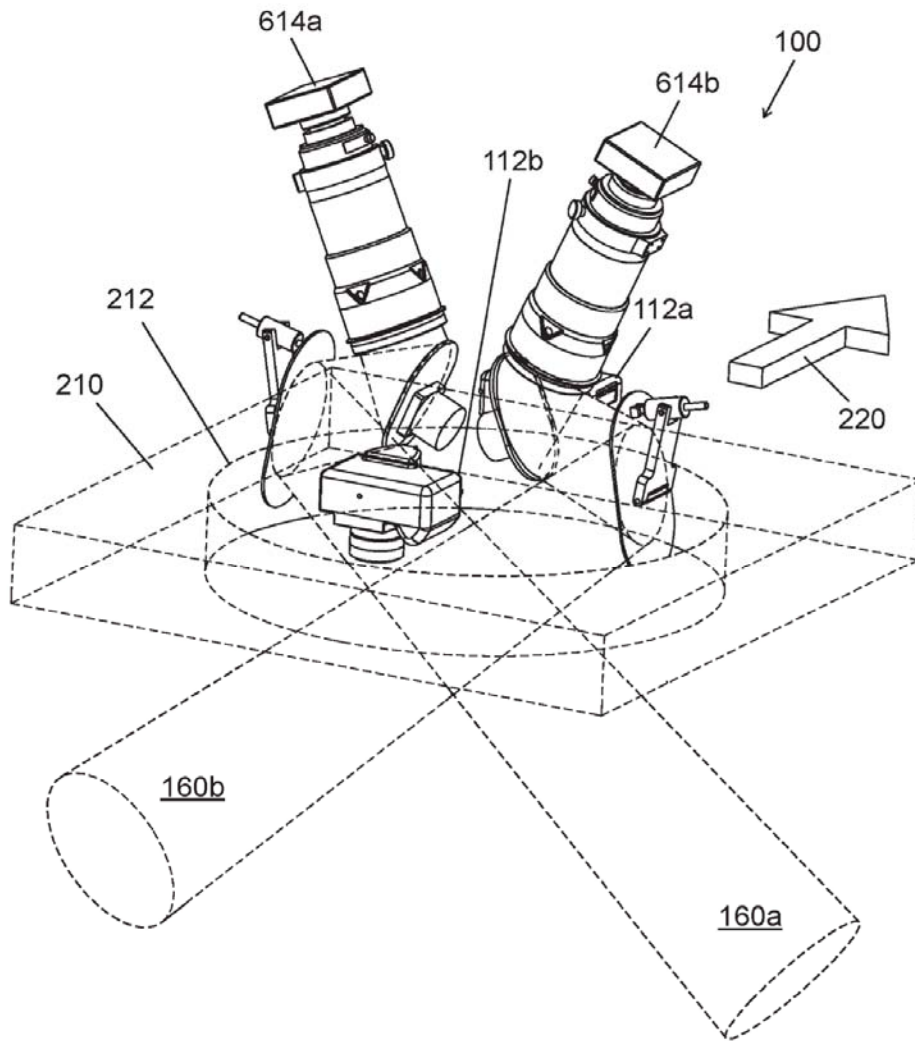


Fig. 45

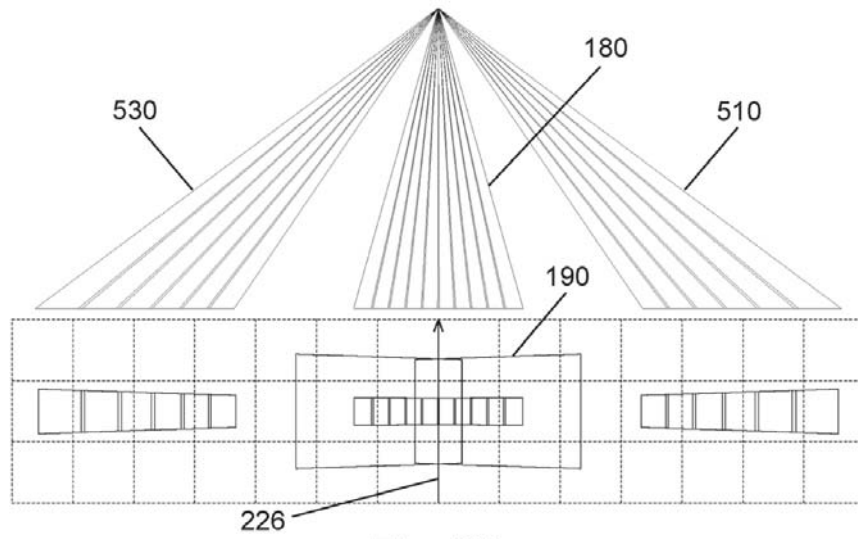


**Fig. 46A**

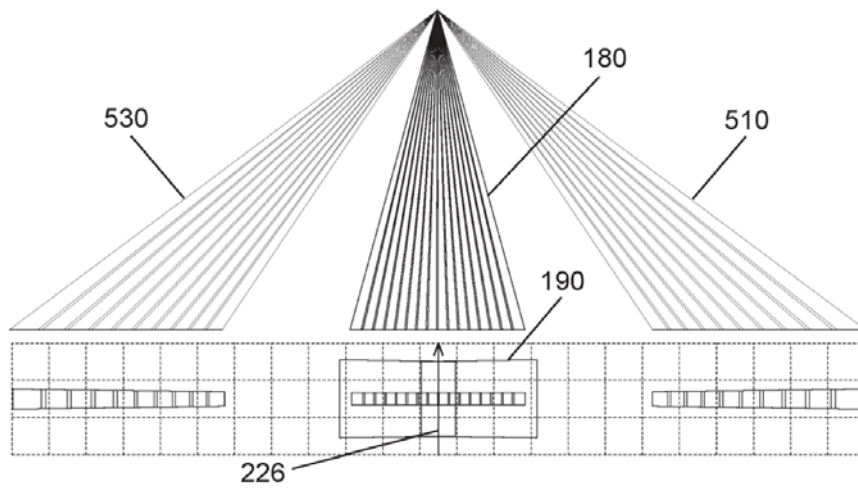
**Fig. 46B**



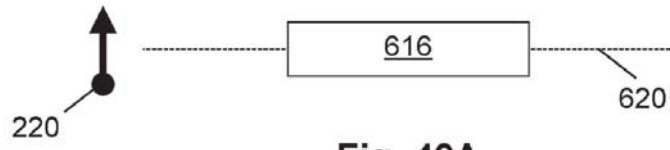
**Fig. 47**



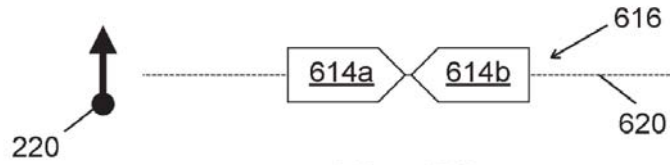
**Fig. 48A**



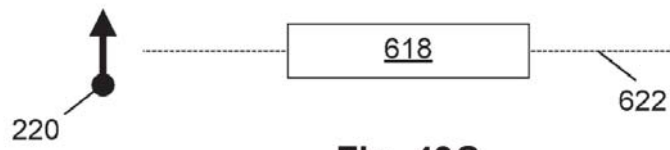
**Fig. 48B**



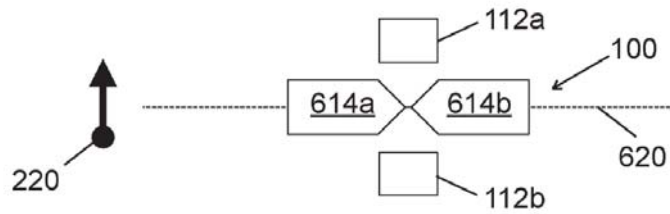
**Fig. 49A**



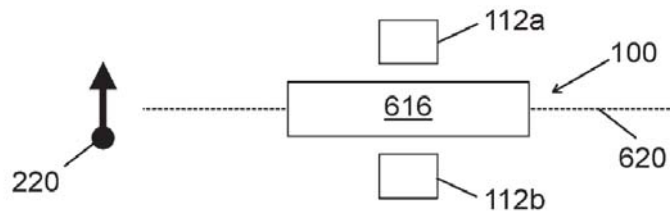
**Fig. 49B**



**Fig. 49C**



**Fig. 49D**



**Fig. 49E**

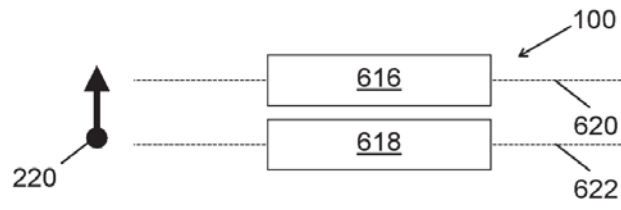


Fig. 50A

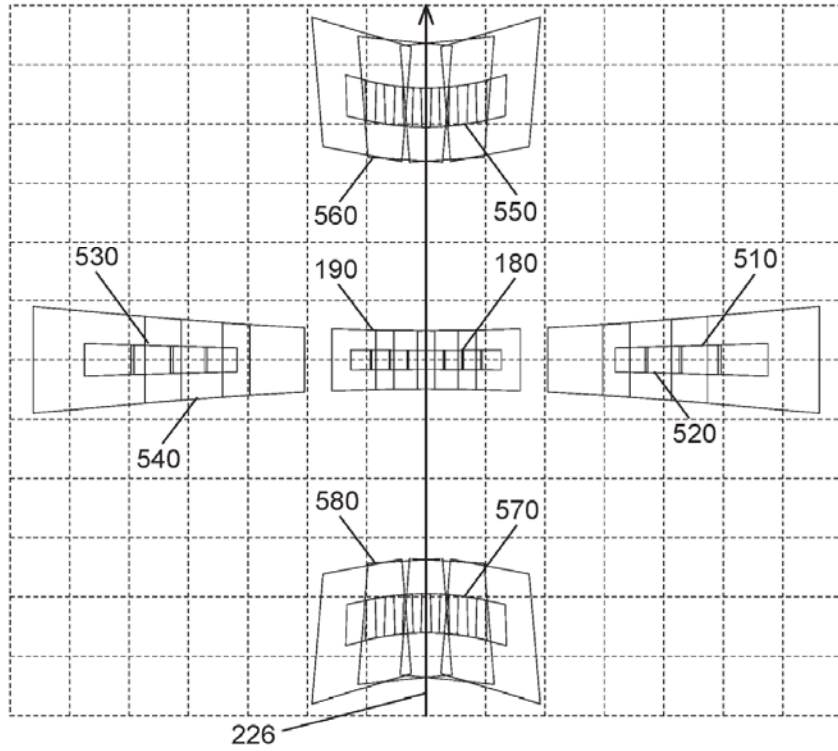
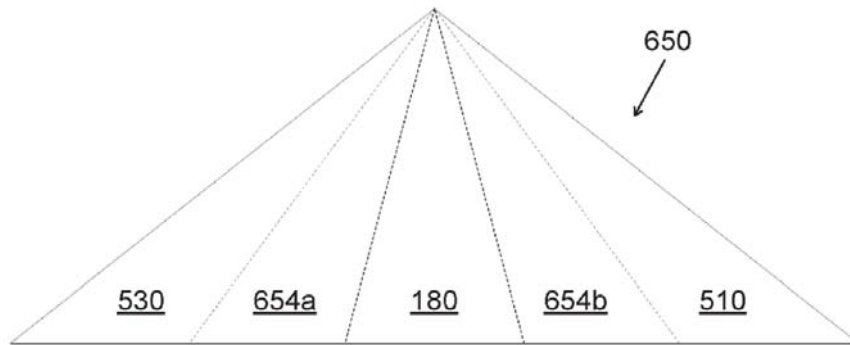
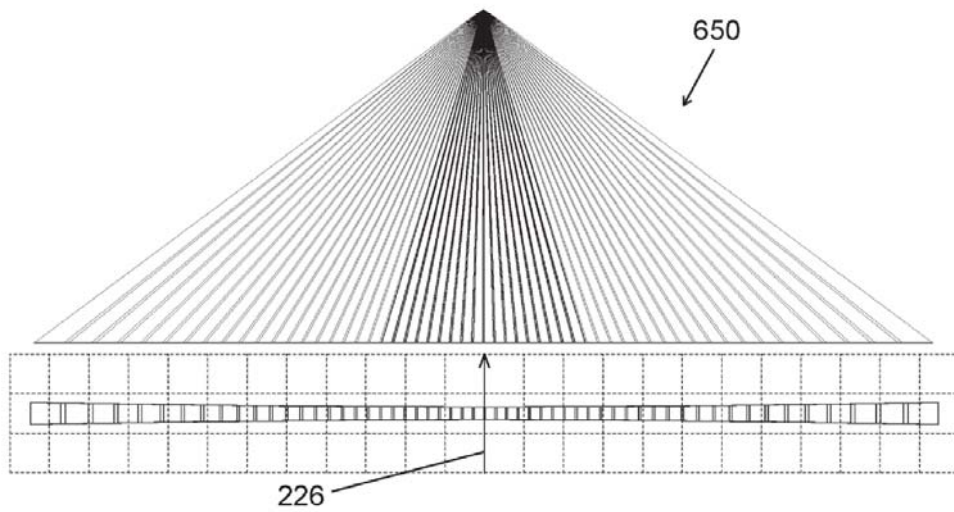


Fig. 50B

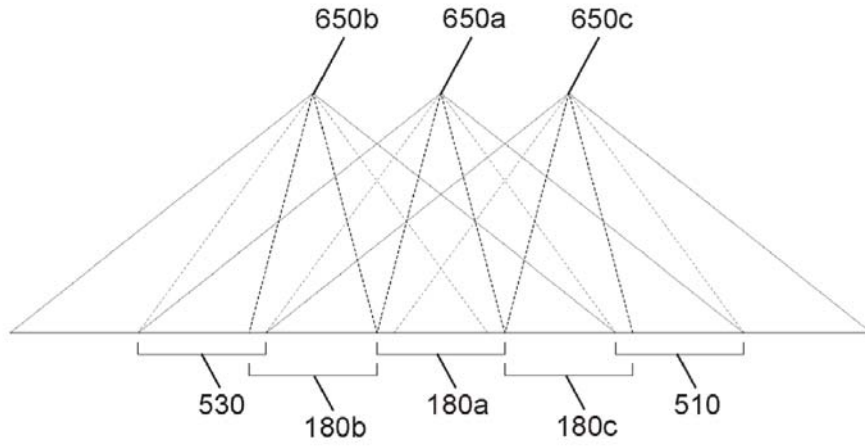




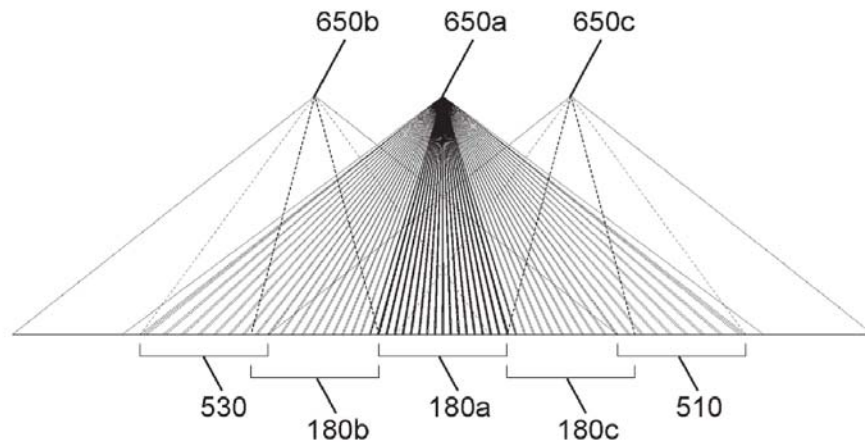
**Fig. 51A**



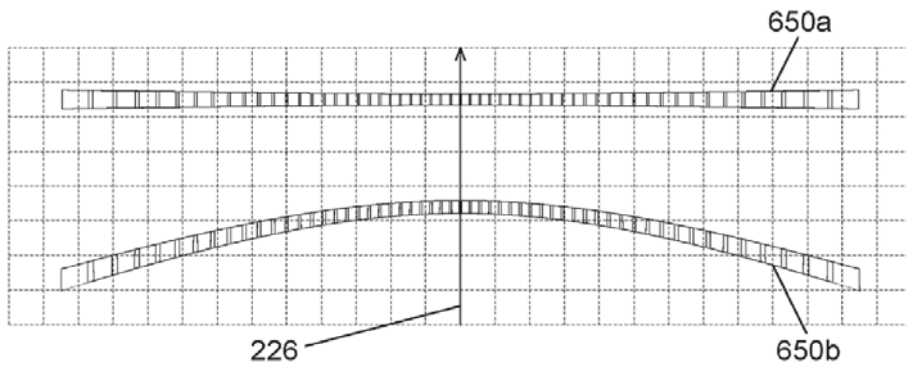
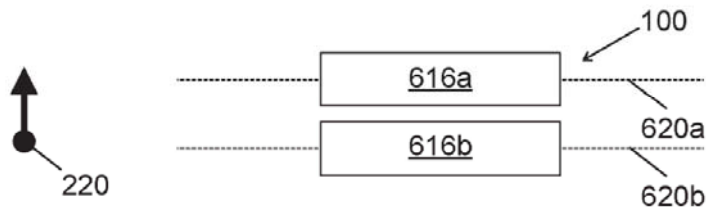
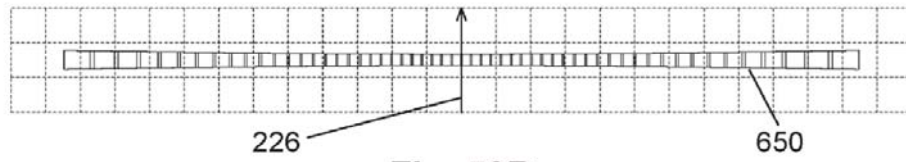
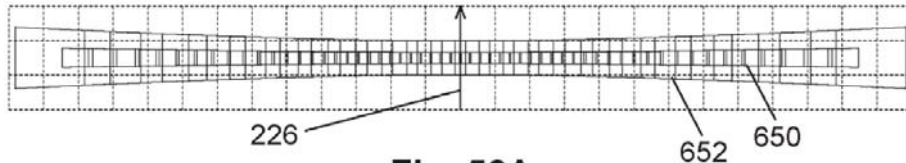
**Fig. 51B**



**Fig. 52A**



**Fig. 52B**



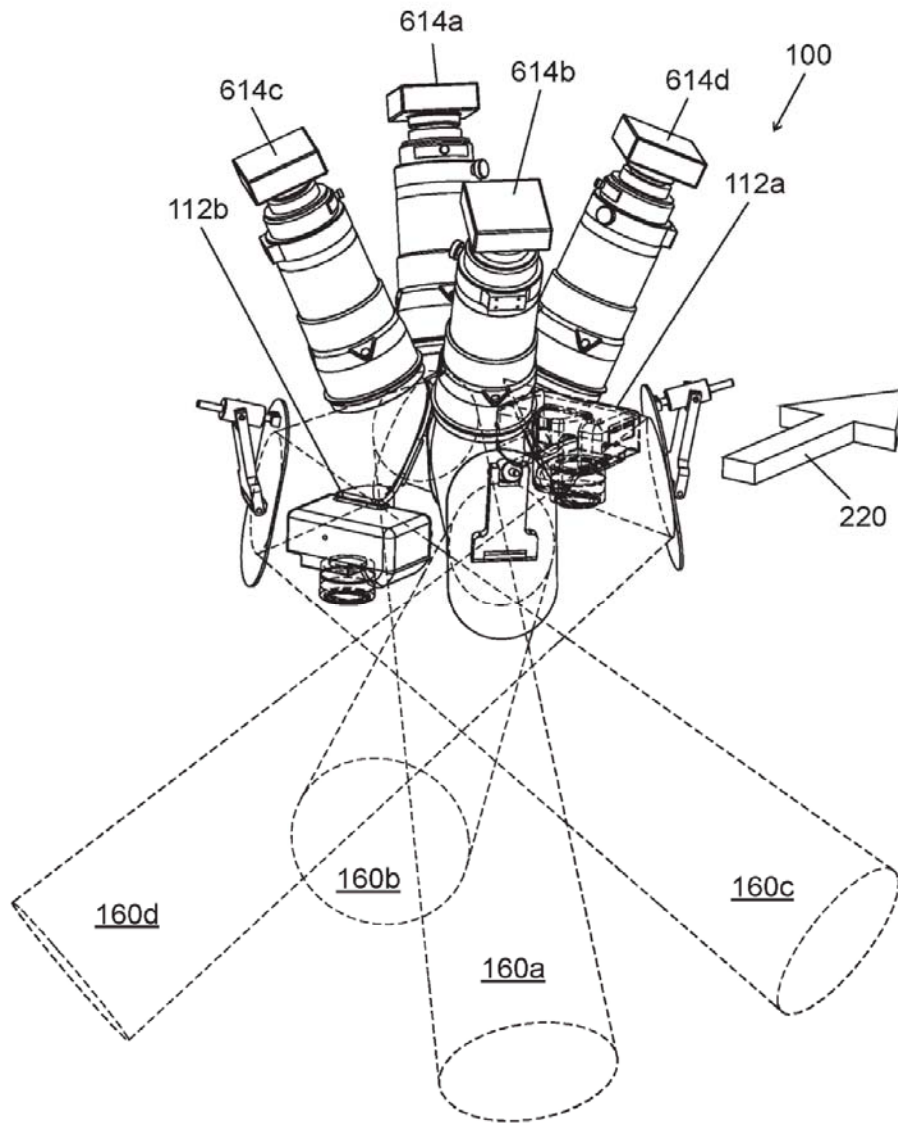
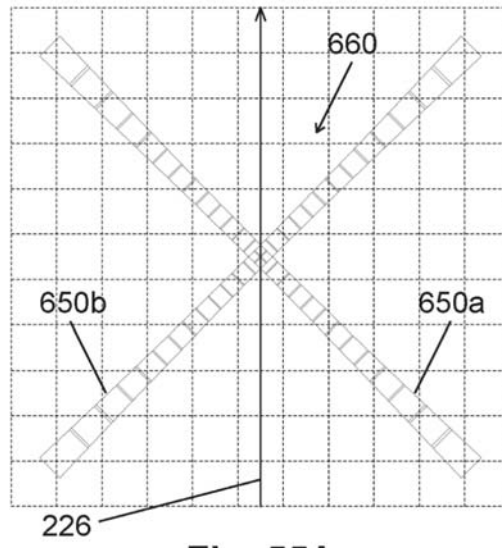
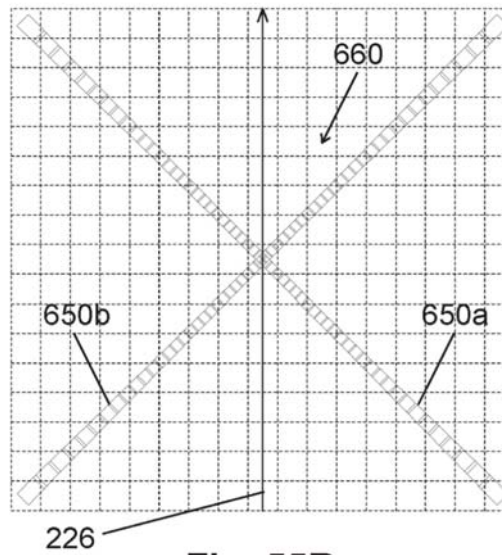


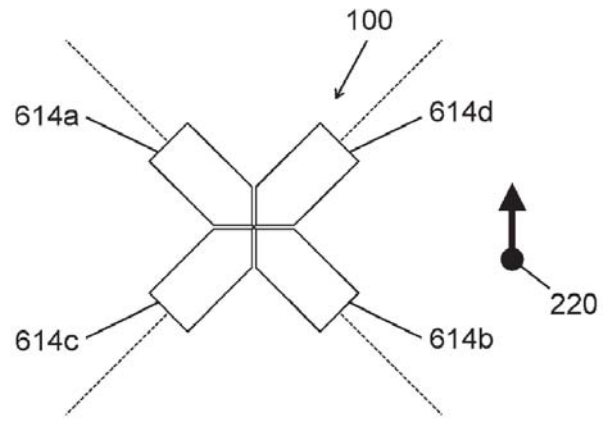
Fig. 54



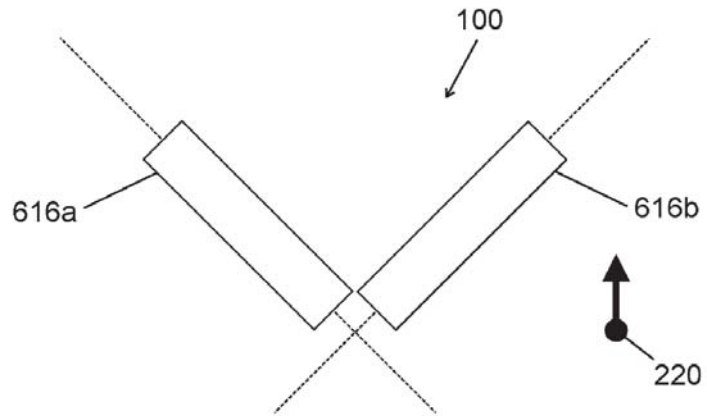
**Fig. 55A**



**Fig. 55B**



**Fig. 56A**



**Fig. 56B**

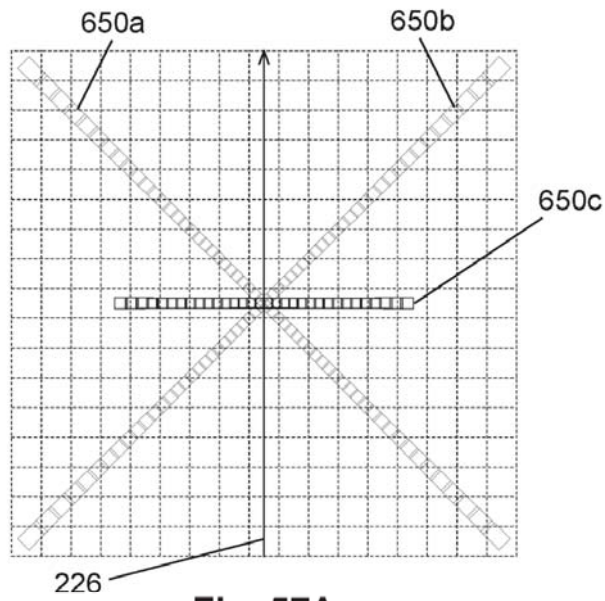


Fig. 57A

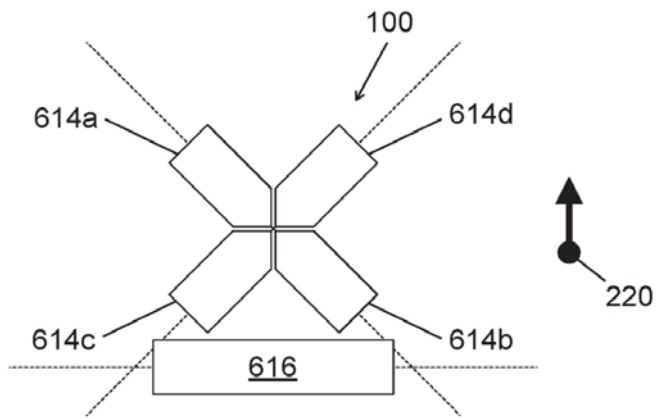
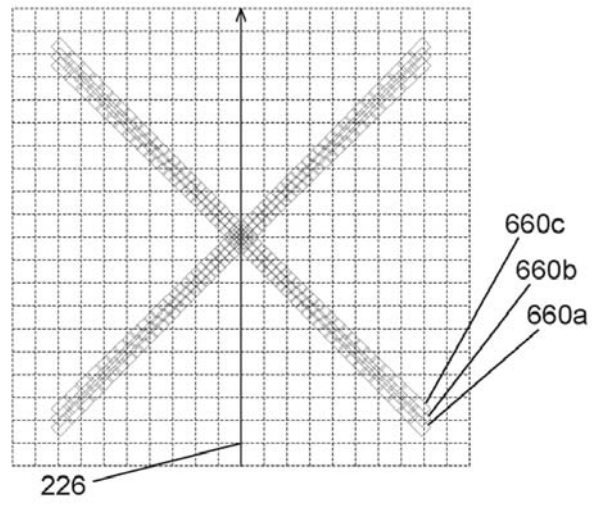
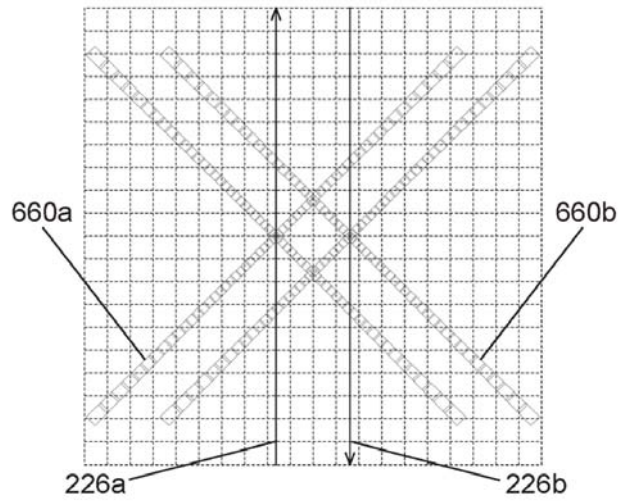


Fig. 57B

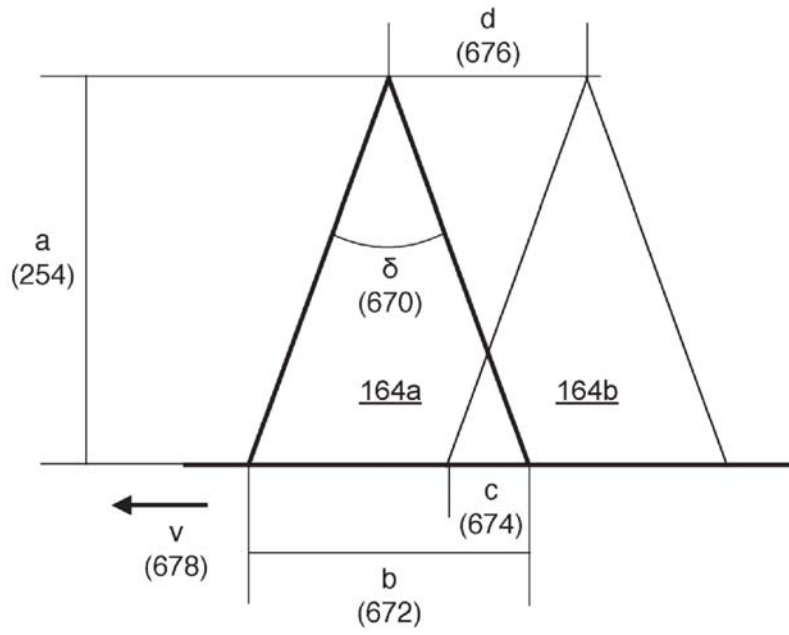


**Fig. 58A**



**Fig. 58B**



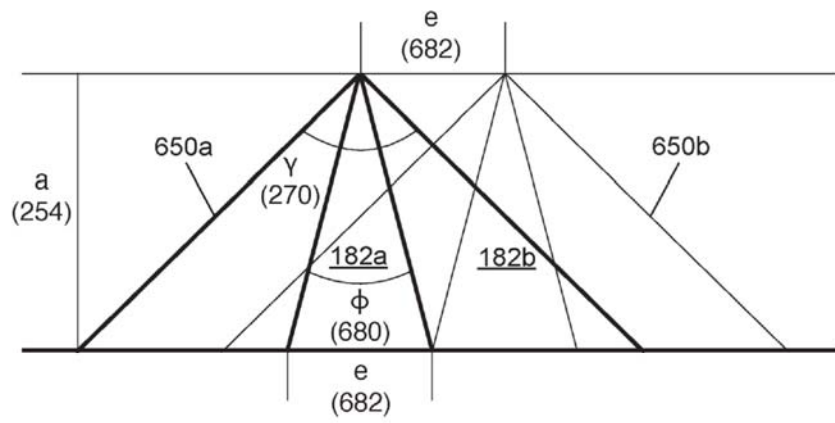


EQ 11:  $b = 2a \cdot \tan(\delta/2)$

EQ 12:  $d = b - c$

EQ 13:  $r = v / d$

**Fig. 59**



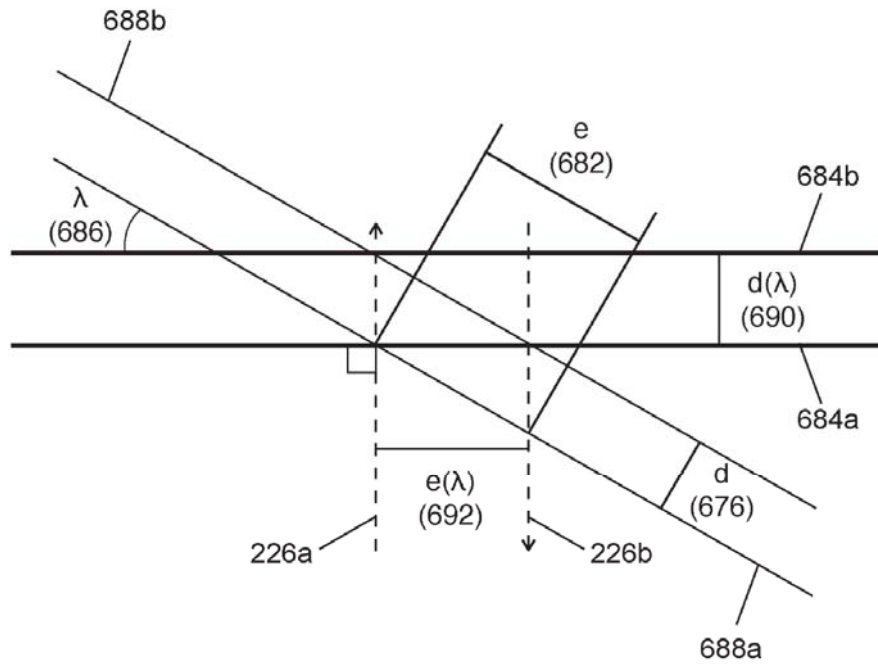
$$\text{EQ 14: } N = \text{ceil}((\gamma - \omega) / (\beta - \omega))$$

$$\text{EQ 15: } q = (N / C) \cdot r / u$$

$$\text{EQ 16: } e = 2a \cdot \tan(\phi/2)$$

$$\text{EQ 17: } R = e \cdot v$$

**Fig. 60**



EQ 18:  $d(\lambda) = d / \cos(\lambda)$

EQ 19:  $r(\lambda) = r \cdot \cos(\lambda)$

EQ 20:  $e(\lambda) = e \cdot \cos(\lambda)$

EQ 21:  $q(\lambda) = q \cdot \cos(\lambda)$

EQ 22:  $R(\lambda) = R \cdot \cos(\lambda)$

**Fig. 61**

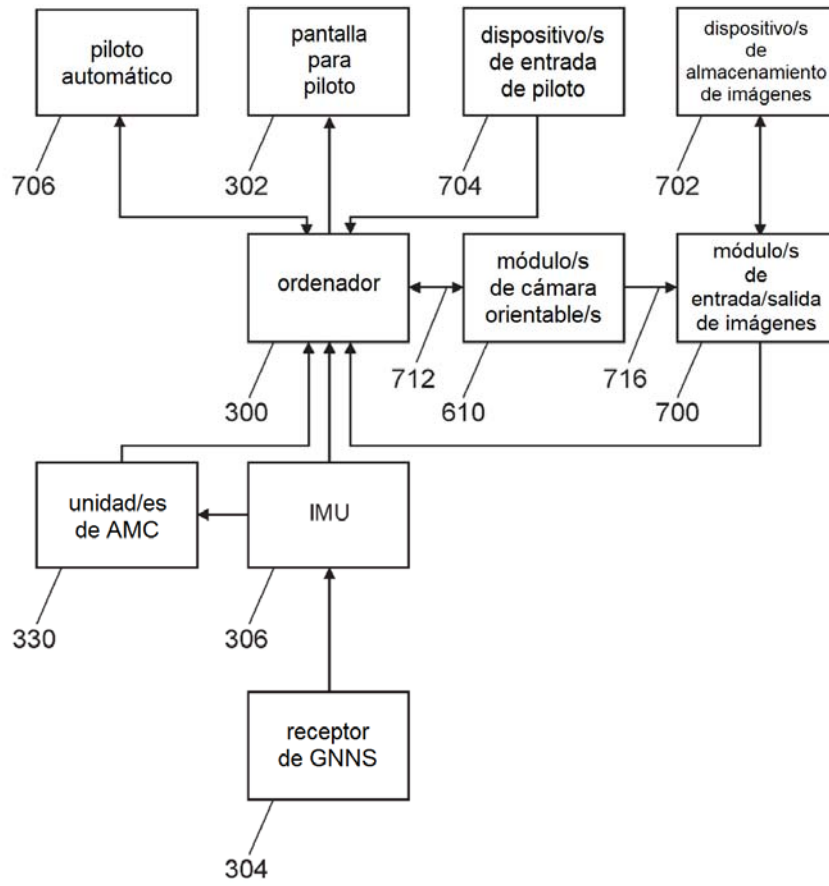


Fig. 62

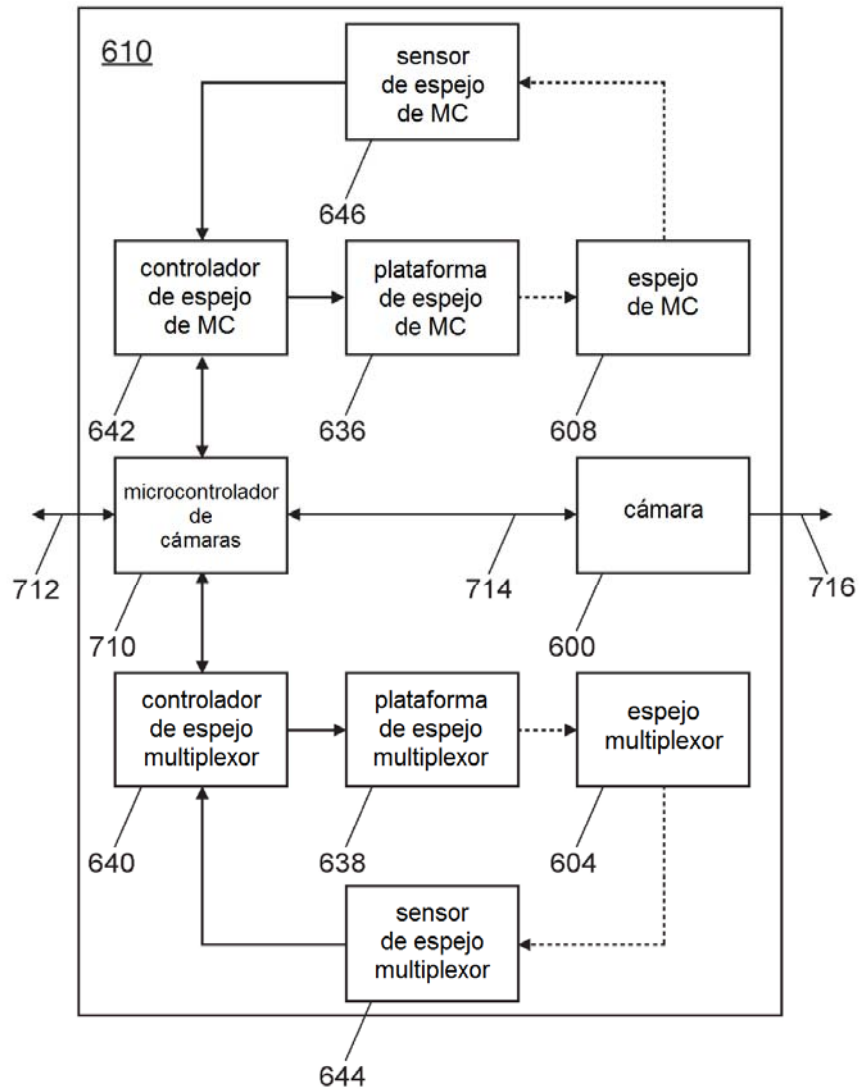


Fig. 63

ES 2 724 464 T3

altitud	velocidad	velocidad de disparo	velocidad secuencial	velocidad de captura a 30°		velocidad de captura a 45°	
609,6 m (2000')	200 kts	0,2 Hz	0,3 Hz	0,1 k km2/h	1 k km2/día	0,1 k km2/h	1 k km2/día
1.219,2 m (4000')	200 kts	0,2 Hz	0,6 Hz	0,2 k km2/h	1 k km2/día	0,3 k km2/h	2 k km2/día
1.828,8 m (6000')	200 kts	0,2 Hz	0,9 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,4 k km2/h	2 k km2/día
2.438,4 m (8000')	200 kts	0,2 Hz	1,1 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,5 k km2/h	3 k km2/day
3.048 m (10000')	200 kts	0,2 Hz	1,4 Hz	0,4 k km2/h	3 k km2/día	0,7 k km2/h	4 k km2/día
3.657,6 m (12000')	200 kts	0,2 Hz	1,7 Hz	0,5 k km2/h	3 k km2/día	0,8 k km2/h	5 k km2/día
4.267,2 m (14000')	200 kts	0,2 Hz	2,0 Hz	0,6 k km2/h	4 k km2/día	0,9 k km2/h	6 k km2/día
4.876,8 m (16000')	300 kts	0,2 Hz	3,4 Hz	1,0 k km2/h	6 k km2/día	1,6 k km2/h	10 k km2/día
5.486,4 m (18000')	300 kts	0,2 Hz	3,8 Hz	1,2 k km2/h	7 k km2/día	1,8 k km2/h	11 k km2/día
6096 m (20000')	300 kts	0,2 Hz	4,3 Hz	1,3 k km2/h	8 k km2/día	2,0 k km2/h	12 k km2/día
6.705,6 m (22000')	300 kts	0,2 Hz	4,7 Hz	1,4 k km2/h	8 k km2/día	2,2 k km2/h	13 k km2/día
7.315,2 m (24000')	300 kts	0,2 Hz	5,1 Hz	1,5 k km2/h	9 k km2/día	2,4 k km2/h	14 k km2/día
7.924,8 m (26000')	400 kts	0,3 Hz	7,4 Hz	2,2 k km2/h	13 k km2/día	3,4 k km2/h	21 k km2/día
8.534,4 m (28000')	400 kts	0,3 Hz	7,9 Hz	2,4 k km2/h	14 k km2/día	3,7 k km2/h	22 k km2/día
9.144 m (30000')	400 kts	0,3 Hz	8,5 Hz	2,6 k km2/h	15 k km2/día	4,0 k km2/h	24 k km2/día
9.753,6 m (32000')	400 kts	0,3 Hz	9,1 Hz	2,7 k km2/h	16 k km2/day	4,2 k km2/h	25 k km2/día
10.363,2 m (34000')	400 kts	0,3 Hz	9,6 Hz	2,9 k km2/h	17 k km2/día	4,5 k km2/h	27 k km2/día
10.972,8 m (36000')	500 kts	0,4 Hz	12,8 Hz	3,9 k km2/h	23 k km2/día	6,0 k km2/h	36 k km2/día
11.582,4 m (38000')	500 kts	0,4 Hz	13,5 Hz	4,1 k km2/h	24 k km2/día	6,3 k km2/h	38 k km2/día
12.192 m (40000')	500 kts	0,4 Hz	14,2 Hz	4,3 k km2/h	26 k km2/día	6,6 k km2/h	40 k km2/día
12.801,6 m (42000')	500 kts	0,4 Hz	14,9 Hz	4,5 k km2/h	27 k km2/día	6,9 k km2/h	42 k km2/día
13.411,2 m (44000')	500 kts	0,4 Hz	15,6 Hz	4,7 k km2/h	28 k km2/día	7,3 k km2/h	44 k km2/día
14.020,8 m (46000')	500 kts	0,4 Hz	16,3 Hz	4,9 k km2/h	30 k km2/día	7,6 k km2/h	46 k km2/día
14.630,4 m (48000')	500 kts	0,4 Hz	17,0 Hz	5,1 k km2/h	31 k km2/día	7,9 k km2/h	48 k km2/día
15.240 m (50000')	500 kts	0,4 Hz	17,7 Hz	5,3 k km2/h	32 k km2/día	8,3 k km2/h	50 k km2/día
15.849,6 m (52000')	500 kts	0,4 Hz	18,4 Hz	5,6 k km2/h	33 k km2/día	8,6 k km2/h	52 k km2/día
16.459,2 m (54000')	500 kts	0,4 Hz	19,1 Hz	5,8 k km2/h	35 k km2/día	8,9 k km2/h	54 k km2/día
17.068,8 m (56000')	500 kts	0,4 Hz	19,8 Hz	6,0 k km2/h	36 k km2/día	9,3 k km2/h	56 k km2/día
17.678,4 m (58000')	500 kts	0,4 Hz	20,5 Hz	6,2 k km2/h	37 k km2/día	9,6 k km2/h	58 k km2/día
18.288 m (60000')	500 kts	0,4 Hz	21,2 Hz	6,4 k km2/h	39 k km2/día	9,9 k km2/h	60 k km2/día

Fig. 64

ES 2 724 464 T3

altitud	velocidad	velocidad de disparo	velocidad secuencial	velocidad de captura a 30°		velocidad de captura a 45°	
609,6 m (2000')	200 kts	0,3 Hz	0,8 Hz	0,1 k km2/h	1 k km2/día	0,1 k km2/h	1 k km2/día
1.219,2 m (4000')	200 kts	0,3 Hz	1,5 Hz	0,2 k km2/h	1 k km2/día	0,3 k km2/h	2 k km2/día
1.828,8 m (6000')	200 kts	0,3 Hz	2,3 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,4 k km2/h	2 k km2/día
2.438,4 m (8000')	200 kts	0,3 Hz	3,1 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,5 k km2/h	3 k km2/día
3.048 m (10000')	200 kts	0,3 Hz	3,8 Hz	0,4 k km2/h	3 k km2/día	0,7 k km2/h	4 k km2/día
3.657,6 m (12000')	200 kts	0,3 Hz	4,6 Hz	0,5 k km2/h	3 k km2/día	0,8 k km2/h	5 k km2/día
4.267,2 m (14000')	200 kts	0,3 Hz	5,4 Hz	0,6 k km2/h	4 k km2/día	0,9 k km2/h	6 k km2/día
4.876,8 m (16000')	300 kts	0,5 Hz	9,2 Hz	1,0 k km2/h	6 k km2/día	1,6 k km2/h	10 k km2/día
5.486,4 m (18000')	300 kts	0,5 Hz	10,3 Hz	1,2 k km2/h	7 k km2/día	1,8 k km2/h	11 k km2/día
6096 m (20000')	300 kts	0,5 Hz	11,5 Hz	1,3 k km2/h	8 k km2/día	2,0 k km2/h	12 k km2/día
6.705,6 m (22000')	300 kts	0,5 Hz	12,6 Hz	1,4 k km2/h	8 k km2/día	2,2 k km2/h	13 k km2/día
7.315,2 m (24000')	300 kts	0,5 Hz	13,8 Hz	1,5 k km2/h	9 k km2/día	2,4 k km2/h	14 k km2/día
7.924,8 m (26000')	400 kts	0,6 Hz	19,9 Hz	2,2 k km2/h	13 k km2/día	3,4 k km2/h	21 k km2/día
8.534,4 m (28000')	400 kts	0,6 Hz	21,4 Hz	2,4 k km2/h	14 k km2/día	3,7 k km2/h	22 k km2/día
9.144 m (30000')	400 kts	0,6 Hz	23,0 Hz	2,6 k km2/h	15 k km2/día	4,0 k km2/h	24 k km2/día
9.753,6 m (32000')	400 kts	0,6 Hz	24,5 Hz	2,7 k km2/h	16 k km2/día	4,2 k km2/h	25 k km2/día
10.353,2 m (34000')	400 kts	0,6 Hz	26,0 Hz	2,9 k km2/h	17 k km2/día	4,5 k km2/h	27 k km2/día
10.972,8 m (36000')	500 kts	0,8 Hz	34,5 Hz	3,9 k km2/h	23 k km2/día	6,0 k km2/h	36 k km2/día
11.582,4 m (38000')	500 kts	0,8 Hz	36,4 Hz	4,1 k km2/h	24 k km2/día	6,3 k km2/h	38 k km2/día
12.192 m (40000')	500 kts	0,8 Hz	38,3 Hz	4,3 k km2/h	26 k km2/día	6,6 k km2/h	40 k km2/día
12.801,6 m (42000')	500 kts	0,8 Hz	40,2 Hz	4,5 k km2/h	27 k km2/día	6,9 k km2/h	42 k km2/día
13.411,2 m (44000')	500 kts	0,8 Hz	42,1 Hz	4,7 k km2/h	28 k km2/día	7,3 k km2/h	44 k km2/día
14.020,8 m (46000')	500 kts	0,8 Hz	44,0 Hz	4,9 k km2/h	30 k km2/día	7,6 k km2/h	46 k km2/día
14.630,4 m (48000')	500 kts	0,8 Hz	45,9 Hz	5,1 k km2/h	31 k km2/día	7,9 k km2/h	48 k km2/día
15.240 m (50000')	500 kts	0,8 Hz	47,9 Hz	5,3 k km2/h	32 k km2/día	8,3 k km2/h	50 k km2/día
15.849,6 m (52000')	500 kts	0,8 Hz	49,8 Hz	5,6 k km2/h	33 k km2/día	8,6 k km2/h	52 k km2/día
16.459,2 m (54000')	500 kts	0,8 Hz	51,7 Hz	5,8 k km2/h	35 k km2/día	8,9 k km2/h	54 k km2/día
17.068,8 m (56000')	500 kts	0,8 Hz	53,6 Hz	6,0 k km2/h	36 k km2/día	9,3 k km2/h	56 k km2/día
17.678,4 m (58000')	500 kts	0,8 Hz	55,5 Hz	6,2 k km2/h	37 k km2/día	9,6 k km2/h	58 k km2/día
18.288 m (60000')	500 kts	0,8 Hz	57,4 Hz	6,4 k km2/h	39 k km2/día	9,9 k km2/h	60 k km2/día

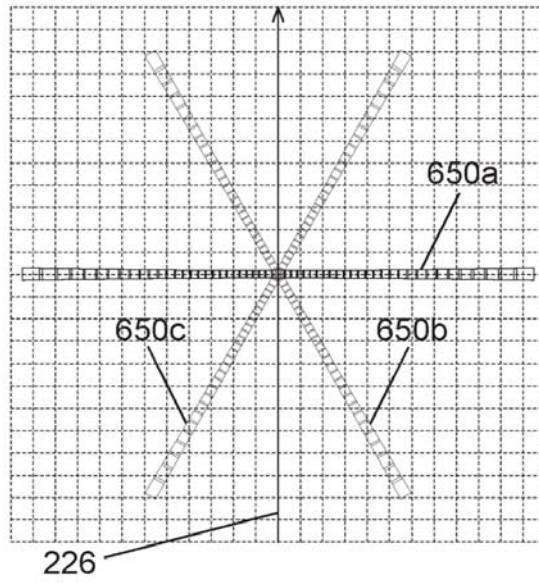
Fig. 65



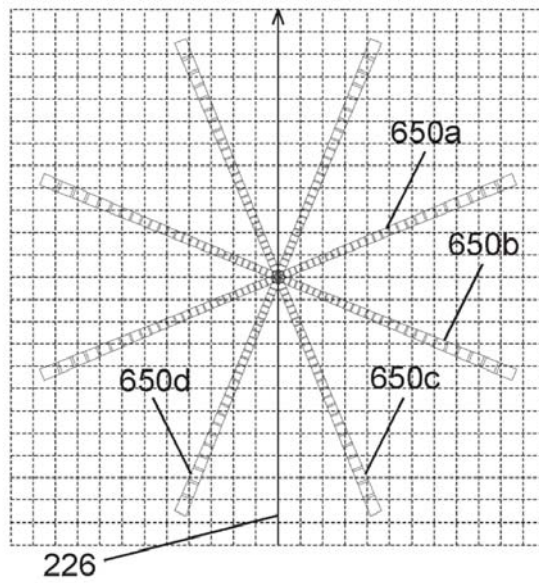
altitud	velocidad	velocidad de disparo	velocidad secuencial	velocidad de captura a 30°		velocidad de captura a 45°	
609,6 m (2000')	200 kts	0,4 Hz	1,6 Hz	0,1 k km2/h	1 k km2/día	0,1 k km2/h	1 k km2/día
1.219,2 m (4000')	200 kts	0,4 Hz	3,2 Hz	0,2 k km2/h	1 k km2/día	0,3 k km2/h	2 k km2/día
1.828,8 m (6000')	200 kts	0,4 Hz	4,8 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,4 k km2/h	2 k km2/día
2.438,4 m (8000')	200 kts	0,4 Hz	6,4 Hz	0,3 k km2/h	2 k km2/día	0,5 k km2/h	3 k km2/día
3.048 m (10000')	200 kts	0,4 Hz	8,0 Hz	0,4 k km2/h	3 k km2/día	0,7 k km2/h	4 k km2/día
3.657,6 m (12000')	200 kts	0,4 Hz	9,6 Hz	0,5 k km2/h	3 k km2/día	0,8 k km2/h	5 k km2/día
4.267,2 m (14000')	200 kts	0,4 Hz	11,2 Hz	0,6 k km2/h	4 k km2/día	0,9 k km2/h	6 k km2/día
4.876,8 m (16000')	300 kts	0,6 Hz	19,1 Hz	1,0 k km2/h	6 k km2/día	1,6 k km2/h	10 k km2/día
5.486,4 m (18000')	300 kts	0,6 Hz	21,5 Hz	1,2 k km2/h	7 k km2/día	1,8 k km2/h	11 k km2/día
6096 m (20000')	300 kts	0,6 Hz	23,9 Hz	1,3 k km2/h	8 k km2/día	2,0 k km2/h	12 k km2/día
6.705,6 m (22000')	300 kts	0,6 Hz	26,3 Hz	1,4 k km2/h	8 k km2/día	2,2 k km2/h	13 k km2/día
7.315,2 m (24000')	300 kts	0,6 Hz	28,7 Hz	1,5 k km2/h	9 k km2/día	2,4 k km2/h	14 k km2/día
7.924,8 m (26000')	400 kts	0,8 Hz	41,5 Hz	2,2 k km2/h	13 k km2/día	3,4 k km2/h	21 k km2/día
8.534,4 m (28000')	400 kts	0,8 Hz	44,7 Hz	2,4 k km2/h	14 k km2/día	3,7 k km2/h	22 k km2/día
9.144 m (30000')	400 kts	0,8 Hz	47,9 Hz	2,6 k km2/h	15 k km2/día	4,0 k km2/h	24 k km2/día
9.753,6 m (32000')	400 kts	0,8 Hz	51,1 Hz	2,7 k km2/h	16 k km2/día	4,2 k km2/h	25 k km2/día
10.353,2 m (34000')	400 kts	0,8 Hz	54,2 Hz	2,9 k km2/h	17 k km2/día	4,5 k km2/h	27 k km2/día
10.972,8 m (36000')	500 kts	1,0 Hz	71,8 Hz	3,9 k km2/h	23 k km2/día	6,0 k km2/h	36 k km2/día
11.582,4 m (38000')	500 kts	1,0 Hz	75,8 Hz	4,1 k km2/h	24 k km2/día	6,3 k km2/h	38 k km2/día
12.192 m (40000')	500 kts	1,0 Hz	79,8 Hz	4,3 k km2/h	26 k km2/día	6,6 k km2/h	40 k km2/día
12.801,6 m (42000')	500 kts	1,0 Hz	83,8 Hz	4,5 k km2/h	27 k km2/día	6,9 k km2/h	42 k km2/día
13.411,2 m (44000')	500 kts	1,0 Hz	87,7 Hz	4,7 k km2/h	28 k km2/día	7,3 k km2/h	44 k km2/día
14.020,8 m (46000')	500 kts	1,0 Hz	91,7 Hz	4,9 k km2/h	30 k km2/día	7,6 k km2/h	46 k km2/día
14.630,4 m (48000')	500 kts	1,0 Hz	95,7 Hz	5,1 k km2/h	31 k km2/día	7,9 k km2/h	48 k km2/día
15.240 m (50000')	500 kts	1,0 Hz	99,7 Hz	5,3 k km2/h	32 k km2/día	8,3 k km2/h	50 k km2/día
15.849,6 m (52000')	500 kts	1,0 Hz	103,7 Hz	5,6 k km2/h	33 k km2/día	8,6 k km2/h	52 k km2/día
16.459,2 m (54000')	500 kts	1,0 Hz	107,7 Hz	5,8 k km2/h	35 k km2/día	8,9 k km2/h	54 k km2/día
17.068,8 m (56000')	500 kts	1,0 Hz	111,7 Hz	6,0 k km2/h	36 k km2/día	9,3 k km2/h	56 k km2/día
17.678,4 m (58000')	500 kts	1,0 Hz	115,7 Hz	6,2 k km2/h	37 k km2/día	9,6 k km2/h	58 k km2/día
18.288 m (60000')	500 kts	1,0 Hz	119,6 Hz	6,4 k km2/h	39 k km2/día	9,9 k km2/h	60 k km2/día

Fig. 66





**Fig. 67A**



**Fig. 67B**

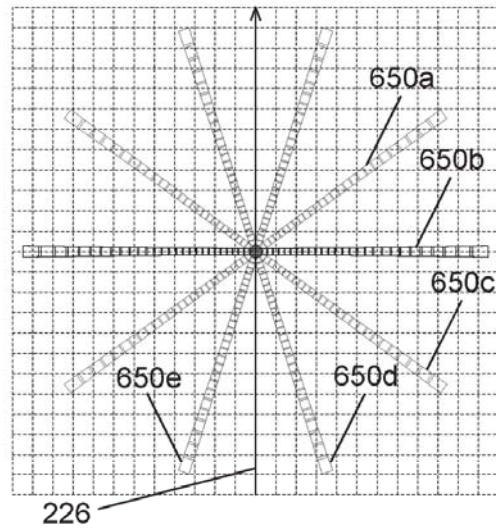


Fig. 68A

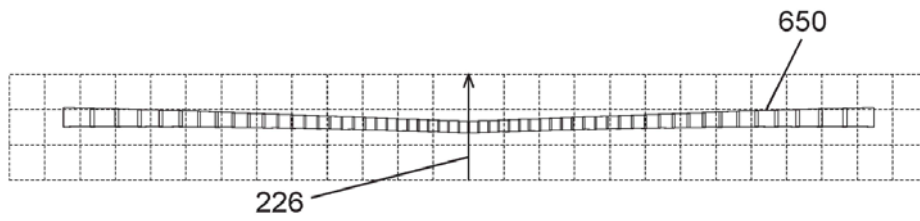
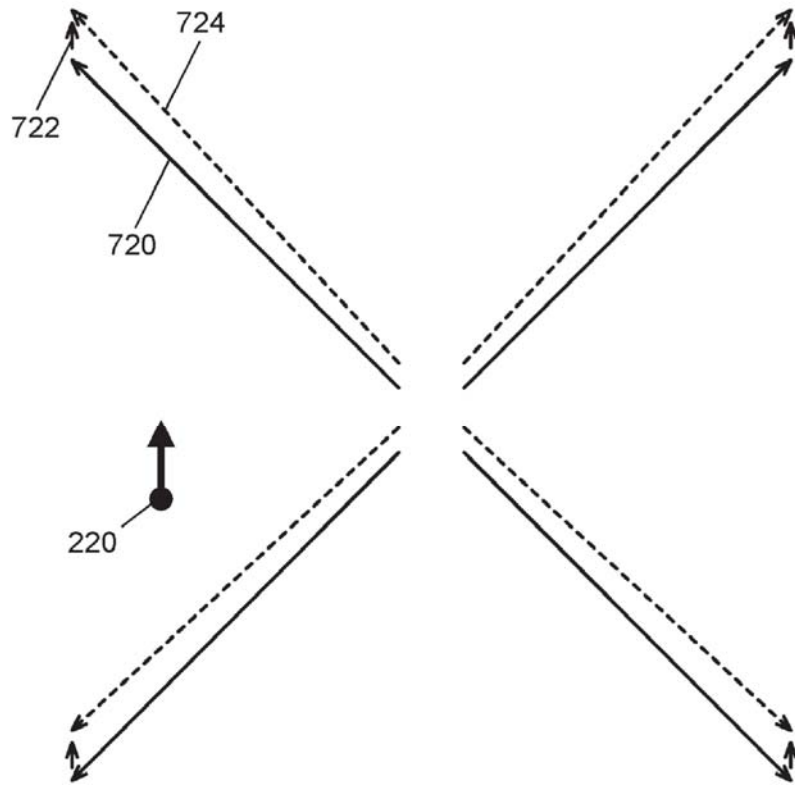
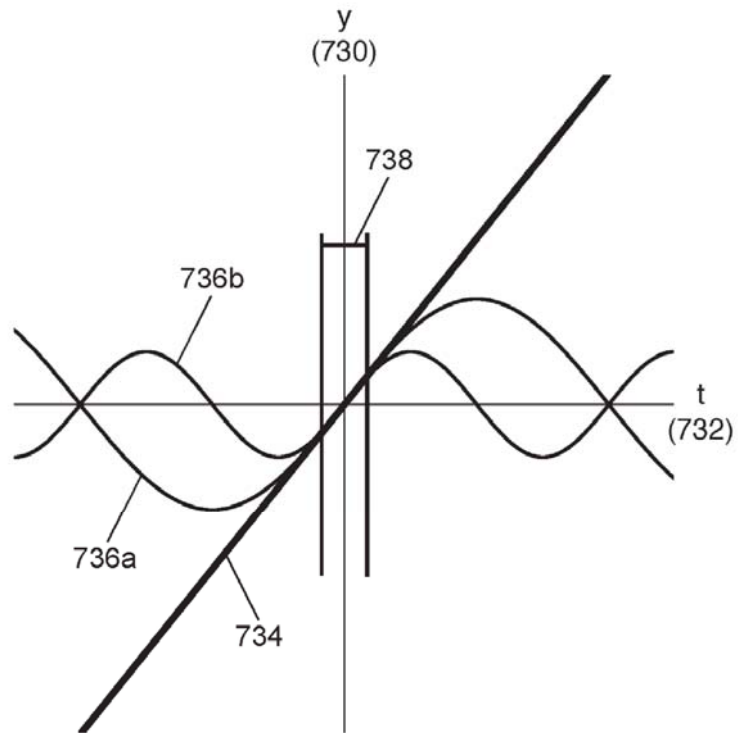


Fig. 68B



**Fig. 69**



EQ 23:  $y = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

EQ 24:  $dy/dt = 2\pi \cdot f \cdot A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$

EQ 25:  $\max(dy/dt) = 2\pi \cdot f \cdot A$

EQ 26:  $\text{avg}(dy/dt) = (y_1 - y_0) / (t_1 - t_0)$

**Fig. 70**

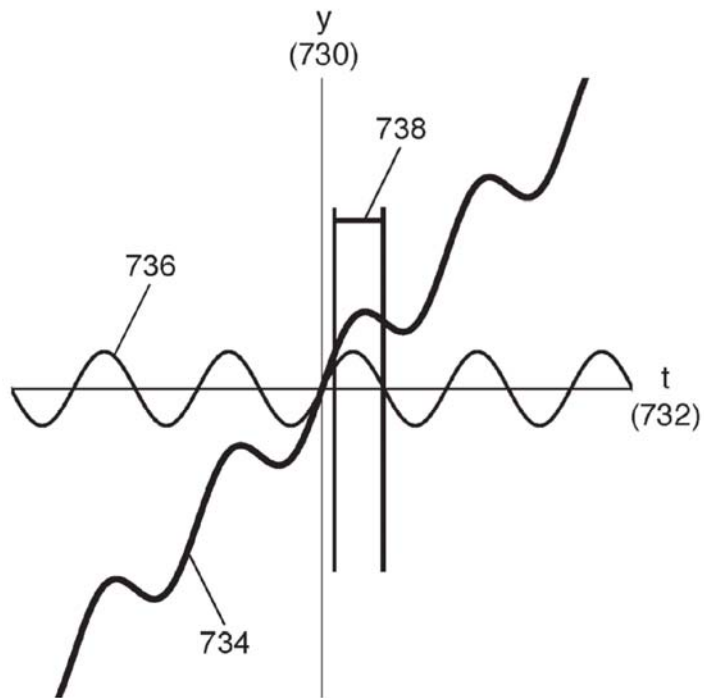
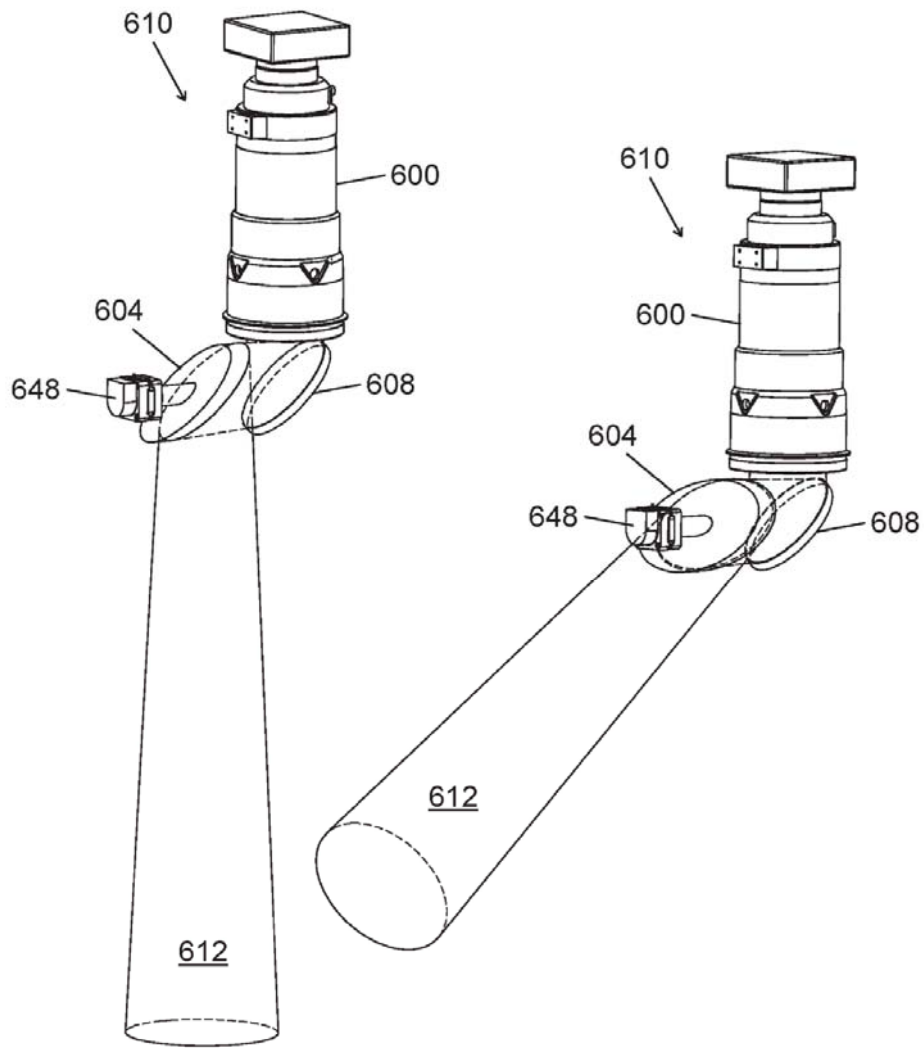
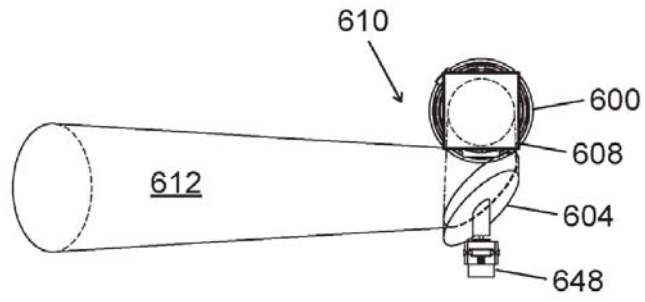


Fig. 71

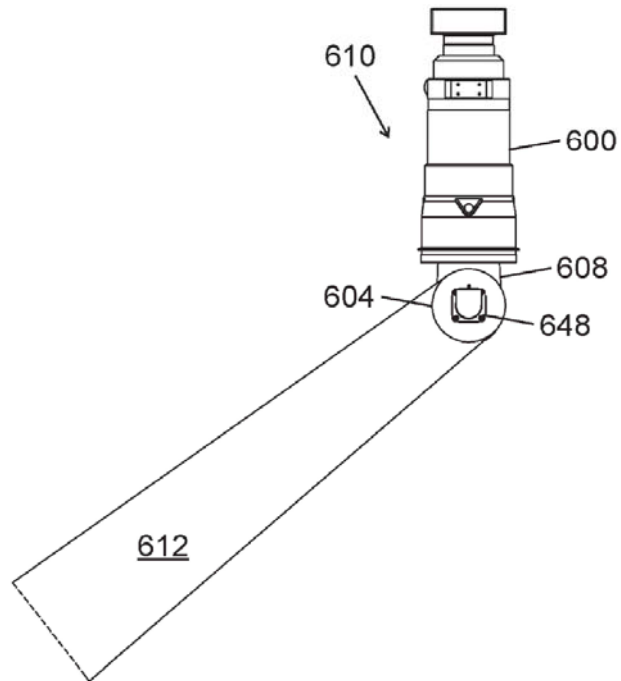


**Fig. 72A**

**Fig. 72B**



**Fig. 73A**



**Fig. 73B**

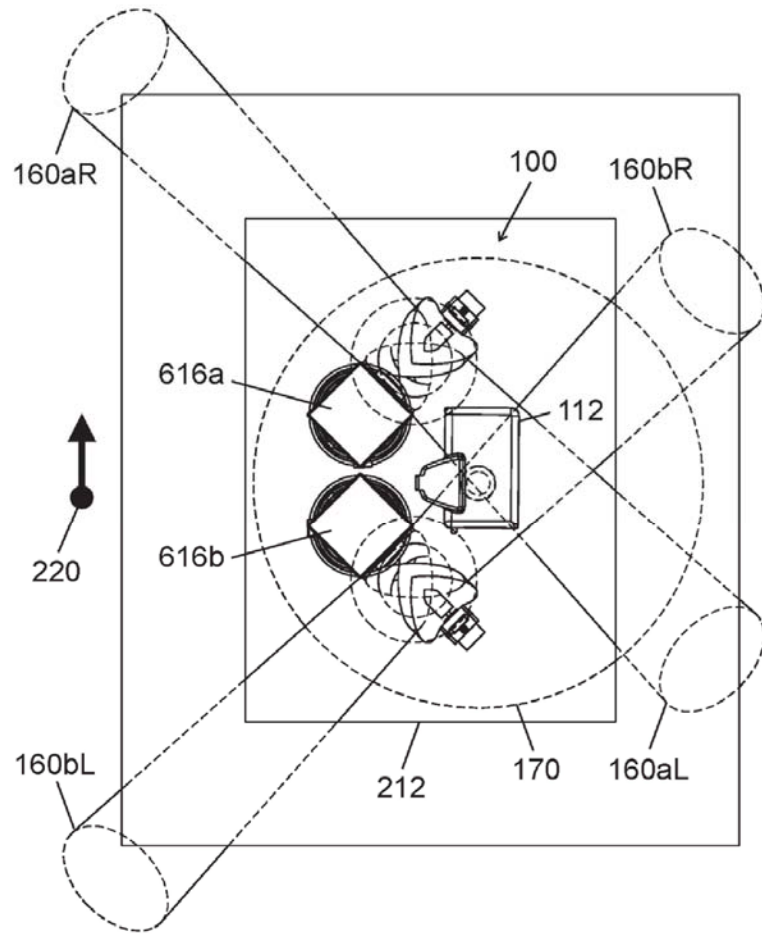
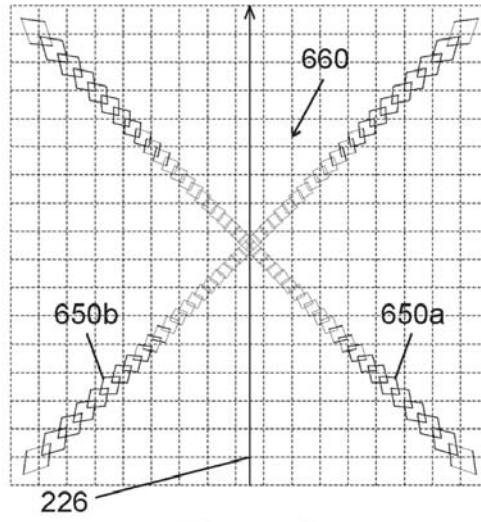
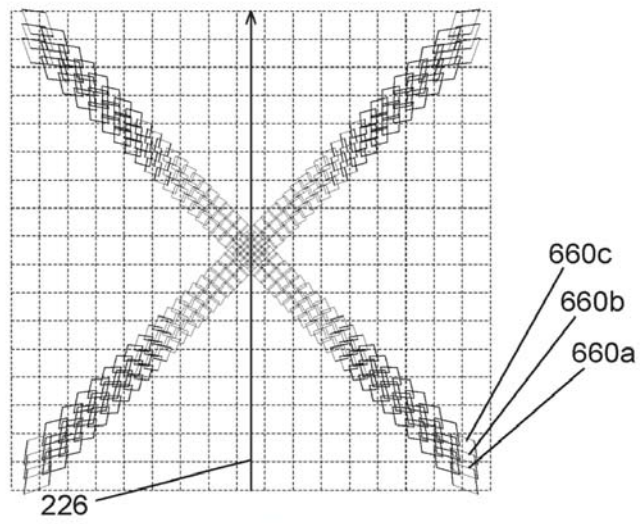


Fig. 74

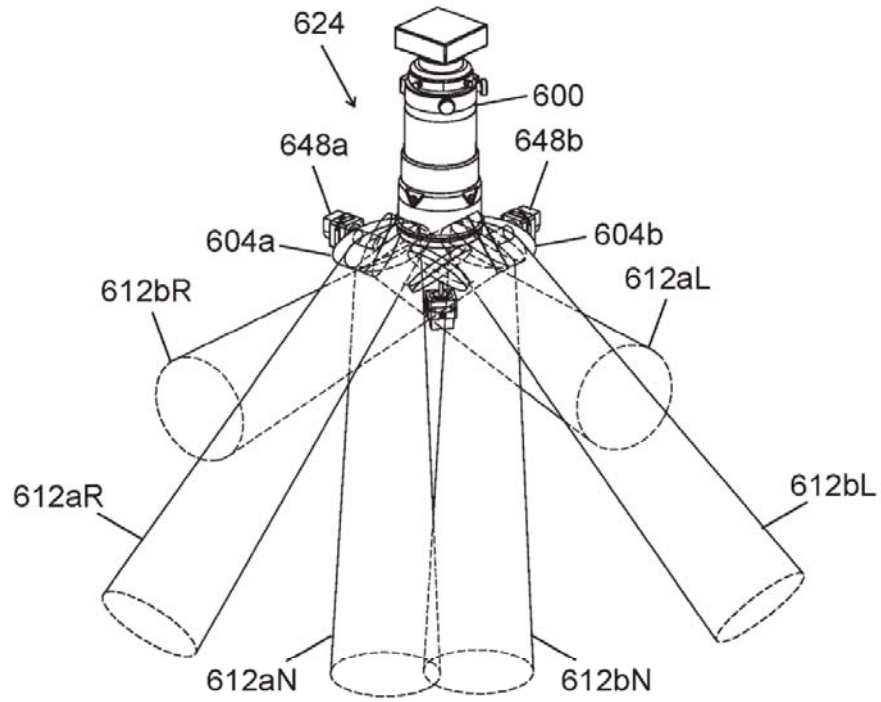




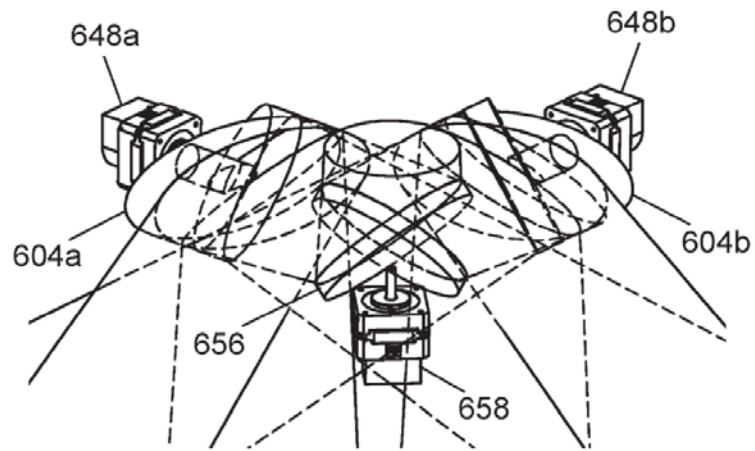
**Fig. 75A**



**Fig. 75B**



**Fig. 76A**



**Fig. 76B**

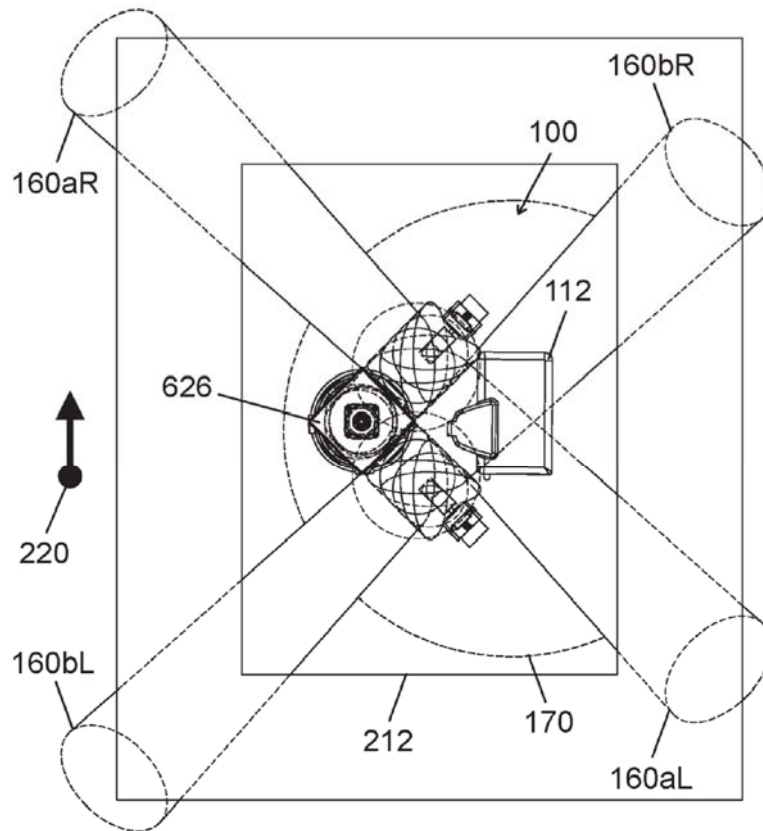
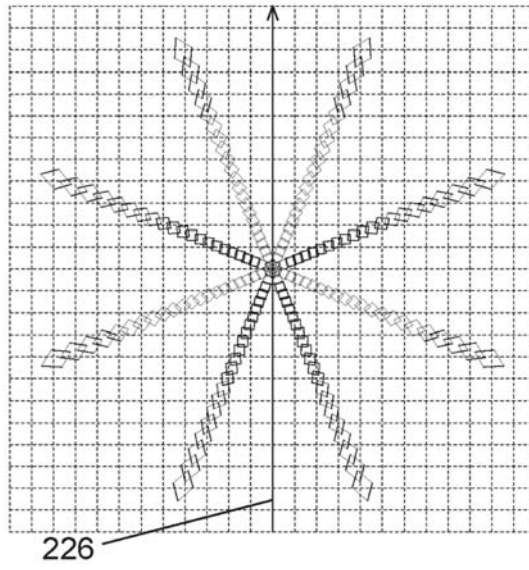
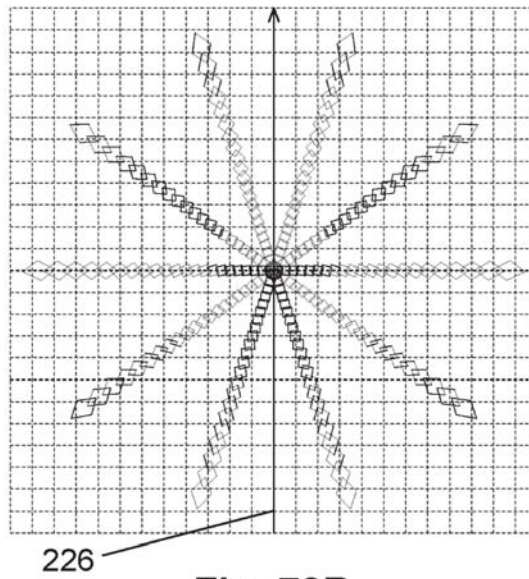


Fig. 77



**Fig. 78A**



**Fig. 78B**