

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 270**

51 Int. Cl.:

**B64G 1/10** (2006.01)

**G01C 15/00** (2006.01)

**G01S 5/16** (2006.01)

**G01S 17/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.04.2012 E 12163536 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 2508427**

54 Título: **Sistema de metrología óptica proyectiva para determinar actitud y posición**

30 Prioridad:

**08.04.2011 IT TO20110325**

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

**30.12.2015**

73 Titular/es:

**THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. CON  
UNICO SOCIO (100.0%)  
Via Saccomuro, 24  
Roma, IT**

72 Inventor/es:

**BRESCIANI, FULVIO y  
MUSSO, FABIO**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 555 270 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**

Sistema de metrología óptica proyectiva para determinar actitud y posición

La presente invención se refiere a un sistema de metrología óptica de tipo proyectivo. En particular, la presente invención considera un sistema de metrología óptica proyectiva para determinar actitud y posición.

5 Como se sabe, están ahora disponibles numerosos sistemas de metrología que hallan uso, entre otras cosas, en el sector aeroespacial. En particular, en el sector aeroespacial, se conocen los sistemas de metrología que tienen la función de determinar la actitud y / o la posición de un satélite. Aún más en particular, se conocen sistemas de metrología que permiten, dado un par de satélites, la determinación de la posición mutua y la actitud mutua de los dos satélites.

10 La determinación de las actitudes y las posiciones de satélites es de especial importancia en el caso de sistemas de satélites cuyos satélites están dispuestos en formación, es decir, en los casos donde se concibe la determinación de la actitud y la posición de cada satélite como una función de la actitud y la posición de los otros satélites.

En la práctica, dados dos satélites, la determinación de la actitud mutua y de la posición mutua requiere la determinación de seis grados de libertad. De hecho, suponiendo un primer sistema de referencia y un segundo sistema de referencia fijados, respectivamente, con respecto a un primer satélite y a un segundo satélite y formado cada uno por un trío de ejes perpendiculares, la actitud mutua y la posición mutua de los sistemas de referencia primero y segundo y por tanto de los satélites primero y segundo, pueden ser expresadas en términos de tres desplazamientos (lineales) y tres rotaciones (ángulos). En particular, la posición mutua del primer satélite con respecto al segundo satélite puede ser expresada por medio de un conjunto de tres desplazamientos medidos, respectivamente, a lo largo de los tres ejes del segundo sistema de referencia. Análogamente, la actitud mutua del primer satélite con respecto al segundo satélite puede ser expresada por medio de un conjunto de tres ángulos, iguales a las correspondientes rotaciones del primer sistema de referencia con respecto al segundo sistema de referencia.

25 Dicho esto, en general, los sistemas de metrología óptica ahora disponibles pueden ser divididos en los denominados sistemas "toscos" y los denominados sistemas "finos", de acuerdo con la precisión y el campo de aplicación, estando los últimos dados por la gama de distancias que pueden extenderse entre los satélites sin degradarse significativamente los niveles de prestaciones.

30 En mayor detalle, los sistemas finos de metrología permiten la determinación de la posición mutua de dos satélites con una precisión menor que un centímetro, siempre que los satélites no estén dispuestos a una distancia entre sí mayor que alrededor de cincuenta metros. Algunos sistemas finos de metrología incluso permiten la determinación de la posición mutua de dos satélites con una precisión del orden de una décima de milímetro, siempre que los satélites no estén dispuestos a una distancia entre sí mayor que un metro.

35 En cambio, los sistemas toscos de metrología están caracterizados por una precisión no inferior a alrededor de diez centímetros. Sin embargo, pueden funcionar también cuando la distancia entre los satélites es mayor que cincuenta metros, por ejemplo, también hasta distancias de veinte kilómetros.

A modo de ejemplo, los sistemas toscos de metrología comprenden sistemas de metrología basados en el uso del sistema de localización global (GPS) por satélite, así como sistemas de metrología basados en el uso de radiación de frecuencia de radio, recurriendo esta última a redes de antenas considerablemente complejas.

40 En lo que respecta, en cambio, a sistemas finos de metrología, son conocidos en la técnica sistemas de un tipo proyectivo, al menos en parte, que conciben que, dados dos satélites, uno de ellos está equipado con un objetivo formado por un número N de fuentes de luz y el otro está equipado con una unidad óptica, que incluye un sensor opto-electrónico capaz de adquirir una imagen del objetivo, sobre cuya base, por medio del pos-procesamiento, la unidad óptica misma determina uno o más de los anteriormente mencionados grados de libertad.

45 A modo de ejemplo, la solicitud de patente N.º: EP1986018 describe un sistema para determinar la posición y la actitud de un sistema con seis grados de libertad y donde el número N de fuentes de luz del objetivo es igual a uno. Sin embargo, para permitir la determinación de todos los seis grados de libertad, el sistema descrito en el documento N.º: EP1986018 requiere que la fuente de luz individual esté formada por una fuente de luz coherente, tal como, por ejemplo, un láser y además requiere que la unidad óptica sea capaz de llevar a cabo, además del procesamiento de las imágenes del objetivo, las mediciones de la energía efectivamente recibida por el sensor opto-electrónico y una medición angular de la rotación de la polarización del haz de luz emitido por la fuente de luz coherente.

55 En detalle todavía mayor, con referencia a un primer satélite y a un segundo satélite y suponiendo que el objetivo está situado en el primer satélite, el sistema descrito en el documento N.º: EP1986018 concibe que la unidad óptica a bordo del segundo satélite estará equipada con tres detectores opto-electrónicos que son capaces de procesar imágenes y detectar, cada uno, la energía asociada a la fracción de radiación electromagnética emitida por la fuente

de luz coherente y que impacta efectivamente sobre el mismo detector opto-electrónico. En consecuencia, el sistema descrito en el documento N.º: EP1986018 no es de un tipo estrictamente proyectivo.

Hay también, por otra parte, sistemas conocidos de metrología fina que no conciben la determinación de mediciones de energía, es decir, sistemas de metrología de un tipo estrictamente proyectivo. Con respecto a lo que se describe en el documento N.º: EP1986018, dichos sistemas de tipo proyectivo requieren el uso de objetivos formados por un gran número de fuentes de luz. Un ejemplo de dichos sistemas de metrología se proporciona en el documento N.º: US7.561.262, donde las fuentes de luz están formadas por reflectores diseñados para ser dispuestos en el primer satélite, que son iluminados por radiación emitida por el segundo satélite. Además, son conocidos sistemas finos de metrología de tipo estrictamente proyectivo, donde el objetivo está formado por un número particularmente grande de fuentes de luz (por ejemplo, ocho).

El uso de objetivos formados por un gran número de fuentes de luz implica una mayor complejidad de construcción y además comporta un aumento en el consumo de energía eléctrica, tanto en el caso donde las fuentes de luz son ópticamente activas (es decir, emiten señales de luz) como en el caso donde son pasivas (es decir, están formadas, por ejemplo, por reflectores). De hecho, en el último caso es necesario irradiar el satélite que aloja el objetivo con un frente particularmente amplio de ondas electromagnéticas, a fin de iluminar todos los reflectores, con el consiguiente dispendio de energía electromagnética.

Además, se conocen los denominados sistemas de "rastreo estelar". Por ejemplo, el documento N.º: US2005/213096 describe un sistema diseñado para recibir señales de luz que llegan desde un campo estelar y para generar un par de imágenes usando una formación de espejos que pueden ser activados independientemente uno del otro. Los espejos están dispuestos de modo tal que, dado un objetivo estelar que ha de ser identificado, cuando este objetivo estelar es encuadrado por el sistema, el correspondiente par de imágenes se colapsa en un punto focal común, permitiendo el reconocimiento del objetivo estelar en sí mismo. Este sistema, por tanto, funciona sobre la hipótesis de rayos de luz que llegan desde el infinito y por tanto paralelos entre sí; además no permite la determinación de ninguna cantidad con respecto a la posición (distancia) de las estrellas con respecto al sistema en sí mismo.

Finalmente, se conocen sistemas del tipo descrito en el documento N.º: US2008/111985, donde una primera imagen y una segunda imagen de un objetivo se forman sobre dos formaciones fotosensibles distintas. Las cantidades de interés se determinan luego sobre la base, alternativamente, de la primera imagen o bien de la segunda imagen. Este sistema está por tanto caracterizado por una cierta complejidad, ya que requiere el uso de dos formaciones fotosensibles distintas.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de metrología óptica proyectiva que resuelva al menos en parte los inconvenientes de la técnica conocida.

De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema de metrología óptica proyectiva según lo definido en la reivindicación 1.

Para una mejor comprensión de la invención, se describen ahora realizaciones de la misma, estrictamente a modo de ejemplo no limitador y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- las Figuras 1, 4 y 8 muestran diagramas de bloques de sistemas de satélites que incluyen el presente sistema de metrología;

- la Figura 2 es una ilustración esquemática de un objetivo luminoso;

- las Figuras 3 y 7 muestran diagramas de bloques de una unidad óptica de acuerdo con la presente invención;

- la Figura 5 es una ilustración cualitativa de una vista frontal de una superficie de detección de un sensor opto-electrónico del sistema de metrología ilustrado en las Figuras 1, 4 y 8; y

- la Figura 6 muestra un diagrama óptico con respecto a la formación de una imagen.

La Figura 1 muestra un sistema de metrología óptica de tipo proyectivo, mencionado en adelante en la presente memoria, por brevedad, como "sistema de metrología 1". El sistema de metrología 1, además, se describe en lo que sigue con referencia específica a una aplicación de tipo satelital, incluso aunque pueda hallar uso en distintas esferas de aplicación, según se menciona en la secuela.

En detalle, el sistema de metrología 1 comprende un objetivo 2 diseñado para limitarse a un primer satélite sat1 y una unidad óptica 6 diseñada para limitarse a un segundo satélite sat2.

Según se muestra en mayor detalle en la Figura 2, el objetivo 2 comprende una primera fuente de luz 4a, una segunda fuente de luz 4b y una tercera fuente de luz 4c, formada cada una, por ejemplo, por un correspondiente diodo emisor de luz (LED). Las fuentes de luz primera, segunda y tercera 4a a 4c están dispuestas como coplanares y en los vértices de un triángulo hipotético, por ejemplo, un triángulo isósceles o equilátero. En particular, con la hipótesis de fuentes de luz como puntos, suponiendo un primer sistema de referencia  $x_1, y_1, z_1$  fijado con respecto al

primer satélite sat1 y formado por tres ejes  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$  ortogonales entre sí y suponiendo además que el eje  $z_1$  es perpendicular al plano en el que yacen las fuentes de luz primera, segunda y tercera 4a a 4c y que las fuentes de luz primera y segunda 4a a 4b yacen a lo largo del eje  $x_1$ , es posible expresar los puntos del espacio en los cuales están situadas las fuentes de luz primera, segunda y tercera 4a a 4c, respectivamente, como  $[X_0, 0, 0]$ ,  $[-X_0, 0, 0]$  y  $[0, y_0, 0]$ .

Según se muestra en la Figura 3, la unidad óptica 6 comprende un sensor opto-electrónico 10, un diafragma 12 diseñado para recibir los rayos ópticos generados por el objetivo 2, un primer hendidor de haces ópticos 14 y un segundo hendidor de haces ópticos 16, un primer elemento reflectante 18 y un segundo elemento reflectante 20 y una primera lente intermedia 22 y una segunda lente intermedia 24. Estrictamente a modo de ejemplo, las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 pueden ser cóncavas.

La unidad óptica 6 comprende además una unidad de procesamiento electrónico 30, que está eléctricamente conectada con el sensor opto-electrónico 10.

En mayor detalle, el diafragma 12, el primer hendidor de haces ópticos 14, la primera lente intermedia 22, el segundo hendidor de haces ópticos 16 y el sensor opto-electrónico 10 están dispuestos en sucesión y ópticamente alineados. En otras palabras, el primer hendidor de haces ópticos 14 está dispuesto entre el diafragma 12 y la primera lente intermedia 22, que a su vez está dispuesta entre los hendidores de haces ópticos primero y segundo 14, 16; finalmente, el segundo hendidor de haces ópticos 16 está dispuesto entre la primera lente intermedia 22 y el sensor opto-electrónico 10.

En mayor detalle, los ejes ópticos del diafragma 12 y de la primera lente intermedia 22 son aproximadamente coincidentes y atraviesan esencialmente el centro del sensor opto-electrónico 10. A modo de ejemplo, en la Figura 3 los ejes ópticos (coincidentes) de la lente de entrada 12 y de la primera lente intermedia 22 están indicados como OA; para mayor simplicidad, en lo que sigue, serán mencionados como "eje de sistema OA".

En la práctica, el diafragma 12, el primer hendidor de haces ópticos 14, la primera lente intermedia 22 y el segundo hendidor de haces ópticos 16 forman un primer circuito óptico, que será mencionado en adelante en la presente memoria como "primer tren óptico OT1".

El lo que respecta, en cambio, a la segunda lente intermedia 24, está dispuesta entre los elementos reflectantes primero y segundo 18, 20, de modo tal que el diafragma 12, el primer hendidor de haces ópticos 14, el primer elemento reflectante 18, la segunda lente intermedia 24, el segundo elemento reflectante 20 y el segundo hendidor de haces ópticos 16 formen un segundo circuito óptico, que será mencionado en adelante en la presente memoria como "segundo tren óptico OT2".

Operativamente, si los rayos ópticos generados por el objetivo 2 y recibidos por el diafragma 12 son mencionados como "rayos ópticos globales", una primera fracción de los rayos ópticos globales está enfocada por el primer tren óptico OT1 en el sensor opto-electrónico 10, junto con el eje de sistema OA, es decir, después de recorrer el primer hendidor de haces ópticos 14, la primera lente intermedia 22 y el segundo hendidor de haces ópticos 16. La primera fracción de los rayos ópticos globales, que será mencionada en adelante en la presente memoria como "primer haz óptico", se muestra en la Figura 4 de manera estrictamente cualitativa, donde está indicada como  $R_1$ . En la práctica, el primer haz óptico  $R_1$  comprende los rayos ópticos que recorren, además de la lente de entrada 12 y la primera lente intermedia 22, también los hendidores de haces ópticos primero y segundo 14, 16, sin ser reflejados por los mismos.

El primer tren óptico OT1, por tanto, define un primer trayecto óptico, dispuesto entre el diafragma 12 y el sensor opto-electrónico 10 y que tiene una primera longitud  $l_1$ , entendida como la distancia que el primer haz óptico  $R_1$  cubre para llegar, a partir del diafragma 12, al sensor opto-electrónico 10.

En lo que respecta, en cambio, al segundo tren óptico OT2, el primer elemento reflectante 18 está dispuesto a fin de recibir una segunda fracción de rayos ópticos globales, que comprende, en el caso en cuestión, la parte de rayos ópticos globales que, después de recorrer el diafragma 12, son reflejados por el primer hendidor de haces ópticos 14. La segunda fracción de los rayos ópticos globales, que será mencionada en adelante en la presente memoria como "segundo haz óptico", se muestra en la Figura 4 de una manera estrictamente cualitativa, donde es indicada como  $R_2$ . En la práctica, el primer hendidor de haces ópticos 14 funciona a fin de separar los haces ópticos primero y segundo  $R_1$ ,  $R_2$ .

El primer elemento reflectante 18, la segunda lente intermedia 24 y el segundo elemento reflectante 20 están además dispuestos de manera tal que el segundo haz óptico  $R_2$  sea reflejado por el primer elemento reflectante 18 en la dirección de la segunda lente intermedia 24. Después de recorrer la segunda lente intermedia 24, el segundo haz óptico  $R_2$  es recibido por el segundo elemento reflectante 20, que lo refleja en la dirección del segundo hendidor de haces ópticos 16. Finalmente, el segundo hendidor de haces ópticos 16 refleja el segundo haz óptico  $R_2$  en la dirección del sensor opto-electrónico 10, una vez más a lo largo del eje de sistema OA. En la práctica, el segundo hendidor de haces ópticos 16 funciona a fin de recombinar los haces ópticos primero y segundo  $R_1$ ,  $R_2$ .

Operativamente, el segundo tren óptico OT2 es capaz de dirigir el segundo haz óptico  $R_2$  hacia el sensor opto-electrónico 10. El segundo tren óptico OT2 define, por tanto, un segundo trayecto óptico, dispuesto entre el diafragma 12 y el sensor opto-electrónico 10 y que tiene una segunda longitud  $l_2$ , mayor que la primera longitud  $l_1$  y entendida como la distancia que los rayos ópticos del anteriormente mencionado segundo haz óptico  $R_2$  cubren para llegar, a partir del diafragma 12, al sensor opto-electrónico 10.

El segundo trayecto óptico no recorre la primera lente intermedia 22 y además, comparte con el primer trayecto óptico un mismo punto de entrada, definido por el diafragma 12 y un mismo punto terminal, definido por el sensor opto-electrónico 10.

En mayor detalle, cada lente entre las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 tiene un respectivo par de planos principales, también conocidos como plano principal frontal y plano principal trasero, que, en el caso en que la lente sea delgada, se colapsan en un único plano principal. En consecuencia, suponiendo que las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 son efectivamente delgadas, tienen, respectivamente, un primer plano principal  $P_1$  y un segundo plano principal  $P_2$ , que pasan a través de los centros ópticos de las lentes intermedias primera y segunda 22, 24, respectivamente. Además, las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 tienen, respectivamente, una primera longitud focal  $f_1$  y una segunda longitud focal  $f_2$ , siendo la segunda longitud focal  $f_2$  mayor que la primera longitud focal  $f_1$ .

En detalle incluso mayor, suponiendo para mayor simplicidad que el primer hendidore de haces ópticos 14 tiene dimensiones despreciables, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  y por tanto, también las lentes intermedias primera y segunda 22, 24, están separados del primer hendidore de haces ópticos 14, respectivamente, por una primera distancia  $d_1$  y una segunda distancia  $d_2$ , medidas, respectivamente, a lo largo de los trayectos ópticos primero y segundo. En otras palabras, despreciando la inclinación de los rayos ópticos con respecto al eje de sistema OA, el primer haz óptico  $R_1$  se propaga, para llegar al primer plano principal  $P_1$  a partir del primer hendidore de haces ópticos 14, sobre una distancia igual a  $d_1$ . Análogamente, el segundo haz óptico  $R_2$  se propaga, para llegar al segundo plano principal  $P_2$  a partir del primer hendidore de haces ópticos 14, sobre una distancia igual a  $d_2$ .

En la práctica, desde una postura óptica, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  están separados del objetivo 2, respectivamente, por una distancia  $d_{p1} = D_{sat} + d_1$  y  $d_{p2} = D_{sat} + d_2$ , donde  $D_{sat}$  es la distancia entre el objetivo 2 y el primer hendidore de haces ópticos 14. En consecuencia, desde una postura óptica, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  están a distancias distintas del objetivo 2. De manera equivalente, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  están a distancias distintas desde el diafragma 12, ya que están a distancias distintas desde el primer hendidore de haces ópticos 14 y los trayectos ópticos primero y segundo, entre el diafragma 12 y el primer hendidore de haces ópticos 14, coinciden. En particular, si  $d_c$  es la distancia entre el diafragma 12 y el primer hendidore de haces ópticos 14, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  están separados del diafragma 12, respectivamente, por una distancia  $d_c + d_1$  y una distancia  $d_c + d_2$ . Debería observarse que  $d_1$  y  $d_2$  también pueden tomar valores negativos, en el caso en que el primer plano principal  $P_1$  y / o el segundo plano principal  $P_2$  está(n) dispuesto(s) entre el diafragma 12 y el primer hendidore de haces ópticos 14.

Además, los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  y por tanto, las lentes intermedias primera y segunda 22, 24, están separados del sensor opto-electrónico 10, respectivamente, por una tercera distancia  $d_3$  y una cuarta distancia  $d_4$ , medidas, respectivamente a lo largo de los trayectos ópticos primero y segundo. En otras palabras, despreciando la inclinación de los rayos ópticos con respecto al eje de sistema OA, el primer haz óptico  $R_1$  se propaga, para llegar al sensor opto-electrónico 10 a partir del primer plano principal  $P_1$ , sobre una distancia igual a  $d_3$ . Análogamente, el segundo haz óptico  $R_2$  se propaga, para llegar al sensor opto-electrónico 10 a partir del segundo plano principal  $P_2$ , por una distancia igual a  $d_4$ .

En mayor detalle, según se muestra en la Figura 5, el sensor óptico 10 puede estar formado, por ejemplo, por un dispositivo acoplador de carga (CCD) y tiene una superficie de detección A que tiene, por ejemplo, forma cuadrada. Las anteriormente mencionadas distancias tercera y cuarta  $d_3$  y  $d_4$  expresan precisamente las distancias de los planos principales primero y segundo  $P_1$ ,  $P_2$  desde la superficie de detección A.

La superficie de detección A está formada por una formación de M elementos de imagen, generalmente conocidos como píxeles 11 y está dispuesta, según lo mencionado previamente, en una dirección perpendicular al eje de sistema OA, es decir, en una dirección perpendicular a los ejes ópticos del diafragma 12 y de la primera lente intermedia 22. Además, el centro geométrico de la superficie de detección A yace, preferiblemente, a lo largo del eje de sistema OA. En la práctica, el sensor opto-electrónico 10 es un denominado sensor de imagen.

Una vez más con referencia a las distancias tercera y cuarta  $d_3$ ,  $d_4$ , preferiblemente, son esencialmente iguales, respectivamente, a las longitudes focales primera y segunda  $f_1$  y  $f_2$ . En consecuencia, dada una hipotética fuente de luz fijada a una distancia infinita desde el segundo satélite sat2, los correspondientes haces ópticos primero y segundo  $R_1$ ,  $R_2$  están enfocados esencialmente en un único punto de la superficie de detección A del sensor óptico 10.

En lo que respecta, en cambio, al objetivo 2, fijado inevitablemente a una distancia no infinita desde el segundo satélite sat2, en una posición correspondiente al sensor óptico 10 se forman una primera imagen y una segunda imagen del objetivo 2 en sí mismo.

5 En mayor detalle, según se muestra cualitativamente en la Figura 4, las longitudes focales primera y segunda  $f_1$  y  $f_2$  son tales que, cuando el primer satélite sat1 y por tanto, el objetivo 2 están a la distancia  $D_{\text{sat}}$  del segundo satélite sat2, o bien del primer hendidore de haces ópticos 14, tanto el primer haz óptico  $R_1$  como el segundo haz óptico  $R_2$  impactan efectivamente sobre la superficie de detección A del sensor óptico 10, concurriendo allí en la determinación de una primera distribución de M intensidades lumínicas, según lo detectado por los M píxeles 11 del sensor óptico 10.

10 En particular, según se muestra en la Figura 5, el primer haz óptico  $R_1$  forma sobre la superficie de detección A del sensor óptico 10 una primera imagen  $I_1$  del objetivo 2, formada por un primer punto de imagen  $4a'$ , un segundo punto de imagen  $4b'$  y un tercer punto de imagen  $4c'$ , correspondientes, respectivamente, a las fuentes de luz primera, segunda y tercera  $4a$  a  $4c$ . Además, también el segundo haz óptico  $R_2$  impacta sobre la superficie de detección A del sensor óptico 10 y concurre, por tanto, a la formación de la primera distribución de M intensidades lumínicas. En particular, la segunda fracción  $R_2$  de los rayos ópticos globales forma sobre la superficie de detección A del sensor óptico 10 una segunda imagen  $I_2$  del objetivo 2, formada por un cuarto punto de imagen  $4a''$ , un quinto punto de imagen  $4b''$  y un sexto punto de imagen  $4c''$ , correspondientes, respectivamente, a las fuentes de luz primera, segunda y tercera  $4a$  a  $4c$ . Debería observarse que, para mayor simplicidad de la exposición, en la Figura 5 se supone que cada punto de imagen excita un único píxel, incluso aunque habitualmente cada punto de imagen excita un cierto número de píxeles, mayor que uno.

20 Sobre la base de la primera distribución de M intensidades lumínicas, la unidad de procesamiento electrónico 30 es capaz de determinar un primer píxel, un segundo píxel y un tercer píxel indicados con 11a, 11b y 11c, respectivamente, que corresponden, respectivamente, a los puntos de imagen primero, segundo y tercero  $4a'$  a  $4c'$ . Además, la unidad de procesamiento electrónico 30 es capaz de determinar un cuarto píxel, un quinto píxel y un sexto píxel, indicados por 11d, 11e y 11f, respectivamente, que corresponden, respectivamente, a los puntos de imagen cuarto, quinto y sexto  $4a''$  a  $4c''$ .

30 Por ejemplo, la unidad de procesamiento electrónico 30 puede identificar los píxeles primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 11a a 11f, por medio de una búsqueda de los máximos relativos entre las M intensidades lumínicas de la primera distribución de M intensidades lumínicas. En este caso, de una manera conocida en sí misma, los píxeles primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 11a a 11f están caracterizados porque, considerando uno cualquiera de ellos, la intensidad lumínica detectada por los mismos es mayor que las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles que lo circundan.

35 En otras palabras, los puntos de imagen primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto  $4a'$  a  $4c'$ ,  $4a''$  a  $4c''$  pueden ser identificados electrónicamente como distintos entre sí y en particular, como correspondientes a seis píxeles distintos. Esto significa que tanto la primera imagen  $I_1$  como la segunda imagen  $I_2$  son claras; esto es, cada una de ellas puede ser procesada electrónicamente por la unidad de procesamiento electrónico 30 de forma tal como para identificar, de una manera conocida en sí misma, un cierto número de máximos relativos de intensidad lumínica, igual al número de fuentes de luz presentes en el objetivo 2 (en el caso en cuestión, tres).

40 En cambio, si, hipotéticamente, los puntos de imagen primero, segundo y tercero  $4a'$  a  $4c'$  fuesen todos a excitar a un mismo píxel, no serían electrónicamente identificables como distintos entre sí; por tanto, la primera imagen  $I_1$  del objetivo 2 no sería clara.

45 En la práctica, el hecho de que una imagen genérica formada sobre la superficie de detección A del sensor óptico 10 sea clara depende, de una manera conocida en sí misma, de las dimensiones del objetivo 2, la distancia del objetivo 2 desde el segundo satélite sat2 y la longitud focal del correspondiente tren óptico que la ha generado, así como del área de la superficie de detección A del sensor óptico 10. A este respecto, en lo que sigue, se supondrá, sin que esto implique pérdida alguna de generalidad, que la superficie de detección A tiene una forma cuadrada de lado Q y que cada píxel 11 tiene una forma cuadrada de lado q.

50 Además, en términos estrictos, el hecho de que una imagen genérica sea clara, o no, depende de las técnicas de procesamiento (conocidas) adoptadas por la unidad de procesamiento electrónico 30 para procesar la distribución de M intensidades lumínicas detectadas por los M píxeles 11. De hecho, incluso aunque es posible, según lo descrito previamente, que la unidad de procesamiento electrónico 30 determine los máximos relativos de la intensidad lumínica directamente sobre la base de las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles 11, es además posible que la determinación de los máximos relativos sea llevada a cabo por medio del denominado procedimiento centroide, o procedimientos similares. En particular, el procedimiento centroide, descrito, por ejemplo, en "Error analysis of CCD-based point source centroid computation under the background light", por Xiaoyu Ma, Changhui Rao y Hanqing Zheng, OPTICS EXPRESS Vol. 7, N.º: 10 y en "Improved Iteration Centroid Algorithm Based on Linear CCD Light-spot Location" de Shengjin Tang, Zhaofa Zhou, Xiaosong Guo y Yongchao Xiao, Novena Conferencia Internacional de Medición e Instrumentos Electrónicos, ICEMI 2009, concibe la interpolación de las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles 11, discretizadas en sí mismas en el espacio, a fin de determinar

curvas de interpolación continuas en el espacio (por ejemplo, curvas Gaussianas), sobre cuya base se determinan los máximos relativos.

5 Debería observarse que, en el caso en que la unidad de procesamiento electrónico 30 determina los máximos relativos de la intensidad lumínica meramente sobre la base de las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles 11, sin operaciones de interpolación, una imagen genérica es clara si la unidad de procesamiento electrónico 30 es capaz de identificar, para cada punto de imagen de la imagen genérica, un píxel correspondiente que exhiba un máximo relativo de intensidad lumínica. Si esto ocurre, la unidad de procesamiento electrónico 30 asocia los puntos de imagen con las coordenadas de los píxeles correspondientes. Por ejemplo, en el caso de los puntos de imagen primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 4a' a 4c' y 4a" a 4c", ellos están respectivamente asociados a las 10 coordenadas (descritas más adelante en la presente memoria) de los píxeles primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 11a a 11f. En consecuencia, la máxima discretización que es posible lograr al determinar la posición, dentro de la superficie de detección A, de posibles puntos de imagen, es igual al lado q de un único píxel.

15 En cambio, adoptando técnicas de interpolación conocidas, tales como, por ejemplo, el procedimiento centroide, es posible obtener una discretización espacial inferior a q, es decir, es posible asociar las coordenadas de los puntos de imagen con una discretización inferior a q. De hecho, para que una imagen sea clara es suficiente que la unidad de procesamiento electrónica 30 sea capaz de identificar, sobre la base de las M intensidades lumínicas detectadas por los píxeles 11 y de una manera conocida en sí misma, un cierto número de máximos relativos de intensidad lumínica, igual al número de fuentes de luz presentes en el objetivo 2, independientemente de si, sobre la base de 20 las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles y de la sola búsqueda de los máximos relativos entre dichas intensidades lumínicas, es posible o no identificar un cierto número de píxeles correspondientes al número de fuentes de luz presentes en el objetivo 2. Por ejemplo, la identificación de un cierto número de píxeles correspondientes al número de fuentes de luz presentes en el objetivo 2 puede ser impedida por el hecho de que esta búsqueda proporciona un número de máximos relativos, inferior o superior al número de fuentes de luz.

25 Para mayor simplicidad de la descripción, en lo que sigue se supondrá, excepto donde se especifique lo contrario, que la unidad de procesamiento electrónico 30 determina los máximos relativos de la intensidad lumínica meramente sobre la base de la búsqueda de los máximos relativos entre las intensidades lumínicas detectadas por los píxeles 11, sin operaciones de interpolación y por tanto, que los puntos de imagen primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 4a' a 4c' y 4a" a 4c" están asociados, respectivamente, a las coordenadas de los píxeles primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 11a a 11f.

30 Una vez más con referencia a las imágenes primera y segunda  $I_1$  e  $I_2$  mostradas en la Figura 5, suponiendo un segundo sistema de referencia  $x_2, y_2, z_2$  formado por tres ejes  $x_2, y_2, z_2$  ortogonales entre sí, fijados con respecto al segundo satélite sat2 y tal que la superficie de detección A del sensor óptico 10 yace en el plano definido por los ejes  $x_2$  e  $y_2$ , las coordenadas de cada uno de los píxeles primero, segundo y tercero 11a a 11c pueden ser expresadas como tríos, respectivamente, del tipo  $[X_{1P}, Y_{1P}, 0]$ ,  $[X_{2P}, Y_{2P}, 0]$  y  $[X_{3P}, Y_{3P}, 0]$ . Análogamente, las 35 coordenadas de cada uno de los píxeles cuarto, quinto y sexto 11e a 11f pueden ser expresadas como tríos, respectivamente, del tipo  $[X'_{1P}, Y'_{1P}, 0]$ ,  $[X'_{2P}, Y'_{2P}, 0]$  y  $[X'_{3P}, Y'_{3P}, 0]$ .

40 Luego, sobre la base de los tríos de coordenadas asociadas a los puntos de imagen primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 4a' a 4c', 4a" a 4c" y sobre la base de la forma del objetivo 2, es decir, sobre la base de los tríos de coordenadas de las fuentes de luz primera, segunda y tercera 4a a 4c, la unidad de procesamiento electrónico 30 determina seis cantidades para la actitud mutua y la posición mutua de los satélites primero y segundo sat1, sat2. En particular, la unidad de procesamiento electrónico 30 determina los ángulos  $\theta, \beta, \gamma$ , una distancia D y los desplazamientos  $\Delta x, \Delta y$ , que se refieren a rotaciones o traslaciones que permiten, a partir de los seis tríos de coordenadas asociadas a los píxeles primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 11a a 11f, que las coordenadas de las fuentes de luz primera, segunda y tercera 4a a 4c sean obtenidas.

45 En más detalle, los ángulos  $\theta, \beta, \gamma$  se refieren, respectivamente, a rotaciones alrededor de los ejes  $x_1, y_1$  y  $z_1$ , mientras que los desplazamientos  $\Delta x, \Delta y$  se refieren a las traslaciones a lo largo de los ejes  $x_1, y_1$ . La distancia D, en cambio, es la distancia entre el objetivo 2 y el primer hendidor de haces ópticos 14, es decir, en una primera aproximación, la distancia entre los satélites primero y segundo sat1, sat2.

50 Aún más en particular, de una manera conocida en sí misma, suponiendo una disposición de referencia mutua del primer sistema de referencia  $x_1, y_1$  y  $z_1$  con respecto al segundo sistema de referencia  $x_2, y_2$  y  $z_2$ , los ángulos  $\theta, \beta, \gamma$  y los desplazamientos  $\Delta x, \Delta y$  indican correspondientes roto-traslaciones del primer sistema de referencia  $x_1, y_1$  y  $z_1$  con respecto a esta disposición de referencia mutua.

55 Operativamente, la unidad de procesamiento electrónico 30 recurre a las denominadas coordenadas homogéneas, conocidas por sí mismas en el campo de la geometría proyectiva. En particular, la unidad de procesamiento electrónico 30 usa un sistema de referencia tridimensional en coordenadas homogéneas, de un tipo de mano derecha, es decir, donde las rotaciones positivas son las rotaciones en una dirección contraria a la de las agujas del reloj. En consecuencia, las traslaciones y rotaciones pueden ser expresadas, de una manera conocida en sí misma, en términos de correspondientes matrices de cuatro por cuatro. Con referencia a los anteriormente mencionados ángulos  $\theta, \beta, \gamma$ , las rotaciones correspondientes pueden por tanto ser expresadas como

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \text{sen} \gamma & 0 & 0 \\ -\text{sen} \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_x(\vartheta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \vartheta & \text{sen} \vartheta & 0 \\ 0 & -\text{sen} \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\text{sen} \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{sen} \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

mientras que una traslación genérica, formada por un trío genérico de desplazamientos del tipo [Sx, Sy, Sz], puede ser expresada como

$$T_{xyz}(Sx, Sy, Sz) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ Sx & Sy & Sz & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

- 5 Dado un cuerpo rígido genérico cuyo centroide tiene inicialmente coordenadas cartesianas [X<sub>01</sub>, y<sub>01</sub>, z<sub>01</sub>] y que está sujeto a rotaciones y / o traslaciones, es por tanto posible determinar matemáticamente un nuevo trío de coordenadas cartesianas [X<sub>11</sub>, y<sub>11</sub>, z<sub>11</sub>], correspondientes a la posición adoptada por el centroide del cuerpo rígido a continuación de las rotaciones y / o traslaciones. Con este fin, es posible aplicar a las coordenadas homogéneas [X<sub>01</sub>, y<sub>01</sub>, z<sub>01</sub>, 1], correspondientes a la posición inicial del cuerpo rígido, las anteriormente mencionadas matriz de rotación y / o matriz de traslación, en el mismo orden en el que ocurren efectivamente las rotaciones y / o traslaciones. Tenemos, de hecho

$$[X_{11}, Y_{11}, z_{11}, 1] = [X_{01}, Y_{01}, z_{01}, 1] \cdot R_x(\theta) \cdot R_y(\beta) \cdot R_z(\gamma) \cdot T_{xyz}(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \quad (5)$$

En otras palabras, la ecuación que enlaza las coordenadas homogéneas finales, adoptadas por el centroide del cuerpo rígido, con las coordenadas homogéneas iniciales adoptadas por el centroide del cuerpo rígido es

$$[X_{11}, Y_{11}, z_{11}, 1] = [X_{01}, Y_{01}, z_{01}, 1] \cdot M(\theta, \beta, \gamma, \Delta x, \Delta y, \Delta z) \quad (6)$$

- 15 donde la matriz M define matemáticamente cualquier roto-traslación a la que esté sujeto el cuerpo rígido y tiene la siguiente forma:

$$M = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & \sin \gamma \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \gamma \sin \beta \cos \gamma - \sin \gamma \cos \vartheta & \sin \gamma \sin \beta \sin \vartheta + \cos \gamma \cos \vartheta & \sin \vartheta \cos \beta & 0 \\ \cos \vartheta \sin \beta \cos \gamma - \sin \gamma \sin \vartheta & \sin \gamma \sin \beta \cos \vartheta - \cos \gamma \sin \vartheta & \cos \vartheta \cos \beta & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

5 Se sabe además que, según se muestra esquemáticamente en la Figura 6, dada una lente delgada genérica con longitud focal  $f$ , si se coloca un objeto con forma de punto, que tenga coordenadas cartesianas  $[X_{01}, y_{01}, z_{01}]$  enfrente de la lente delgada y a una distancia  $D_s$  de la misma, genera, en un plano hipotético dispuesto detrás de la lente delgada y a una distancia  $d_s$  aproximadamente igual a la longitud focal  $f$ , un correspondiente punto de imagen con coordenadas aproximadamente iguales a  $X_{01P} = X_{01} \cdot f / D_s$  y  $Y_{01P} = Y_{01} \cdot f / D_s$ . Este fenómeno físico se expresa con la bien conocida ecuación de proyección óptica

$$P^i(X_{01P}, Y_{01P}) = P^i\left(\frac{fX_{01}}{D_s}, \frac{fY_{01}}{D_s}\right) \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación de proyección óptica (8) en la Ec. (6), obtenemos

$$\begin{bmatrix} X_{11P}, Y_{11P}, 0, \frac{f}{D_s} \end{bmatrix} = \frac{f}{D_s} \begin{bmatrix} X_{01}, Y_{01}, 0, 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & \sin \gamma \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \gamma \sin \beta \cos \gamma - \sin \gamma \cos \vartheta & \sin \gamma \sin \beta \sin \vartheta + \cos \gamma \cos \vartheta & \sin \vartheta \cos \beta & 0 \\ \cos \vartheta \sin \beta \cos \gamma - \sin \gamma \sin \vartheta & \sin \gamma \sin \beta \cos \vartheta - \cos \gamma \sin \vartheta & \cos \vartheta \cos \beta & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

10 que relaciona las coordenadas  $[X_{01}, y_{01}, z_{01}]$  del centroide del cuerpo rígido antes de la roto-traslación con las coordenadas  $[X_{11P}, y_{11P}, z_{11P}]$  del punto de imagen para el mismo centroide, después de que el cuerpo rígido ha sido sometido a una roto-traslación. Más específicamente, las coordenadas  $[X_{01}, y_{01}, 0]$  consideran un sistema de referencia tal que  $Z_{01} = 0$ , mientras que las coordenadas  $[X_{11P}, y_{11P}, 0]$  consideran un sistema de referencia tal que  
15  $Z_{11P} = 0$ .

Dicho esto, con referencia a los sistemas de referencia  $x_1, y_1, z_1$  y  $x_2, y_2, z_2$ , si suponemos que el ángulo  $\theta$  es cero y aplicamos la Ec. (9) con referencia a la primera fuente de luz 4a y al primer punto de imagen 4a', obtenemos

$$\begin{bmatrix} X_{1P}, Y_{1P}, 0, \frac{f_1}{D+d_1} \end{bmatrix} = \frac{f_1}{D+d_1} \begin{bmatrix} X_0, 0, 0, 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & \sin \gamma \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ \sin \beta \cos \gamma & \sin \gamma \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

20 Análogamente, si suponemos una vez más que el ángulo  $\theta$  es cero y aplicamos la Ec. (9) con referencia a la segunda fuente de luz 4b y al segundo punto de imagen 4b', obtenemos

$$\begin{bmatrix} X_{2P}, Y_{2P}, 0, \frac{f_1}{D+d_1} \end{bmatrix} = \frac{f_1}{D+d_1} \begin{bmatrix} -X_0, 0, 0, 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & \sin \gamma \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ \sin \beta \cos \gamma & \sin \gamma \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Haciendo explícitas las formas matriciales y restando la Ec. (11) de la Ec. (10) miembro a miembro, obtenemos el par de ecuaciones

$$\begin{cases} X_{1P} - X_{2P} = \Delta X_{12P} = \frac{2f_1}{D+d_1} X_0 \cos \gamma \cos \beta \\ Y_{1P} - Y_{2P} = \Delta Y_{12P} = \frac{2f_1}{D+d_1} X_0 \operatorname{sen} \gamma \cos \beta \end{cases} \quad (12)$$

- 5 Operando sobre el par constituido por la primera fuente de luz 4a y el cuarto punto de imagen 4a" y sobre el par constituido por la segunda fuente de luz 4b y el quinto punto de imagen 4b" de una manera similar a lo que se describe, respectivamente, con referencia al par constituido por la primera fuente de luz 4a y el primer punto de imagen 4a' y al par constituido por la segunda fuente de luz 4b y el segundo punto de imagen 4b', obtenemos el par de ecuaciones

$$\begin{cases} X'_{1P} - X'_{2P} = \Delta X'_{12P} = \frac{2f_2}{D+d_2} X_0 \cos \gamma \cos \beta \\ Y'_{1P} - Y'_{2P} = \Delta Y'_{12P} = \frac{2f_2}{D+d_2} X_0 \operatorname{sen} \gamma \cos \beta \end{cases} \quad (13)$$

- 10 En la práctica, los pares de ecuaciones (12) y (13) se obtienen sobre la base, respectivamente, de las imágenes primera y segunda  $I_1$  e  $I_2$  del objetivo 2, según lo suministrado, respectivamente, por los trenes ópticos primero y segundo OT1 y OT2, que tienen distintas longitudes focales, iguales, respectivamente, a las longitudes focales primera y segunda  $f_1, f_2$  de las lentes intermedias primera y segunda 22, 24. Además, las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 están dispuestas a distintas distancias ópticas desde el objetivo 2.

Sobre la base de los dos pares de ecuaciones (12) y (13), es por tanto posible obtener

$$\begin{aligned} \gamma &= \arctan \left( \frac{\Delta Y_{12P}}{\Delta X_{12P}} \right) \\ D &= \frac{f_1 d_2 \Delta X'_{12P} - f_2 d_1 \Delta X_{12P}}{f_1 \Delta X_{12P} - f_2 \Delta X'_{12P}} \quad (14) \\ \beta &= \ar \cos \left( \frac{\Delta X_{12P} (D + d_1)}{2 f_1 X_0 \cos \left( a \tan \left( \frac{\Delta Y_{12P}}{\Delta X_{12P}} \right) \right)} \right) \end{aligned}$$

- 15 Una vez que se conocen los ángulos  $\gamma, \beta$  y la distancia  $D$ , los desplazamientos  $\Delta x, \Delta y$  pueden ser determinados sobre la base del siguiente par de ecuaciones

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta X_{12P} - \frac{f_1}{D+d_1} X_0 \cos \gamma \cos \beta \\ \Delta y &= \Delta Y_{12P} - \frac{f_1}{D+d_1} X_0 \operatorname{sen} \gamma \cos \beta \end{aligned} \quad (15)$$

- 20 Finalmente, el ángulo  $\theta$  puede ser determinado aplicando la Ec. (9) con referencia a la tercera fuente de luz 4c y al tercer punto de imagen 4c', así como sobre la base de los ángulos  $\gamma, \beta$  y de los desplazamientos  $\Delta x, \Delta y$  recién determinados. En particular, aplicando la Ec. (9) con referencia a la tercera fuente de luz 4c y al tercer punto de imagen 4c', obtenemos

$$\left[ X_{3P}, Y_{3P}, 0, \frac{f_1}{D+d_1} \right] = \frac{f_1}{D+d_1} [0, Y_0, 0, 1] \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \beta & \operatorname{sen} \gamma \cos \beta & -\operatorname{sen} \beta & 0 \\ \operatorname{sen} \vartheta \operatorname{sen} \beta \cos \gamma - \operatorname{sen} \gamma \cos \vartheta & \operatorname{sen} \gamma \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \vartheta + \cos \gamma \cos \vartheta & \operatorname{sen} \vartheta \cos \beta & 0 \\ \cos \vartheta \operatorname{sen} \beta \cos \gamma + \operatorname{sen} \gamma \operatorname{sen} \vartheta & \operatorname{sen} \gamma \operatorname{sen} \beta \cos \vartheta - \cos \gamma \operatorname{sen} \vartheta & \cos \vartheta \cos \beta & 0 \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Haciendo explícita la Ec. (16), obtenemos

$$\begin{cases} X_{3P} = \frac{f_1 Y_0}{D+d_1} \left( \operatorname{sen} \vartheta \operatorname{sen} \beta \cos \gamma - \operatorname{sen} \gamma \cos \vartheta + \frac{\Delta x}{Y_0} \right) \\ Y_{3P} = \frac{f_1 Y_0}{D+d_1} \left( \operatorname{sen} \vartheta \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma + \cos \gamma \cos \vartheta + \frac{\Delta y}{Y_0} \right) \end{cases} \quad (17)$$

5 El sistema trigonométrico (17) puede ser transformado en un par de ecuaciones paramétricas, imponiendo las condiciones

$$\begin{cases} m = \operatorname{sen} \vartheta \\ n = \operatorname{sen} \beta \end{cases} \quad (18)$$

y recogiendo el término conocido, adoptando las siguientes notaciones

$$\begin{aligned} a_1 &= \cot \gamma \\ a_2 &= \tan \gamma \end{aligned} \quad (19)$$

$$P(D) = \frac{f_1 Y_0}{D+d_1} \quad (20)$$

y

$$b_1 = \frac{X_{3P}}{P(D) \operatorname{sen} \gamma} - \frac{\Delta x}{Y_0 \operatorname{sen} \gamma} \quad (21)$$

$$b_2 = \frac{Y_{3P}}{P(D) \cos \gamma} - \frac{\Delta y}{Y_0 \cos \gamma}$$

10

por lo que el sistema trigonométrico (17) se convierte en

$$\begin{cases} (a_1 m n - b_1)^2 = 1 - m^2 \\ (-a_2 m n + b_2)^2 = 1 - m^2 \end{cases} \Rightarrow (a_1 m n - b_1)^2 = (-a_2 m n + b_2)^2 \Rightarrow m = \frac{b_1 + b_2}{n(a_1 + a_2)} \quad (22)$$

El ángulo  $\vartheta$  es por tanto igual a

$$\vartheta = \operatorname{arc} \operatorname{sen} \left( \frac{b_1 + b_2}{\operatorname{sen}(\beta)(a_1 + a_2)} \right) \quad (23)$$

15 Resumiendo, tenemos por tanto

$$\left\{ \begin{array}{l}
 g = \arcsen \left( \frac{\frac{X_{3P}}{P(D) \operatorname{sen} \gamma} + \frac{\Delta x}{Y_0 \operatorname{sen} \gamma} + \frac{Y_{3P}}{P(D) \cos \gamma} + \frac{\Delta y}{Y_0 \cos \gamma}}{\operatorname{sen}(\beta)(\cot a \gamma + \tan \gamma)} \right) \\
 \beta = \ar \cos \left( \frac{\Delta X_{12P}(D + d_1)}{2 f_1 X_0 \cos \left( a \tan \left( \frac{\Delta Y_{12P}}{\Delta X_{12P}} \right) \right)} \right) \\
 \gamma = \arctan \left( \frac{\Delta Y_{12P}}{\Delta X_{12P}} \right) \\
 D = \frac{f_1 d_2 \Delta X'_{12P} - f_2 d_1 \Delta X_{12P}}{f_1 \Delta X_{12P} - f_2 \Delta X'_{12P}} \\
 \Delta x = \Delta X_{12P} - \frac{f_1}{D - f_1} X_0 \cos \gamma \cos \beta \\
 \Delta y = \Delta Y_{12P} - \frac{f_1}{D - f_1} X_0 \operatorname{sen} \gamma \cos \beta
 \end{array} \right. \quad (24)$$

En la práctica, el sistema de metrología 1, de tipo bifocal, permite la determinación, de una manera analítica y no ambigua, de todos los seis grados de libertad que caracterizan la posición y la actitud del objetivo 2 con respecto a la unidad óptica 6. Esto se debe al hecho de tener disponibles dos imágenes distintas del objetivo 2, obtenidas por medio de dos sistemas ópticos (en el caso en cuestión, los trenes ópticos primero y segundo OT1 y OT2) que comparten un mismo punto de entrada de los rayos ópticos, tienen planos principales que están a distintas distancias del objetivo y tienen distintas longitudes focales. De esta manera, se forman dos imágenes distintas del objetivo 2 sobre la superficie de detección A.

En general, a fin de permitir la formación clara de las imágenes primera y segunda  $I_1, I_2$  cuando el objetivo 2 está establecido a una distancia indicada  $D_{\text{prog}}$  desde la unidad óptica 6, es posible determinar las longitudes focales primera y segunda  $f_1, f_2$  según lo descrito a continuación en la presente memoria.

A este respecto, se presupone que, dada cualquier distancia entre los satélites primero y segundo sat1 y sat2, los trenes ópticos primero y segundo OT1 y OT2 producen, en un plano hipotético que se extiende hasta el infinito y que contiene la superficie de detección A, dos imágenes distintas del objetivo 2. En particular, la imagen producida por el segundo tren óptico OT2 tiene mayores dimensiones que la producida por el primer tren óptico OT1, porque la segunda longitud focal  $f_2$  es mayor que la primera longitud focal  $f_1$  y por tanto el segundo tren óptico OT2 está caracterizado, en comparación con el primer tren óptico OT1, por una mayor ampliación.

Dicho esto, es posible determinar las longitudes focales primera y segunda  $f_1, f_2$  sobre la base del objetivo 2 y de la superficie de detección A, de modo que, cuando el objetivo 2 está a la distancia indicada  $D_{\text{prog}}$ , las imágenes primera y segunda  $I_1, I_2$  están contenidas dentro de la superficie de detección A y son claras. A este respecto, puede observarse que, dado, para mayor simplicidad del cálculo, un objetivo simplificado (no mostrado) formado por solamente dos fuentes de luz establecidas a una distancia  $O$  entre sí, la correspondiente imagen primera es ciertamente clara si ocupa al menos dos píxeles del sensor óptico 11. Con este fin, es posible imponer  $f_1 = (D_{\text{prog}} \cdot H_q) / O$ , donde  $H_q$  es igual  $2 \cdot q$  (donde  $q$  es la longitud del lado de un píxel). Dado que esta primera imagen es clara, también la correspondiente segunda imagen será clara, en cuanto a que se obtiene con un tren óptico que tiene mayor ampliación; sin embargo, la segunda longitud focal  $f_2$  debe ser tal que la segunda imagen esté contenida enteramente dentro de la superficie de detección A. Con este fin, es posible imponer  $f_2 < (D_{\text{prog}} \cdot Q) / O$ , donde  $Q$  es precisamente la longitud del lado de la superficie de detección A.

Según se muestra en la Figura 7, es además posible una realización en la que la unidad óptica 6 comprende una primera unidad óptica 42 y una segunda unidad óptica 44, cada una de las cuales está formada por un cierto número de lentes. Estrictamente a modo de ejemplo, en la realización mostrada en la Figura 7 la primera unidad óptica 42 comprende, además de la primera lente intermedia 22, una tercera lente intermedia 42a y una cuarta lente intermedia 42b, dispuesta entre las cuales está la primera lente intermedia 22. Análogamente, la segunda unidad óptica 44 comprende, además de la segunda lente intermedia 24, una quinta lente intermedia 44a y una sexta lente intermedia 44b, dispuesta entre las cuales está la segunda lente intermedia 24. En el caso en que hay las unidades ópticas primera y segunda 42, 44, como, por otra parte, en el caso en que las lentes intermedias primera y segunda

22, 24 no son delgadas, los trenes ópticos primero y segundo OT1 y OT2 tienen cada uno un respectivo par de planos principales. En este caso, según se muestra cualitativamente en la Figura 7, la primera unidad óptica 42 define, además del primer plano principal, aquí indicado por  $P_{42a}$ , un tercer plano principal  $P_{42b}$ . Análogamente, la segunda unidad óptica 44 define, además del segundo plano principal, aquí indicado por  $P_{44a}$ , un cuarto plano principal  $P_{44b}$ . Además, según se muestra una vez más en la Figura 7, los planos principales primero y segundo  $P_{42a}$ ,  $P_{44a}$  no necesariamente atraviesan los centros ópticos de las lentes intermedias primera y segunda 22, 24.

Estrictamente a modo de ejemplo, en la realización mostrada en la Figura 7 el primer plano principal  $P_{42a}$  yace entre el primer hendidore de haces ópticos 14 y la tercera lente intermedia 42a, mientras que el segundo plano principal  $P_{44a}$  yace entre el primer elemento reflectante 18 y la quinta lente intermedia 44a. Además, el tercer plano principal  $P_{42b}$  yace entre la cuarta lente intermedia 42b y el segundo hendidore de haces ópticos 16, mientras que el cuarto plano principal  $P_{44b}$  yace entre la sexta lente intermedia 44b y el segundo elemento reflectante 20.

En la práctica, los planos principales primero y tercero  $P_{42a}$ ,  $P_{42b}$  forman, respectivamente, el plano principal frontal y el plano principal trasero de la primera unidad óptica 42, mientras que los planos principales segundo y cuarto  $P_{44a}$ ,  $P_{44b}$  forman, respectivamente, el plano principal frontal y el plano principal trasero de la segunda unidad óptica 44.

De una manera conocida en sí misma, cada una entre las unidades ópticas primera y segunda 42, 44 tiene, además, una denominada longitud focal efectiva frontal y una longitud focal efectiva trasera.

Si las longitudes focales efectivas traseras de las unidades ópticas primera y segunda 42, 44 son respectivamente mencionadas como "longitudes focales equivalentes primera y segunda  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ " y si  $d_3$  y  $d_4$  son las distancias de los planos principales tercero y cuarto  $P_{42b}$ ,  $P_{44b}$  desde el sensor opto-electrónico 10, las últimas pueden ser aproximadamente iguales, respectivamente, a las longitudes focales equivalentes primera y segunda  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ .

En más detalle, es nuevamente posible indicar con  $d_1$  y  $d_2$  las distancias de los planos principales primero y segundo  $P_{42a}$ ,  $P_{44a}$  desde el primer hendidore de haces ópticos 14. Además, las distancias primera y tercera  $d_1$ ,  $d_3$  son medidas una vez más a lo largo del primer trayecto óptico, mientras que las distancias segunda y cuarta  $d_2$  y  $d_4$  son medidas una vez más a lo largo del segundo trayecto óptico. Dicho esto, en el caso de la realización ilustrada en la Figura 7, las Ec. (10 a 24) se modifican en consecuencia, reemplazando las longitudes focales primera y segunda  $f_1$ ,  $f_2$ , respectivamente, con las longitudes focales equivalentes primera y segunda  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ , sin ninguna decadencia de los niveles de prestaciones de la unidad óptica 6. Además, la presencia de las unidades ópticas primera y segunda 42, 44 permite una mejora de la inmunidad de la unidad óptica 6 ante fenómenos ópticos tales como, por ejemplo, la aberración.

Además, son posibles ejemplos, no abarcados por las reivindicaciones, en los cuales el sensor opto-electrónico 10 comprende una superficie de detección adicional, por ejemplo, igual a la superficie de detección A y donde el segundo trayecto óptico termina sobre esta superficie de detección adicional, en lugar de sobre la superficie de detección A. En este caso, la segunda imagen  $I_2$  del objetivo 2 está formada sobre la superficie de detección adicional.

Realizaciones aun distintas son además posibles, donde el objetivo tiene un número  $N_s$  de fuentes de luz, con  $N_s$  distinto a tres y donde la unidad óptica 6 está dotada de trenes ópticos adicionales, de tal modo que está diseñada para formar, sobre la superficie de detección A, un número  $N_l$  de imágenes, donde  $N_l$  es el número total de trenes ópticos presentes en la unidad óptica 6. Por ejemplo, podemos tener  $N_s = 2$  y  $N_l = 3$ . De hecho, aumentando el número de imágenes, es posible reducir el número de fuentes de luz del objetivo, sin prescindir de la determinación de ninguna de las cantidades anteriormente mencionadas. Es además posible que la unidad de procesamiento electrónico 30 determine cantidades distintas a los ángulos  $\theta$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , la distancia D y los desplazamientos  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , tales como, por ejemplo, cantidades referidas a sistemas de referencia no cartesianos, o bien un subconjunto de estas cantidades.

Además, según se muestra en la Figura 8, el presente sistema de metrología puede ser usado dentro de un sistema de satélite 60 que incluye los satélites primero y segundo sat1, sat2 y donde el segundo satélite sat2 aloja un sistema para controlar la actitud y la posición 62, electrónicamente acoplado con la unidad de procesamiento 30. El sistema de control de actitud y posición 62 recibe por tanto las cantidades que, en su momento, son determinadas por la unidad de procesamiento electrónico 30, iterando las operaciones descritas previamente. El sistema de control de actitud y posición 62 puede, por tanto, funcionar, de una manera conocida en sí misma, sobre la base de las cantidades proporcionadas por la unidad de procesamiento electrónico 30.

Las ventajas que el presente sistema de metrología 1 ofrece surgen claramente de la descripción precedente. En particular, permite una determinación analítica y no ambigua de todos los seis grados de libertad que caracterizan la posición y la actitud del objetivo 2 con respecto a la unidad óptica 6, usando un objetivo que tiene un número limitado de fuentes de luz. Además, dado que tanto el primer trayecto óptico como el segundo trayecto óptico comienzan en un mismo punto, es decir, en una posición correspondiente al diafragma 12, no se crean fenómenos de visión estereoscópica.

Finalmente, es evidente que pueden hacerse modificaciones y variaciones para el sistema de metrología 1 descrito en la presente memoria, sin apartarse por ello del ámbito de la presente invención, según se reivindica.

Por ejemplo, en lugar del diafragma 12, puede estar presente una lente de entrada. Además, las lentes intermedias primera y segunda 22, 24 pueden ser de un tipo distinto a lo que se ha descrito.

Los hendidores de haces ópticos primero y segundo 14, 16 pueden estar formados por prismas correspondientes, o bien pueden ser de cualquier tipo conocido.

- 5 Nuevamente, las fuentes de luz del objetivo pueden ser dispuestas en los vértices de un triángulo escaleno y / o pueden ser distintas a lo que se ha descrito. Por ejemplo, las fuentes de luz pueden ser pasivas, comprendiendo cada una un espejo, por ejemplo, del tipo denominado "cubo de esquina". En este caso, la unidad óptica 6 comprende además un iluminador diseñado para iluminar el objetivo de modo tal que los espejos que forman las fuentes de luz reflejen la radiación hacia la misma unidad óptica 6.
- 10 Finalmente, según lo mencionado anteriormente, el sistema de metrología 1 puede hallar usos en sectores distintos al sector aeroespacial. Por ejemplo, el objetivo 2 puede estar montado sobre un primer objeto, mientras que la unidad óptica 6 puede estar montada sobre un segundo objeto, estando los objetos primero y segundo mecánicamente acoplados de manera tal que el sistema de metrología permita la determinación de la localización mutua de los objetos primero y segundo. Por ejemplo, dichos objetos primero y segundo pueden ser dos elementos distintos de un telescopio, mecánicamente conectados entre sí.
- 15

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de metrología óptica proyectiva (1) que comprende:

- un objetivo luminoso (2) que comprende una pluralidad de fuentes de luz (4a a 4c) con una disposición espacial prefijada;

5 - un sensor de imágenes opto-electrónico (10);

- una unidad óptica (6) configurada para recibir una señal lumínica ( $R_1$ ,  $R_2$ ) procedente del objetivo luminoso y para definir dos trayectos ópticos distintos para la señal lumínica hacia el sensor de imágenes opto-electrónico, siendo los dos trayectos ópticos tales como para provocar la formación simultánea en el sensor de imágenes opto-electrónico de al menos dos imágenes ( $l_1$ ,  $l_2$ ) del objetivo luminoso;

10 en el que la unidad óptica (6) comprende además un elemento óptico receptor (12) configurado para recibir la señal lumínica ( $R_1$ ,  $R_2$ ) procedente del objetivo luminoso (2); y en el que ambos trayectos ópticos se extienden hacia el sensor de imágenes opto-electrónico (10) a partir del elemento óptico receptor;

comprendiendo además la unidad óptica:

15 - un primer circuito óptico (OT1) que tiene un primer plano principal frontal ( $P_1$ ;  $P_{42a}$ ), un primer plano principal trasero ( $P_1$ ;  $P_{42b}$ ) y una primera longitud focal efectiva trasera ( $f_1$ ;  $f_{e1}$ ) y que define un primer trayecto óptico de dichos dos trayectos ópticos;

- un segundo circuito óptico (OT2) que tiene un segundo plano principal frontal ( $P_2$ ;  $P_{44a}$ ), un segundo plano principal trasero ( $P_2$ ;  $P_{44b}$ ) y una segunda longitud focal efectiva trasera ( $f_2$ ;  $f_{e2}$ ) y que define un segundo trayecto óptico de dichos dos trayectos ópticos;

20 y en el que los planos principales frontales primero y segundo están separados del elemento óptico receptor (12), respectivamente, por una primera distancia ( $d_c + d_1$ ) y una segunda distancia ( $d_c + d_2$ ), distintas entre sí y medidas, respectivamente, a lo largo de los trayectos ópticos primero y segundo; y en el que los planos principales traseros primero y segundo están separados del sensor de imágenes opto-electrónico (10), respectivamente, por una tercera distancia ( $d_3$ ) y una cuarta distancia ( $d_4$ ), siendo medidas dichas distancias tercera y cuarta, respectivamente, a lo  
 25 largo de los trayectos ópticos primero y segundo y siendo, respectivamente, una función de las longitudes focales efectivas traseras primera y segunda ( $f_1$ ,  $f_2$ ;  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ ); y en el que el sensor opto-electrónico (10) comprende una superficie de detección (A) y en el que el objetivo luminoso (2), la superficie de detección y las longitudes focales efectivas traseras primera y segunda ( $f_1$ ,  $f_2$ ;  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ ) son tales que, cuando el objetivo luminoso se establece a una primera distancia ( $D_{prog}$ ) de la unidad óptica (6), ambas imágenes ( $l_1$ ,  $l_2$ ) están contenidas dentro de la superficie de  
 30 detección;

- comprendiendo además el sistema de metrología óptica proyectiva una unidad de procesamiento electrónico (3) acoplada con el sensor de imágenes opto-electrónico y configurada para determinar, para cada una de dichas dos imágenes, un número de máximos de intensidad lumínica, igual al número de fuentes de luz del objetivo luminoso y para determinar, sobre la base de la posición de dichos números de máximos para dichas dos imágenes, una pluralidad de distintas cantidades, que indican la posición y la actitud del objetivo luminoso con respecto a la unidad  
 35 óptica.

2. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las distancias tercera y cuarta ( $d_3$ ,  $d_4$ ) son esencialmente iguales, respectivamente, a las longitudes focales efectivas traseras primera y segunda ( $f_1$ ,  $f_2$ ;  $f_{e1}$ ,  $f_{e2}$ ).

3. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los circuitos ópticos primero y segundo (OT1, OT2) están además configurados tal como para generar, a partir de la señal lumínica recibida por el elemento óptico receptor (12), un primer haz óptico ( $R_1$ ) y un segundo haz óptico ( $R_1$ ,  $R_2$ ) y dirigir hacia el sensor de imágenes opto-electrónico (10) dichos haces ópticos primero y segundo, respectivamente, a lo largo de los trayectos ópticos primero y segundo, estando además los circuitos ópticos primero y segundo configurados de modo que los haces ópticos primero y segundo impacten sobre el sensor de imágenes opto-  
 45 electrónico en una misma dirección de incidencia (OA).

4. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el primer circuito óptico (OT1) comprende el elemento óptico receptor (12) y un primer hendidore de haces ópticos (14) y un segundo hendidore de haces ópticos (16), comprendiendo el segundo circuito óptico (OT2) el elemento óptico receptor, los hendidores de haces ópticos primero y segundo y un primer elemento reflectante (18) y un segundo elemento reflectante (20); y en el que el primer hendidore de haces ópticos está configurado tal como para dividir la señal lumínica recibida por el elemento óptico receptor en el primer haz óptico ( $R_1$ ) y el segundo haz óptico ( $R_2$ ), estando el primer hendidore de haces ópticos configurado además para dirigir los haces ópticos primero y segundo, respectivamente, hacia el segundo hendidore de haces ópticos y el primer elemento reflectante; y en el que los elementos reflectantes primero y segundo están configurados para recibir el segundo haz óptico y dirigir el segundo haz óptico hacia el segundo hendidore de

haces ópticos, que está configurado para dirigir tanto el primer haz óptico como el segundo haz óptico hacia el sensor de imágenes opto-electrónico (10), en la dirección de incidencia (OA).

5. El sistema de metrología de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la unidad de procesamiento electrónico (30) está configurada para determinar, para cada máximo de intensidad lumínica determinado, un correspondiente trío de coordenadas que identifica la posición del máximo de intensidad lumínica en un sistema de referencia ( $x_2, y_2, z_2$ ) fijado con respecto a la superficie de detección (A), estando cada trío de coordenadas formado por unas correspondientes primera coordenada, segunda coordenada y tercera coordenada, estando la unidad de procesamiento electrónico configurada además para determinar dicha pluralidad de distintas cantidades sobre la base de los tríos de coordenadas determinados.
- 10 6. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el objetivo luminoso (2) comprende una primera fuente de luz (4a), una segunda fuente de luz (4b) y una tercera fuente de luz (4c), de modo tal que una primera imagen de dichas dos imágenes esté formada por un primer punto de imagen (4a'), un segundo punto de imagen (4b') y un tercer punto de imagen (4c') y una segunda imagen entre dichas dos imágenes esté formada por un cuarto punto de imagen (4a''), un quinto punto de imagen (4b'') y un sexto punto de imagen (4c''), correspondiendo dichos puntos de imagen primero y cuarto a dicha primera fuente de luz, correspondiendo dichos puntos de imagen segundo y quinto a dicha segunda fuente de luz y correspondiendo dichos puntos de imagen tercero y sexto a dicha tercera fuente de luz; y en el que la unidad de procesamiento electrónico (30) está configurada para:
- 15 - determinar una primera diferencia ( $\Delta X_{12P}$ ) entre la primera coordenada ( $X_{1P}$ ) del primer punto de imagen y la primera coordenada ( $X_{2P}$ ) del segundo punto de imagen;
- determinar una segunda diferencia ( $\Delta Y_{12P}$ ) entre la segunda coordenada ( $Y_{1P}$ ) del primer punto de imagen y la segunda coordenada ( $Y_{2P}$ ) del segundo punto de imagen;
- determinar una tercera diferencia ( $\Delta X'_{12P}$ ) entre la primera coordenada ( $X'_{1P}$ ) del cuarto punto de imagen y la primera coordenada ( $X'_{2P}$ ) del quinto punto de imagen;
- 25 - determinar un primer ángulo ( $\gamma$ ) como función de dichas diferencias primera y segunda;
- determinar una cantidad espacial (D) que indica la distancia de dicho objetivo luminoso (2) desde dicha unidad óptica (6), como función de la primera diferencia, de la tercera diferencia, de dichas longitudes focales efectivas traseras primera y segunda ( $f_1, f_2; f_{e1}, f_{e2}$ ) y de dichas distancias primera y segunda ( $d_c + d_1, d_c + d_2$ ); y
- determinar un segundo ángulo ( $\beta$ ) como función de dichas diferencias primera y segunda, de dicha primera longitud focal efectiva trasera ( $f_1; f_{e1}$ ), de dicha primera distancia ( $d_c + d_1$ ) y de dicha cantidad espacial, indicando dichos ángulos primero y segundo roto-traslaciones correspondientes de un sistema de referencia ( $x_1, y_1, z_1$ ) fijado con respecto a dicho objetivo luminoso con respecto al sistema de referencia ( $x_2, y_2, z_2$ ) fijado para la superficie de detección.
- 30 7. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 6, en el que dicha unidad de procesamiento electrónico (30) está además configurada para:
- 35 - determinar un primer desplazamiento ( $\Delta x$ ) como función de dicha primera diferencia ( $\Delta X_{12P}$ ), de dicha primera longitud focal efectiva trasera ( $f_1; f_{e1}$ ), de dicha primera distancia ( $d_c + d_1$ ), de dicha cantidad espacial (D) y de dichos ángulos primero y segundo ( $\gamma, \beta$ );
- determinar un segundo desplazamiento ( $\Delta y$ ) como función de dicha segunda diferencia ( $\Delta Y_{12P}$ ), de dicha primera longitud focal efectiva trasera ( $f_1; f_{e1}$ ), de dicha primera distancia ( $d_c + d_1$ ), de dicha cantidad espacial (D) y de dichos ángulos primero y segundo ( $\gamma, \beta$ );
- 40 y en el que dichos desplazamientos primero y segundo indican roto-traslaciones de dicho sistema de referencia ( $x_1, y_1, z_1$ ) fijado para dicho objetivo luminoso con respecto al sistema de referencia ( $x_2, y_2, z_2$ ) fijado para la superficie de detección.
- 45 8. El sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicha unidad de procesamiento electrónico (30) está además configurada para:
- 50 - determinar un tercer ángulo ( $\theta$ ) como función de las coordenadas primera y segunda del tercer punto de imagen (4c'), de dicha primera longitud focal efectiva trasera ( $f_1; f_{e1}$ ), de dicha primera distancia ( $d_c + d_1$ ), de dicha cantidad espacial (D), de dichos desplazamientos primero y segundo ( $\Delta x, \Delta y$ ) y de dichos ángulos primero y segundo ( $\gamma, \beta$ ), indicando dicho tercer ángulo una correspondiente roto-traslación del sistema de referencia ( $x_2, y_2, z_2$ ) fijado para la superficie de detección (A) con respecto a dicho sistema de referencia ( $x_1, y_1, z_1$ ) fijado para dicho objetivo luminoso (2).

9. Un sistema de satélites que comprende un primer satélite (sat1) y un segundo satélite (sat1) y un sistema de metrología (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el objetivo luminoso (2) y la unidad óptica (6) están limitados, respectivamente, al primer satélite y al segundo satélite; y que comprende adicionalmente un sistema de control de actitud y de posición (62) limitado al segundo satélite y configurado para recibir dicha pluralidad de distintas cantidades desde la unidad de procesamiento electrónico (30).
- 5

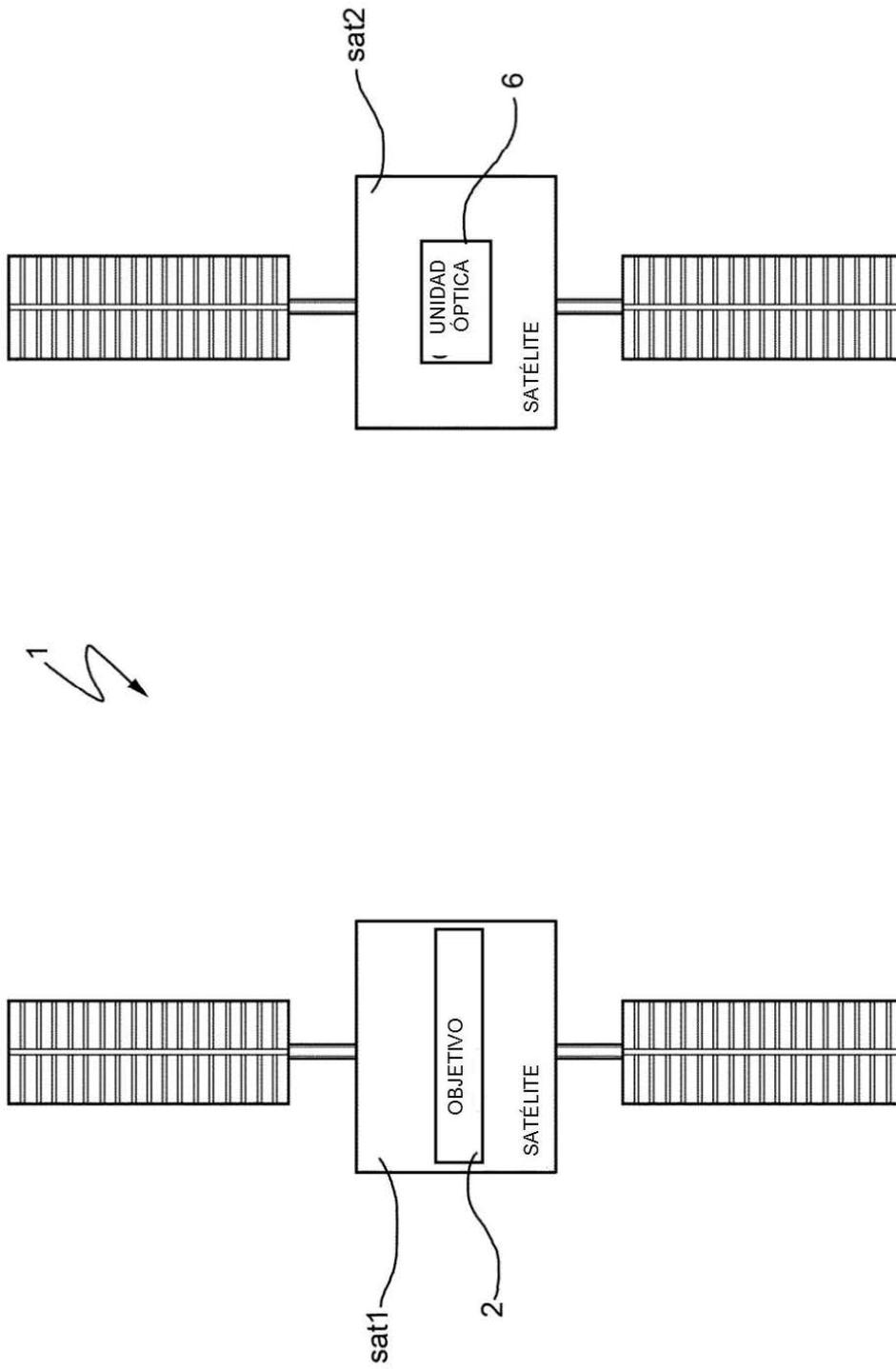


FIG. 1

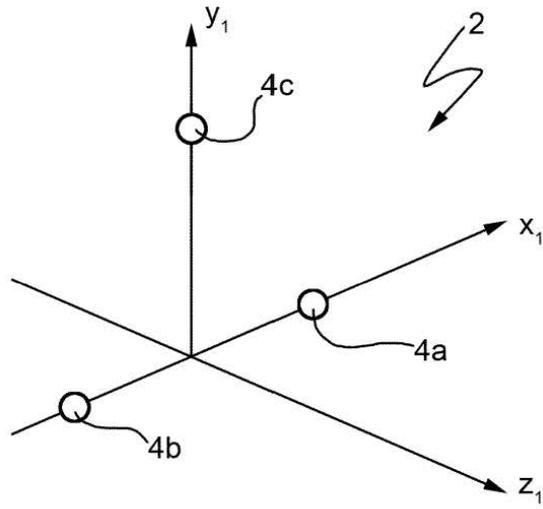


FIG. 2

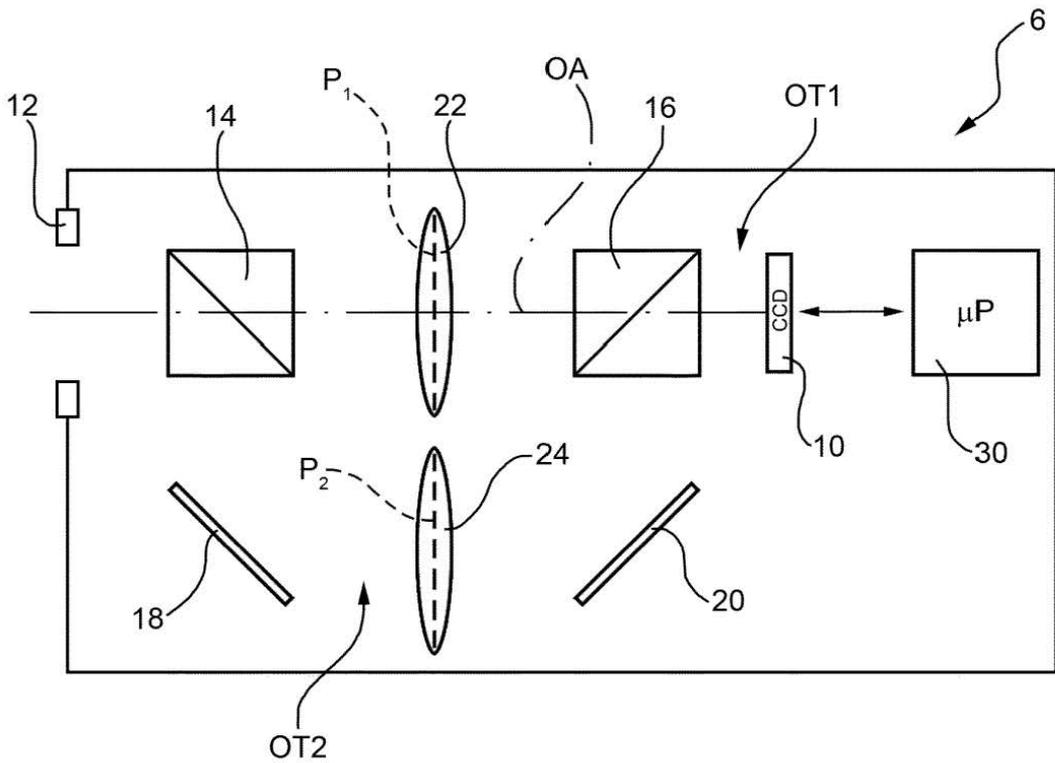


FIG. 3

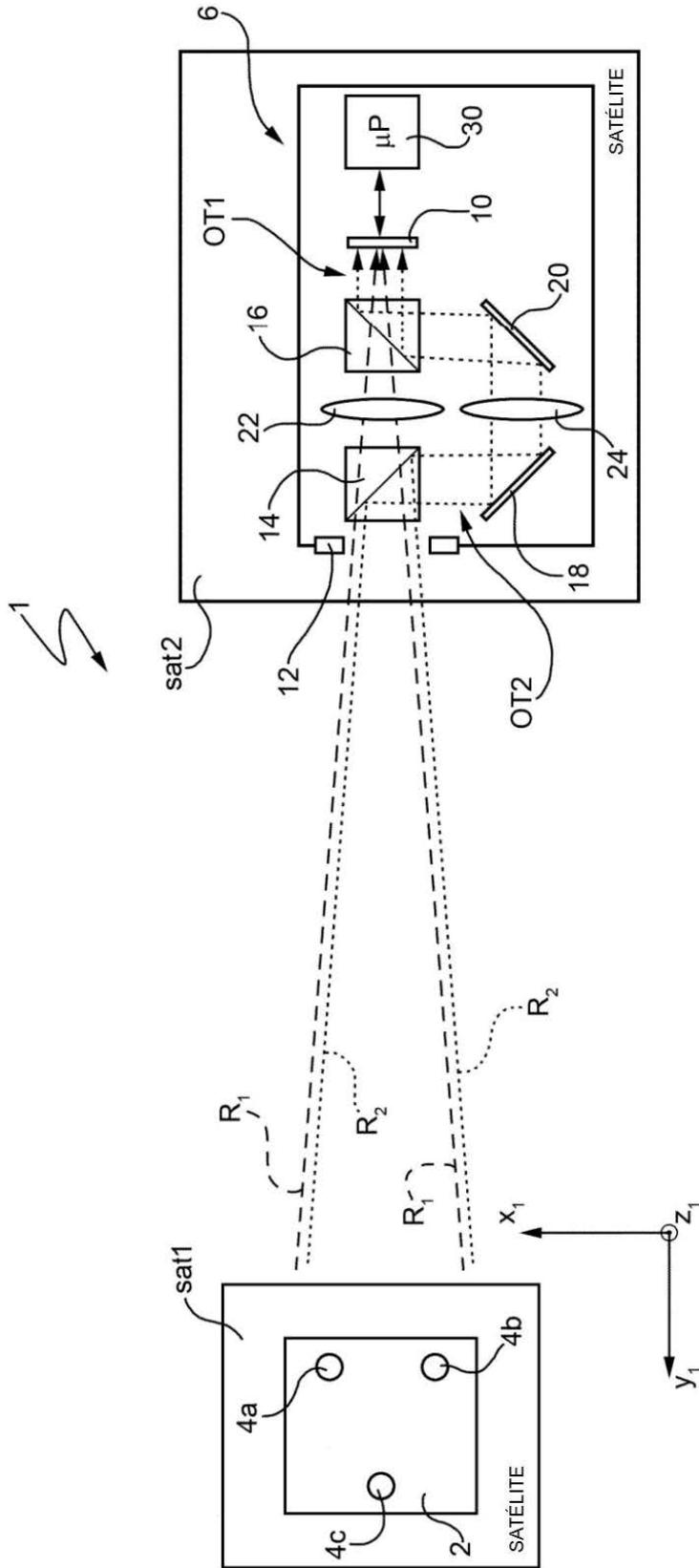


FIG. 4

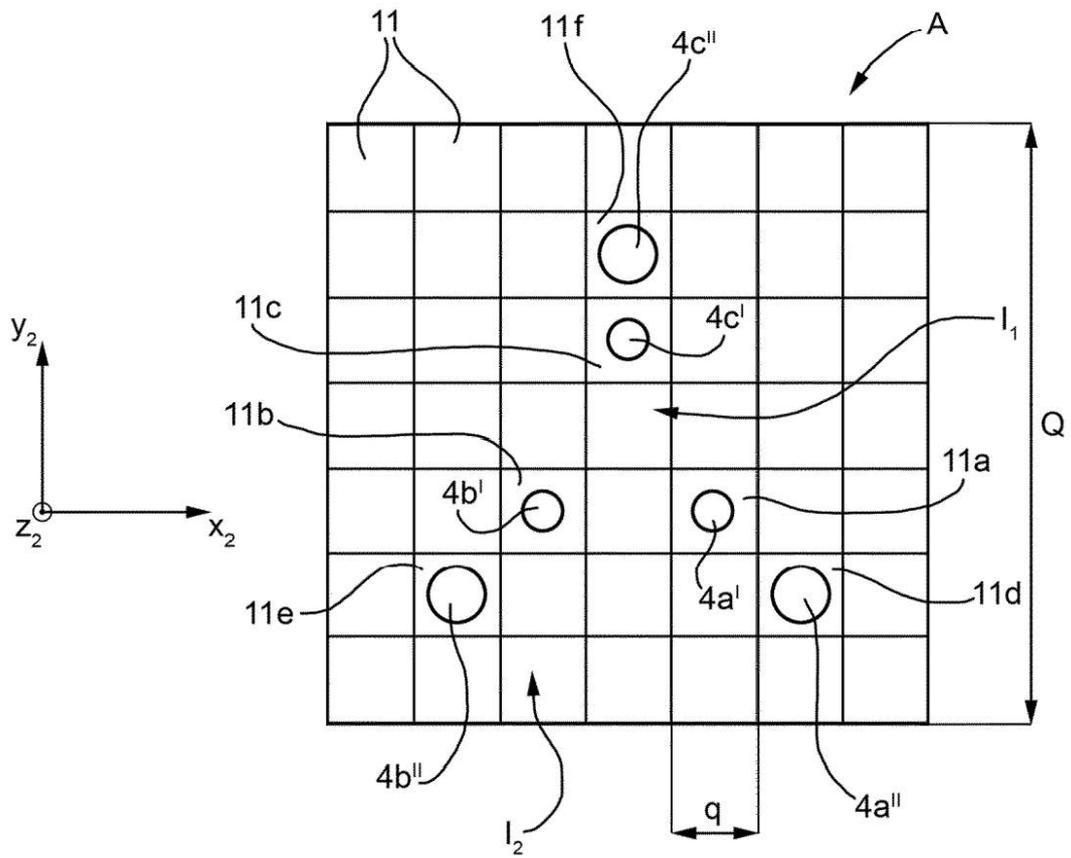


FIG. 5

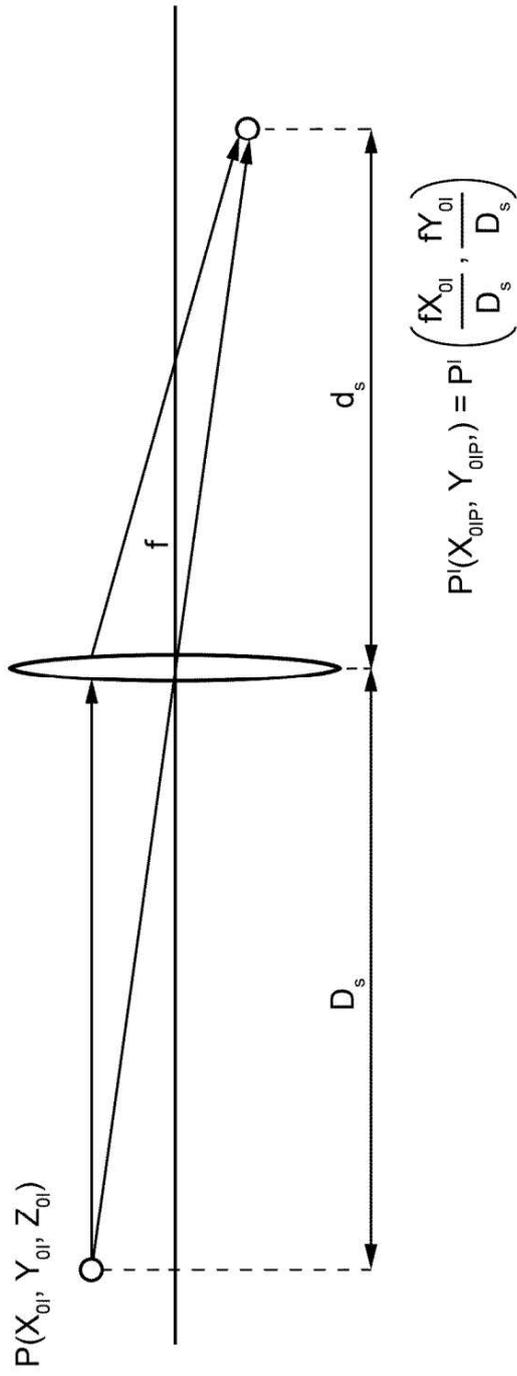


FIG. 6

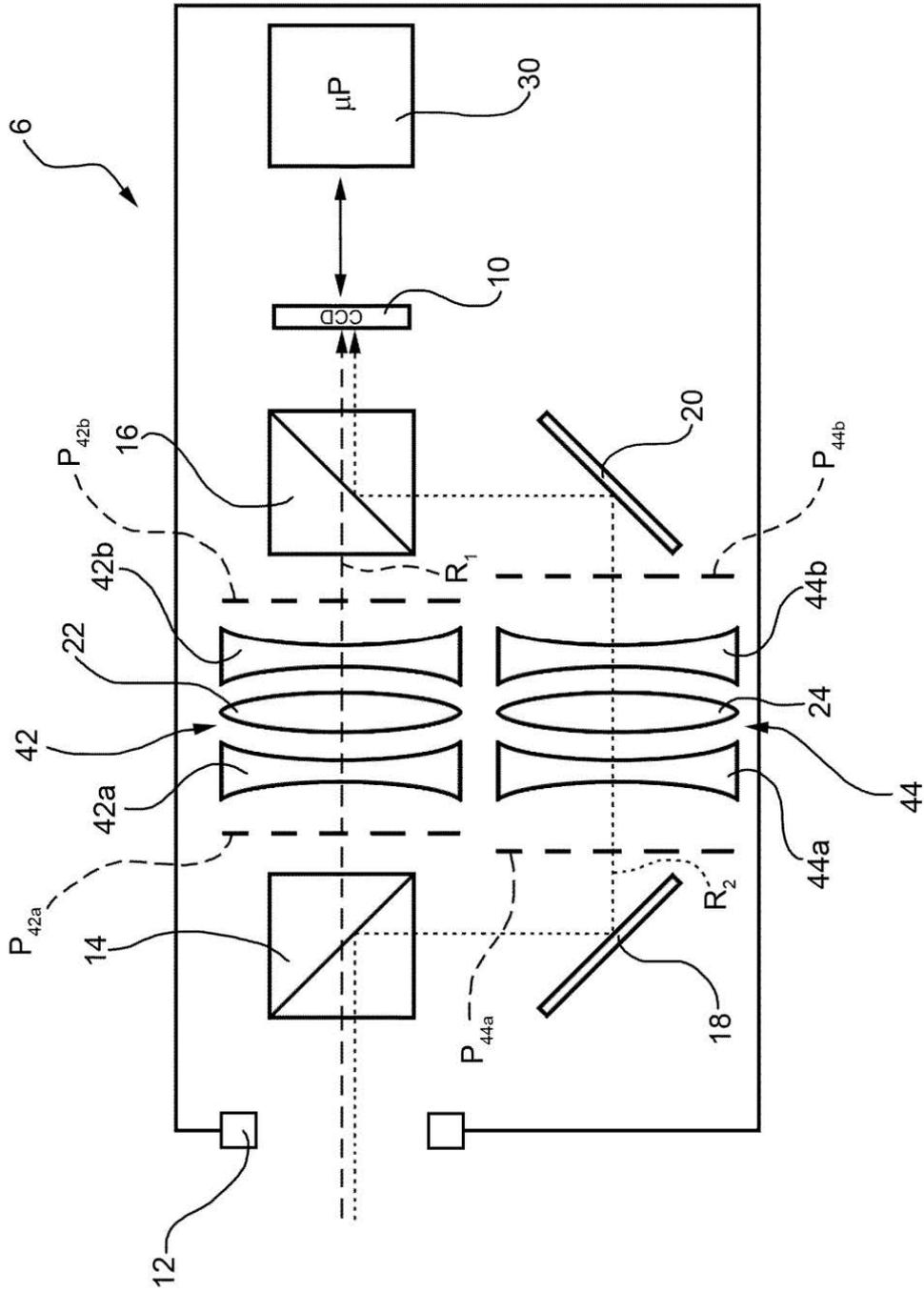


FIG. 7

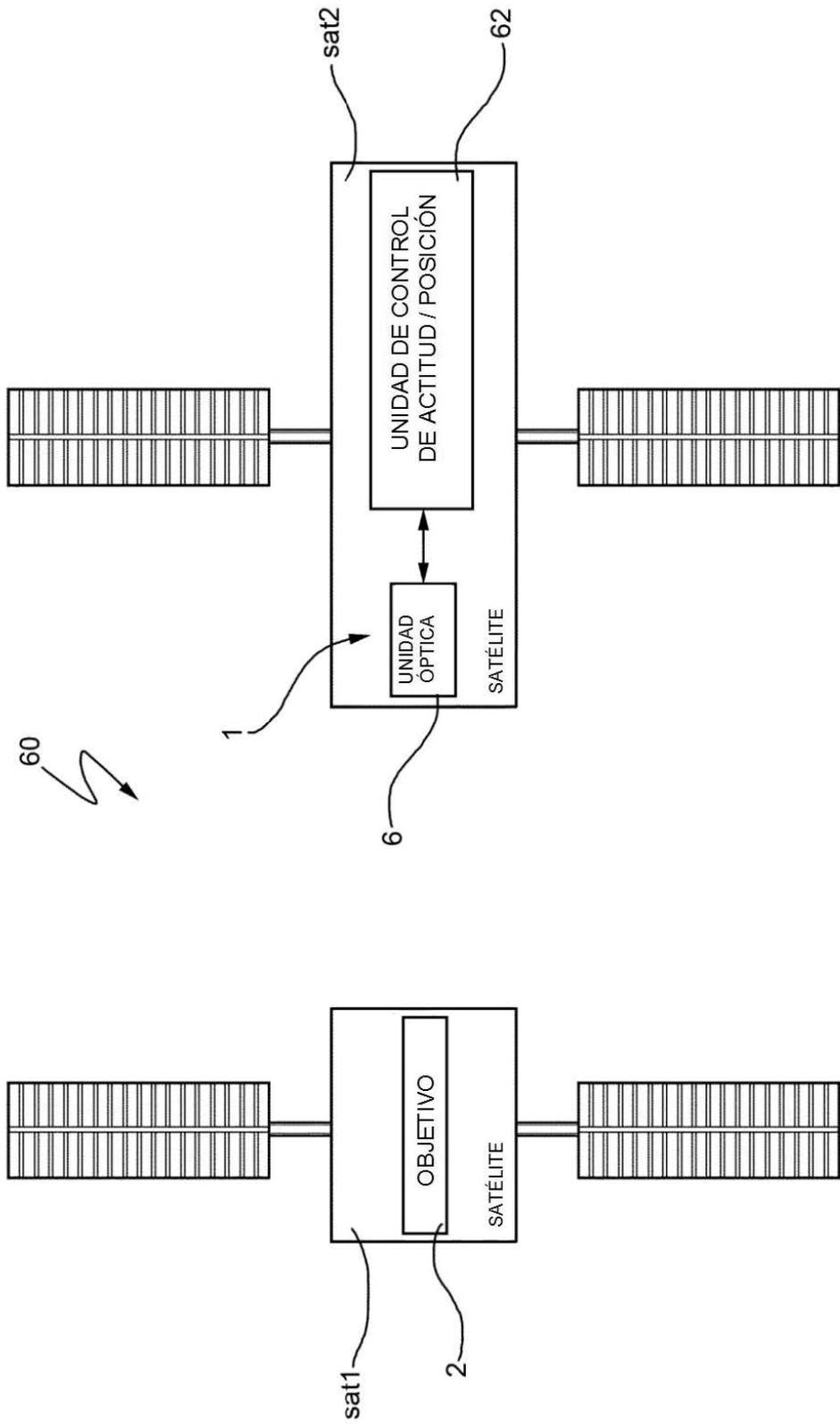


FIG. 8