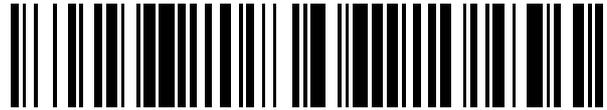


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 968**

51 Int. Cl.:

**H04N 5/33** (2006.01)

**G02B 13/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2009 E 09720047 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016 EP 2248338**

54 Título: **Dispositivo óptico mixto de formación de imágenes multifocal y de calibración IR**

30 Prioridad:

**04.03.2008 FR 0801184**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.04.2016**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade  
Nord  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**FORESTIER, BERTRAND y  
PAYOT, ETIENNE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 566 968 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**

Dispositivo óptico mixto de formación de imágenes multifocal y de calibración IR

5 El campo de la invención es el de la calibración de los dispositivos de formación de imágenes IR (infrarrojas) multifocales que utilizan detectores matriciales. Se entiende por calibración la corrección de las no uniformidades en la imagen. La invención se aplica en particular a las cámaras de formación de imágenes térmicas destinadas a la detección, el reconocimiento y la identificación de objetos lejanos.

10 Los detectores matriciales que utilizan múltiples sensores elementales emiten una señal de vídeo representativa de la escena observada. Esta señal de vídeo se forma mediante la transferencia y la multiplexación de cargas liberadas por los sensores en función de la iluminancia recibida por cada sensor, por medio de dispositivos electrónicos conocidos de tipo con acoplamiento o con transferencia de cargas. La cantidad de cargas transferidas depende también del tiempo de integración de las cargas. En formación de imágenes IR, el detector y el dispositivo con transferencia de cargas están dispuestos en un recinto criostático enfriado mediante unos sistemas que funcionan según unas técnicas conocidas.

15 Por regla general, una imagen consta de una escena (estructurada) sobre un fondo uniforme (por lo tanto desestructurado) y la señal de vídeo consta por tanto de una componente continua función de la luminancia del fondo y una componente variable que representa la escena. La componente continua tiene por lo general un valor relativo importante con respecto a la componente variable que representa la escena. Por ejemplo, en las bandas de 3 a 5 µm o de 8 a 12 µm, una diferencia de temperatura entre la escena y el fondo igual a un grado Celsius se traduce tradicionalmente en una variación de algunos % de la señal de vídeo con respecto a la componente continua.

20 Los dispositivos de formación de imágenes que utilizan detectores matriciales y, de manera más particular, los dispositivos de formación de imágenes IR están sometidos a las siguientes limitaciones:

- 25 - por una parte, el contraste de los objetos es bajo: para un intervalo de temperatura de 1 °C, es como acabamos de ver de algunos % mientras que en formación de imágenes IR el interés está en diferencias de temperatura del orden de 1/10 °C;
- por otra parte, los diferentes sensores elementales de un detector matricial no tienen por lo general la misma respuesta, y estas respuestas no son perfectamente estables a lo largo del tiempo: en efecto, durante el análisis de un fondo uniforme, las respuestas dispersadas de los sensores reproducen las variaciones intrínsecas de los sensores y constituyen una señal inestable a lo largo del tiempo que consta de un ruido superpuesto a una
- 30 - por último, el flujo de estructura del dispositivo de formación de imágenes visto por cada sensor, ya sea directo (por emisividad del "conducto" óptico) o ya sea visto por reflexión parásita en los dioptrios de la combinación óptica (efecto Narciso), varía en función de las fluctuaciones espaciales y temporales de la temperatura interna de la cámara. Este flujo parásito se superpone al flujo útil, y de este modo falsea la percepción de la escena.

35 Se considera un detector matricial que comprende unos sensores (i, j) distribuidos en I líneas y J columnas, siendo  $1 \leq i \leq I$ ,  $1 \leq j \leq J$ . Hay que recordar que en una primera aproximación, la salida  $Y_{ij}$  de cada sensor (i, j) del detector matricial IR es lineal en función del flujo F recibido (suma del flujo de escena y del flujo de estructura):  $Y_{ij} = O_{ij} + G_{ij} \times F$ . El término  $O_{ij}$ , habitualmente llamado "offset", representa la corriente de oscuridad del sensor elemental y  $G_{ij}$  representa la ganancia del sensor.

40 Por lo general, se realiza una pre-calibración en fábrica, colocando el equipo frente a un cuerpo negro uniforme y haciendo que varíe la temperatura de este; esto permite calcular para cada sensor elemental las correcciones de ganancia y de "offset" que permiten reconstituir una imagen perfectamente uniforme. Estas tablas de corrección tienen en cuenta los defectos propios del detector y las no uniformidades del flujo de estructura en las condiciones de calibración, y dejan de ser pertinentes en cuanto las condiciones de temperatura en el equipo se alejan demasiado de las condiciones de calibración. Se entiende que, en última instancia, sea necesario aportar regularmente unas correcciones a los "offsets" de los sensores elementales durante la utilización práctica del equipo.

45 Un principio eficaz de corrección consiste en sustituir periódicamente en el flujo procedente de la escena -por esencia estructurada- un flujo de referencia espacialmente desestructurado (de manera ideal uniforme) y representativo del nivel medio en la escena; en estas condiciones, se pueden medir las variaciones parásitas de la señal causadas por el detector y por el flujo de estructura, y por lo tanto reconstruir tras la sustracción una imagen fiel de la escena.

50 Una técnica clásica de calibración consiste en presentar al detector el flujo luminoso procedente de un cuerpo negro cuya temperatura está ajustada a la temperatura media de la escena observada por medio de un bucle de control; el cuerpo negro está colocado en el trayecto óptico por medio de un conmutador opto-mecánico específico, por ejemplo un espejo basculante. Este sistema de cuerpo negro controlado en temperatura es complicado, en particular cuando su temperatura es mucho más fría que la de la cámara: esto plantea numerosos problemas ligados a la condensación sobre el cuerpo negro, a la rapidez de respuesta del bucle de control, al control y a la medición diferencial de la temperatura, etc. Por otra parte, para garantizar una calibración de calidad, hay que llevar al cuerpo

negro a una temperatura precisa, y cuando el cuerpo negro no se puede colocar inmediatamente junto a un plano pupilar es necesario suprimir los gradientes térmicos a lo largo de la superficie emisora cuya emisividad se debe conocer y controlar.

5 De forma similar, la utilización de un obturador ("shutter" en inglés) que obtura la vía óptica permite realizar una función de calibración con un rendimiento menor, pero liberándose de la limitación de integración de un cuerpo negro de referencia.

En la patente EP 1 156 672 se describe otro dispositivo, que se refiere a los sistemas ópticos de formación de imágenes IR multicampo: esta vez, por medio de un dispositivo adicional, se insertan en el trayecto óptico unos componentes ópticos específicos para la calibración.

10 En todos estos casos se utiliza para calibrar una cámara IR, un mecanismo adicional específico para la función, lo que aumenta el coste, el volumen y la masa del equipo.

15 En la patente EP 0 610 635 se describe otro dispositivo, que se refiere a los sistemas ópticos de formación de imágenes monofocales (p. ej. monocampo): se trata de un dispositivo mixto de formación de imágenes y de calibración que permite conservar en el modo calibración el mismo campo de vista que en el modo formación de imágenes, colocando simultáneamente la escena observada en un plano pupilar. Esto significa que en el modo calibración, se está en la situación ideal en la que el flujo externo está totalmente desenfocado y procede de los mismos puntos del campo que en el modo formación de imágenes; dicho de otro modo el flujo de escena en modo calibración es estrictamente el mismo que en el modo formación de imágenes, y totalmente desestructurado. Desde un punto de vista óptico esto es muy limitante, y la doble condición "escena con pupila y campo idéntico" solo se puede considerar para un sistema monocampo.

20 Se proponen otras técnicas de calibración, pero a costa de limitaciones operativas muy restrictivas. De este modo, para pasar al modo calibración, algunos fabricantes aconsejan al usuario que apunte una escena muy cercana, como por ejemplo el suelo en la vertical del dispositivo de formación de imágenes, focalizándose la cámara en el infinito; o bien recomiendan la utilización de una máscara opaca que oculta el cabezal óptico, considerado cercano a la pupila de entrada, con el fin de presentar en cada pixel un flujo desenfocado pero cuya temperatura no es obligatoriamente próxima a la temperatura media de escena.

En estos dos últimos casos, hay que señalar que durante la calibración, el usuario pierde de hecho su línea de visión de formación de imágenes, lo que no resulta satisfactorio desde un punto de vista operativo.

30 El objetivo de la invención es obtener un dispositivo de formación de imágenes IR multifocal calibrado que no presenta ni un sobrecoste ni limitaciones operativas restrictivas debido a la calibración.

35 Según la invención, la calibración también designada "NUC" acrónimo de la expresión anglosajona "Non Uniformity Correction", se obtiene situando adecuadamente a lo largo del eje óptico los dos grupos móviles necesarios para la función formación de imágenes multifocal, que son el variador y el compensador, de modo que se desenfoca mucho la escena observada, considerada lejana. La imagen de las no uniformidades obtenida con esta configuración NUC, denominada imagen NUC, se sustrae entonces a las imágenes obtenidas en la configuración formación de imágenes de modo que reconstruya las imágenes corregidas.

De manera más precisa, la invención tiene por objeto un dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación 1.

40 En estas condiciones, en la configuración NUC, cualquier objeto lejano se muestra muy desenfocado en el detector, y ninguno de los dioptros de la combinación se combina con el detector, lo que tiene la ventaja de hacer la configuración NUC poco sensible a la presencia de defectos locales en los dioptros.

Por último, utilizando adecuadamente los dos grupos móviles necesarios para la función de formación de imágenes multifocal, se dota a la cámara de un medio de corrección eficaz de las no uniformidades de imagen sin un sobrecoste puesto que no tiene un mecanismo específico, y sin perder la línea de visión de formación de imágenes.

45 En la configuración NUC propuesta, la escena situada a gran distancia no está -a priori- colocada en un plano pupilar. En concreto, la imagen de una fuente de pequeñas dimensiones tiene la forma de un disco de muy grandes dimensiones en el plano focal, pero que no cubre necesariamente este en su totalidad.

50 Mientras la diferencia de temperatura entre la fuente y el fondo no excede tradicionalmente de 50 °C, entonces el nivel de iluminancia del disco con respecto al fondo es inferior a la NETD de la cámara (acrónimo de la expresión anglosajona "Noise Equivalent Temperatura Difference" que representa la resolución térmica de medición de la cámara), el razonamiento de aplica por supuesto a una escena más compleja: si esta no consta de fuentes demasiado calientes, entonces la modulación en la imagen de la escena en configuración NUC se mantiene inferior a la NETD de la cámara, y por consiguiente todo sucede como si la cámara observara un cuerpo negro uniforme subordinado a la temperatura del fondo de escena. La imagen NUC obtenida en estas condiciones no es completamente representativa de los defectos propios del detector que se desean corregir puesto que esta consta

además de estos de una componente de baja frecuencia espacial aportada por el flujo de estructura (en particular el flujo aportado por el efecto Narciso). Por consiguiente, resulta ventajoso completar el dispositivo con un tratamiento de la imagen NUC de tipo paso alto, adaptado para eliminar las no uniformidades de bajas frecuencias espaciales; las correcciones de "offsets" deducidas de esta imagen NUC filtrada son entonces pertinentes para el conjunto de las configuraciones de formación de imágenes.

Si ahora la escena consta de unas fuentes intensas de pequeñas dimensiones, entonces la imagen en configuración NUC está constituida por un cierto número de discos (tantos como fuentes intensas) cuyos niveles son superiores a la NETD. Resulta, por lo tanto, ventajoso completar el dispositivo mediante un tratamiento de imagen adaptado para eliminar las no uniformidades espaciales en la imagen. En este caso, en el que las no uniformidades están compuestas por un conjunto de discos de niveles elevados, un simple filtrado de las bajas frecuencias ya no basta y es necesario realizar un filtrado no lineal que permite preservar las discontinuidades significativas y alisar los defectos cuya amplitud es pequeña. El resultado de este filtrado es una estimación de la componente de escena desenfocada que se sustrae a la imagen acumulada para obtener un valor estimado de los defectos.

Según una característica de la invención, el dispositivo comprende un filtro (por ejemplo un filtro no lineal) adaptado para filtrar la imagen acumulada obtenida en la posición de calibración, unos medios de cálculo de un mapa de corrección y unos medios de corrección de imágenes obtenidas en modo formación de imágenes.

Las distancias focales varían tradicionalmente entre 25 y 135 mm, eventualmente de manera discreta.

El tipo de filtro no lineal mencionado con anterioridad puede, por ejemplo, realizarse en el marco de una modelización de campos de Makov o en el marco de las técnicas variacionales que conducen a unos esquemas de resolución iterativos equivalentes a unas ecuaciones de difusión anisótropa conocidas por el experto en la materia.

La banda IR está, por ejemplo, comprendida entre 3 y 5  $\mu\text{m}$ .

Se mostrarán otras características y ventajas de la invención con la lectura de la descripción detallada que viene a continuación, hecha a título de ejemplo no limitativo y en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

Las figuras 1 representan de forma esquemática los principales elementos ópticos de un dispositivo de formación de imágenes según la invención en configuración formación de imágenes de larga longitud focal (figura 1a), formación de imágenes de corta distancia focal (figura 1b), y NUC (figura 1c).

La figura 2a muestra la posición del plano objeto focalizado en el detector cuando el zoom está en configuración NUC, la figura 2b representa de manera esquemática la respuesta a un impulso en el plano del detector en configuración NUC para un objeto puntual lejano.

Las figuras 3a y 3b representan de manera esquemática en configuración NUC la iluminancia del detector ("Focal Plane Array") para una escena simplificada constituida por un objeto de pequeñas dimensiones (diámetro 2 mrad) colocado sobre un fondo uniforme. En estas figuras, se ha omitido expresamente el flujo de estructura (en particular el flujo aportado por efecto Narciso) de modo que se destaquen los rendimientos propios del desenfoque.

Las figuras 4 representan de forma esquemática un ejemplo de imagen en configuración NUC constituida por dos discos (uno pequeño entero y una parte de uno grande) cuyo nivel es superior a la NETD, observada tras el promediado y el recortado de esta imagen (figuras 4a), y el resultado del filtrado en esta imagen y en el recorte de esta (figuras 4b). Estas figuras 4b son unas estimaciones de la componente de escena desenfocada.

Las figuras 5 representan de forma esquemática un mapa de corrección en offset, es decir un recorte del valor estimado de los defectos (figura 5b), determinado mediante sustracción del recorte de no uniformidad de escena estimada con anterioridad al recorte de la imagen obtenida tras el promediado (figuras 5a); las figuras 5a se retoman de los recortes de las figuras 4a y 4b.

Las figuras 6 representan de forma esquemática el resultado del mapa de defecto real (figura 6a) comparado con el mapa estimado (figura 6b). La diferencia de estos 2 mapas muestra lo que queda de defecto debido al error de estimación en recorte (figura 6c) y la imagen correspondiente (figura 6d).

La figura 7 representa de forma esquemática un ejemplo de dispositivo pasivo de formación de imágenes IR multifocal según la invención.

De una figura a otra, los mismos elementos se identifican con las mismas referencias.

Un ejemplo de dispositivo 100 pasivo de formación de imágenes IR multifocal según la invención, descrito en relación con las figuras 1a a 1c, comprende tradicionalmente en un mismo eje óptico (representado en la figura 7 con la referencia 5):

- unos medios de detección que constan de un detector 40 matricial IR de dos dimensiones colocado en un recinto criostático para enfriarlo; este detector consta, por ejemplo, de 384 x 288 sensores elementales con un paso de 15  $\mu\text{m}$ , colocado en el plano focal. Sensible por ejemplo en la banda 3-5  $\mu\text{m}$  puede estar compuesto por un material de Mercurio, Cadmio y Teluro (HgCdTe). Se pueden utilizar otros materiales como materiales con múltiples pozos cuánticos en los compuestos Arseniuro de galio/Arseniuro de galio y de Aluminio (AsGa/AsGaAl); también se puede utilizar el compuesto Antimoniuro de Indio (InSB).
- un diafragma 41 de apertura materializado por el diafragma frío del recinto criostático situado a aproximadamente

10 mm el detector 40, también designado pupila de formación de imágenes, con una apertura caracterizada por una apertura digital de aproximadamente  $1/6$ , esto es  $F/3$ , siendo  $F$  la distancia focal;

- una ventanilla 42 de silicio de aproximadamente 1 mm de espesor situada a aproximadamente 3,2 mm del diafragma frío del recinto criostático;
- un espejo 30 de acodamiento;
- una combinación óptica que comprende los siguientes grupos dióptricos:

a. un objetivo con múltiples focales o zoom cuyas distancias focales varían entre 27 y 132 mm; estas varían de forma continua o adoptan unos valores discretos. Los campos correspondientes varían entre  $2,5^\circ$  y  $12^\circ$  horizontalmente, y por lo tanto entre  $1,9^\circ$  y  $9^\circ$  verticalmente teniendo en cuenta las dimensiones del detector; los medios para hacer que varíe la distancia focal comprenden las lentes respectivamente designadas variador 10 y compensador 20 y unos medios 60 de traslación de estas lentes en el eje óptico en una posición variable según el modo seleccionado. Estos medios 60 de traslación se simbolizan en la figura 1a con las flechas. Un motor paso a paso permite, por ejemplo, garantizar esta traslación. Otro ejemplo de medio de traslación consiste en la asociación de un motor de corriente continua equipado con un motorreductor, y de un sensor de realimentación de posición de tipo potenciómetro resistivo lineal. El grupo G1 de cabeza convergente comprende, por ejemplo, la secuencia clásica Si(+)/Ge(-), siendo Si el silicio, Ge el germanio, + convergente, - divergente. El variador 10, divergente (por ejemplo de Ge), permite principalmente obtener una variación de la distancia focal del sistema óptico. El compensador 20, convergente (por ejemplo Si(+)/Ge(-))/(Si(+)) de lentes esféricas o 1 única lente Si esférica, es un elemento que permite principalmente mantener el plano de focalización casi fijo. En configuración formación de imágenes de corta distancia focal o CA (Campo Amplio) (figura 1b), el variador 10 está en su posición máxima aguas arriba y el compensador 20 en su posición máxima aguas abajo, de este modo permiten obtener un campo horizontal de  $12^\circ$ . Se considera que el sentido aguas arriba-aguas abajo corresponde al sentido de propagación de la luz que llega del exterior para focalizarse en el detector. Para la configuración formación de imágenes de larga distancia focal o CR (Campo Reducido) (figura 1a), el variador 10 está en su posición máxima aguas abajo y el compensador 20 en su posición máxima aguas arriba; para pasar al modo NUC, se configura el zoom de modo que combine el detector con un plano objeto situado aguas arriba de la lente de cabeza, a algunos centímetros de esta; en estas condiciones es evidente que cualquier objeto lejano se muestra muy desenfocado; en esta configuración, el variador está en una posición cercana a su posición CA y el compensador está en una posición situada ligeramente aguas arriba de su posición CR, a algunos milímetros de esta. Esta posición se designa posición de calibración. Las posiciones del variador y del compensador se obtienen de la siguiente forma: se comienza por colocar el variador en la posición CA y el compensador en la posición CR, lo que proporciona una primera configuración muy desenfocada; mediante iteraciones sucesivas, se optimizan las posiciones de los 2 elementos de modo que se combine, con una ampliación de calibración  $a_{\text{NUC}}$  lo más grande posible, un plano objeto situado tradicionalmente a algunos centímetros aguas arriba de G1 y el plano focal del detector 40; esto tiene como efecto maximizar el desenfoco de un objeto situado en el infinito. Esta optimización se acompaña de un cierto número de limitaciones que buscan, por ejemplo, no aumentar demasiado el recorrido de los mecanismos con respecto a la simple necesidad de formación de imágenes; además, se puede mantener una cierta distancia entre el plano objeto y el dioptrio externo del grupo G1, con el fin de hacer que la configuración NUC sea poco sensible a la presencia de los inevitables defectos de superficie en este dioptrio. En el ejemplo dado, las características de la configuración NUC tras la optimización son las siguientes:

- plano objeto situado a 6,8 cm aguas arriba de G1;
- variador a 1,7 mm aguas abajo de su posición CA;
- compensador a 7,2 mm aguas arriba de su posición CR. Esto conduce a una ampliación  $a_{\text{NUC}} = 0,277$ .

b. un grupo G3 de relevo que forma la imagen de un plano focal intermedio PFI en el plano focal del detector 40, comprende, por ejemplo, una de las secuencias esféricas Si(+)/CaF2(-)/Si(+) o Si(+)/Ge(-)/Si(+), designando CaF2 la fluorina; con algunos sacrificios en la calidad de la imagen, el grupo de relevo puede eventualmente reducirse a una única lente esférica de silicio.

El dispositivo de formación de imágenes comprende, además, una unidad 50 de tratamiento de imagen conectada al detector 40, que se muestra en la figura 7. Esta unidad tiene en particular como función aplicar en las imágenes obtenidas en la configuración formación de imágenes, las correcciones de no uniformidades obtenidas en la configuración NUC.

A continuación se van a detallar los elementos del dispositivo de calibración que permiten realizar esta configuración NUC.

La figura 2b muestra que en configuración NUC, la respuesta del zoom a un objeto puntual infinitamente alejado cubre prácticamente todo el detector 40, cuyo perímetro está indicado.

Las figuras 3a y 3b detallan las componentes de la iluminancia del plano focal cuando el zoom configurado en NUC observa un objeto con un diámetro angular de 2 mrad colocado sobre un fondo uniforme. Se da la componente de fondo de escena y la componente aportada por la imagen muy desenfocada de la fuente para 2 posiciones de esta

en el campo: en la figura 3a la fuente está localizada en el centro del campo mientras que en la figura 3b, esta está colocada fuera del eje. Las iluminancias están estandarizadas, es decir que se dan para una luminancia de fondo (respectivamente de fuente) unidad y la iluminancia de fondo de escena en el centro del detector se considera igual a 1. Las abscisas indicadas son aquellas comprendidas entre los bordes diagonales del detector situado en el plano focal.

En la configuración NUC, como en la configuración formación de imágenes, el fondo de escena produce la misma iluminancia que se expresa:

$$I_{\text{fondo}} = \text{Transm} \times \text{PSA}_{\text{útil}} \times L(T_{\text{fondo}})$$

Transm es la transmisión de la óptica;

PSA<sub>útil</sub> ("Projected Solid Angle") es el ángulo sólido proyectado útil, que vale en nuestro ejemplo aproximadamente 87 miliesterradianos (sistema abierto en F/3,0); rigurosamente hablando, PSA<sub>útil</sub> puede variar ligeramente de un punto al otro de la matriz (efecto "cos<sup>4</sup>θ");

L(T<sub>fondo</sub>) es la luminancia del fondo de escena integrada en la banda espectral útil (por ejemplo 3,4-4,8 μm).

En configuración NUC, la imagen del objeto no produce una iluminancia uniforme en el plano (x,y) del detector. Esta se expresa:

$$I_{\text{NUC}}(x,y) = \text{Transm} \times \text{PSA}_{\text{NUC}}(x,y) \times L(T)$$

PSA<sub>NUC</sub>(x,y) es el ángulo sólido proyectado en el punto (x,y), delimitado por el diafragma de apertura y el objeto: en efecto cuando el desenfoque es muy importante, la fuente no se resuelve necesariamente mediante al detector. L(T) es la luminancia del objeto a temperatura T, integrada en la banda espectral útil.

Se representan en las figuras 3a y 3b, en función de la posición (x,y) con respecto al centro (0,0) del detector:

- la imagen de fondo de escena, esto es:

$$\text{Log10} [\text{PSA}_{\text{útil}}(x,y) / \text{PSA}_{\text{útil}}(0,0)],$$

- la imagen de la fuente, esto es:

$$\text{Log10} [\text{PSA}_{\text{NUC}}(x,y) / \text{PSA}_{\text{útil}}(0,0)].$$

De este modo, las variaciones espaciales de PSA<sub>NUC</sub> producen una diferencia de temperatura aparente con respecto al fondo que se expresa:

$$\Delta T = L(T) \times [\text{PSA}_{\text{NUCmáx}} / \text{PSA}_{\text{útil}}] \times [1 - \text{PSA}_{\text{NUCmín}} / \text{PSA}_{\text{NUCmáx}}] / [dL/dT](T_{\text{fondo}}).$$

En nuestro ejemplo PSA<sub>NUCmín</sub> = 0, y en una primera aproximación se puede mostrar que PSA<sub>NUCmáx</sub> = π (δθ)<sup>2</sup> / a<sub>NUC</sub><sup>2</sup>, donde δθ representa el semidiámetro angular del objeto (en este caso 1 mrad); de este modo, se comprende que es preciso maximizar a<sub>NUC</sub> para reducir PSA<sub>NUCmáx</sub>, y por consiguiente ΔT.

Para fijar las ideas, en las figuras 3a y 3b, se muestra que:

$$[\text{PSA}_{\text{NUCmáx}} / \text{PSA}_{\text{útil}}] \times [1 - \text{PSA}_{\text{NUCmín}} / \text{PSA}_{\text{NUCmáx}}] = 0,0005$$

Para un objeto a 50 °C sobre un fondo a 20 °C, tenemos:

$$L(T) / [dL/dT](T_{\text{fondo}}) = 73 \text{ °K}, \text{ y por consiguiente } \Delta T = 37 \text{ m °K}$$

Para un objeto a 100 °C sobre un fondo a 20 °C, tenemos:

$$L(T) / [dL/dT](T_{\text{fondo}}) = 298 \text{ °K}, \text{ y por consiguiente } \Delta T = 149 \text{ m °K}$$

Admitiendo que la NETD es del orden de 100 m °K, si la escena solo consta de unos objetos cuyo contraste térmico con respecto al fondo no supera aproximadamente los 50 °C, entonces esta se muestra en la configuración NUC como uniforme.

En la configuración NUC propuesta, la escena situada a gran distancia no está -a priori- colocada en un plano pupilar. En concreto, la imagen de una fuente de pequeñas dimensiones tiene la forma de un disco de muy grandes dimensiones en el plano focal, pero que no cubre obligatoriamente este en su totalidad; el nivel de iluminancia del disco con respecto al fondo es inferior a la NETD de la cámara (acrónimo de la expresión anglosajona "Noise Equivalent Temperature Difference" que representa la resolución térmica de medición de la cámara) mientras la diferencia de temperatura entre la fuente y el fondo no supera tradicionalmente los 50 °C. El razonamiento se aplica por supuesto a una escena más compleja: si esta no consta de fuentes muy calientes, entonces la modulación en la

imagen de la escena en configuración NUC se mantiene inferior a la NETD de la cámara, y por consiguiente todo sucede como si la cámara observara un cuerpo negro uniforme subordinado a la temperatura del fondo de escena. En modo formación de imágenes, la imagen corregida se obtiene entonces mediante la sustracción de la imagen NUC (desenfocada); esto se realiza mediante la unidad 50 de tratamiento de imágenes cuyo funcionamiento se detallará más adelante.

De preferencia, se aplica un filtrado a la imagen NUC con el fin de extraer la componente de ruido espacial ligado al detector.

En efecto, la imagen NUC consta -además de los defectos propios del detector- de una componente de baja frecuencia espacial aportada por el flujo de estructura (en particular el flujo aportado por el efecto Narciso). Resulta, por consiguiente, ventajoso completar el dispositivo mediante un tratamiento de la imagen NUC de tipo paso alto, adaptado para eliminar las no uniformidades de bajas frecuencias espaciales; las correcciones de "offsets" deducidas de esta imagen NUC filtrada son entonces pertinentes para todas las configuraciones de formación de imágenes. Hay que recordar que, por lo general, el efecto Narciso es bajo en las configuraciones CR, y que además el experto en la materia limita todo lo posible el diferencial de Narciso entre las diferentes configuraciones del zoom.

Si ahora la escena consta de unas fuentes intensas de pequeñas dimensiones, entonces la imagen en la configuración NUC está constituida por un determinado número de discos (tantos como fuentes intensas) cuyos niveles son superiores a la NETD; un ejemplo de dicha imagen observada tras el promediado y el recorte de esta imagen se muestran en la figura 4a. Resulta, por lo tanto, ventajoso completar el dispositivo con un tratamiento de imagen adaptado para eliminar las no uniformidades espaciales en la imagen.

La abscisa del sistema de coordenadas asociado a las imágenes es la misma que la del sistema de coordenadas asociado a los recortes. El recorte representa en ordenadas las iluminancias de cada uno de los píxeles situados en la línea central de la imagen.

En el caso explicado más arriba en el que las no uniformidades están compuestas por un conjunto de discos de niveles elevados, un simple filtrado de las bajas frecuencias ya no es suficiente y es necesario realizar un filtrado no lineal que permite preservar las discontinuidades significativas y alisar los defectos cuya amplitud es baja. En el caso presente, las fuertes discontinuidades que se desean preservar en el filtrado están ligadas a la presencia de objetos muy contrastados (tradicionalmente tales que  $\Delta T > 50^\circ\text{C}$ ) en la escena. El resultado de este filtrado es una estimación de la componente de escena desenfocada que se sustrae a la imagen acumulada para obtener un valor estimado de los defectos.

El tipo de filtro no lineal mencionado con anterioridad puede, por ejemplo, realizarse en el marco de una modelización por campo de Makov o mediante unas técnicas variacionales que conducen a unos esquemas de resolución iterativos equivalentes a unas ecuaciones de difusión anisotrópica conocidas por el experto en la materia. El resultado obtenido mediante este tipo de filtrado no lineal se ilustra en las figuras 4b.

Este filtrado comprende, por ejemplo, las siguientes etapas:

- Acumulación/Promediado digital de imágenes desenfocadas: esta operación tiene como objetivo reducir e incluso suprimir la influencia del ruido temporal. Esta operación se puede realizar:

o bien directamente según el siguiente algoritmo:

- $I_{\text{acum}} = 0$
- Para  $I$  que va de 1 a  $N$

- $I_{\text{acum}} = I_{\text{acum}} + I_{\text{actual}}(I)$

- Fin para
- $I_{\text{media}} = I_{\text{acum}} / N$

o o bien de forma recursiva según el siguiente algoritmo ( $\alpha < 1$ ):

- $I_{\text{acum}} = I_{\text{actual}}(I)$
- Mientras el promediado está activo

- $I_{\text{media}} = \alpha * I_{\text{media}} + (1-\alpha) * I_{\text{actual}}(I)$

- Fin mientras

Esta operación se realiza por lo general por medio de una red lógica programable de tipo FPGA, acrónimo de la expresión anglosajona "field-programmable gate array", con el fin de reducir el tiempo de latencia, pero esta se puede realizar también por medio de un microprocesador. Se debe prestar una especial atención a la dinámica de codificación de las imágenes  $I_{\text{media}}$  e  $I_{\text{acum}}$  de modo que no se pierda la mejora de dinámica obtenida (p. ej.: codificación en 6 bits más que la imagen actual para una acumulación de  $64 = 2^6$  imágenes). Es posible una acumulación de entre una decena y una

centena de imágenes según el plazo acordado para la calibración y, por ejemplo, para una acumulación de 64 imágenes con una adquisición en 100 Hz es necesario un plazo de 640 ms para el cálculo de Imedia.

- 5           - Determinación en la imagen acumulada de la componente debida a la escena desenfocada; esta componente está formada por un conjunto de discos de radios variables: esta operación tiene como objetivo determinar las no uniformidades en la imagen acumulada procedente de los eventuales objetos calientes que han podido encontrarse en el campo durante la adquisición de las imágenes de calibración. La estimación de estas no uniformidades precisa un filtrado no lineal que permite preservar las discontinuidades por medio de una modelización por campo de Makov o mediante unas técnicas variacionales. Se utiliza entonces, de preferencia, un filtro iterativo que modeliza una ecuación de difusión no lineal denominada “difusión de Malik y Perona” que permite preservar las discontinuidades. Dicho ejemplo de filtrado se ilustra en las figuras 4. Las figuras 4a representan de forma esquemática una imagen observada tras el promediado y el recorte de esta imagen; los resultados del filtrado en esta imagen y en el recorte de esta se representan en las figuras 4b. Se obtiene un valor estimado de los defectos sustrayendo una estimación de la componente de escena desenfocada a la imagen acumulada.
- 10
- 15           - Determinación del mapa de corrección en “offset” del detector: este mapa de corrección en offset (figura 5b) se determina mediante la sustracción de la componente de escena estimada con anterioridad (figura 4b) a la imagen acumulada (figura 4a).

20 Las figuras 6 ilustran la comparación entre el mapa de defecto real (figura 6a) y el mapa estimado (figura 6b). La diferencia de estos 2 mapas (figuras 6c, 6d) muestra lo que queda de defecto causado por el error de estimación en recorte, figura 6, y en imagen, figura 6d: es prácticamente nulo.

En la figura 7 se representa un ejemplo de dispositivo de formación de imágenes según la invención. Comprende los elementos descritos en relación con las figuras 1, así como el dispositivo 61 de calibración conectado a los medios 60 de posicionamiento (en este caso de traslación), y a la unidad 50 de tratamiento.

25 Esta unidad 50 de tratamiento comprende:

- unos medios 51 de acumulación de imágenes obtenidas en configuración NUC, como por ejemplo un FPGA como se ha indicado con anterioridad;
- un filtro 52 adaptado para aplicar un filtrado no lineal a estas imágenes NUC, como se ha descrito con anterioridad;
- 30 - unos medios 53 de cálculo del mapa de corrección en “offset” del detector, como se han descrito con anterioridad y de almacenamiento de este mapa de corrección;
- y unos medios 54 de sustracción de este mapa de corrección memorizado, a las imágenes obtenidas en la configuración formación de imágenes, de modo que se obtengan unas imágenes corregidas.

35 Cuando el usuario desea activar el modo calibración, acciona el mecanismo 61 de calibración que, por una parte, controla los medios 60 de posicionamiento del variador 10 y del compensador 20 en la posición de calibración (o NUC) y, por otra parte, controla la unidad 50 de tratamiento con el fin de que las imágenes NUC procedentes del detector 40 se sometan al tratamiento que permite obtener el mapa de corrección.

40 Cuando el usuario desea activar el modo formación de imágenes, acciona el mecanismo 61 de calibración que, por una parte, controla los medios 60 de posicionamiento del variador 10 y del compensador 20 en función de la distancia focal deseada y, por otra parte, controla la unidad 50 de tratamiento con el fin de que las imágenes procedentes del detector 40 y obtenidas en modo “formación de imágenes” se corrijan mediante los medios 54.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (100) de formación de imágenes que presenta un eje (5) óptico y que comprende un detector (40) IR matricial, un objetivo multifocal, estando la distancia focal comprendida entre una corta distancia focal y una larga distancia focal, que comprende un grupo (G1) de lentes frontal, un variador (10), un compensador (20) y unos medios (60) de posicionamiento del variador y del compensador, estando las posiciones del variador y del compensador respectivamente adaptadas a la distancia focal, comprendiendo los medios (60) de posicionamiento unos medios de traslación del variador y del compensador en el eje (5) óptico, y comprendiendo el dispositivo un mecanismo (61) de calibración que comprende un control de los medios (60) de posicionamiento del variador (10) cerca de su posición de corta distancia focal y del compensador (20) aguas arriba de su posición de larga distancia focal de modo que se combina el plano del detector (40) con un plano objeto real situado aguas arriba de la lente de cabeza del grupo (G1) de lentes frontal a algunos centímetros de la misma, con el fin de maximizar el desenfoque de un objeto situado en el infinito, siendo esta posición designada posición de calibración, y comprendiendo el dispositivo conectado al detector (40) matricial, una unidad (50) de tratamiento que comprende unos medios (51) de acumulación de imágenes obtenidas en la posición de calibración.
2. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la unidad (50) de tratamiento comprende, conectada los medios de acumulación, un filtro (52) adaptado para filtrar la imagen acumulada obtenida en la posición de calibración.
3. Dispositivo de formación de imágenes según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el filtro (52) es un filtro no lineal.
4. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad (50) de tratamiento comprende unos medios (53) de cálculo de un mapa de corrección.
5. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la unidad (50) de tratamiento comprende unos medios (54) de corrección de imágenes obtenidas en modo formación de imágenes.
6. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las distancias focales varían entre 25 y 135 mm.
7. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende al menos 1 distancia focal además de la corta distancia focal y la larga distancia focal, **y porque** estas distancias focales son discretas.
8. Dispositivo de formación de imágenes según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la banda IR está comprendida entre 3 y 5  $\mu\text{m}$ .

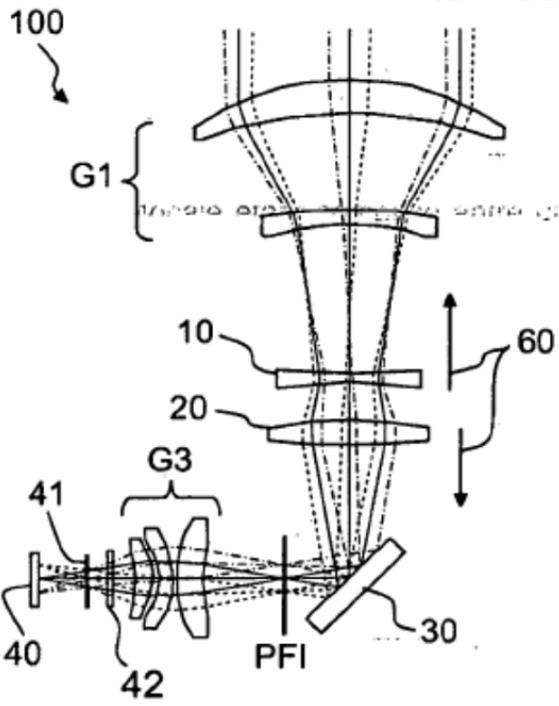


FIG.1a

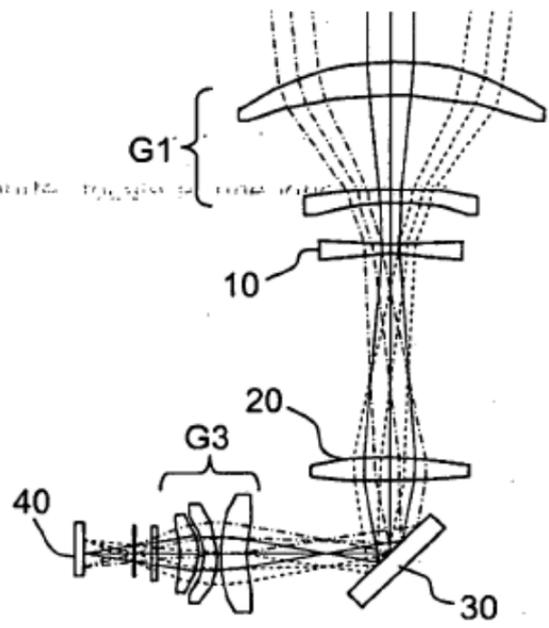


FIG.1b

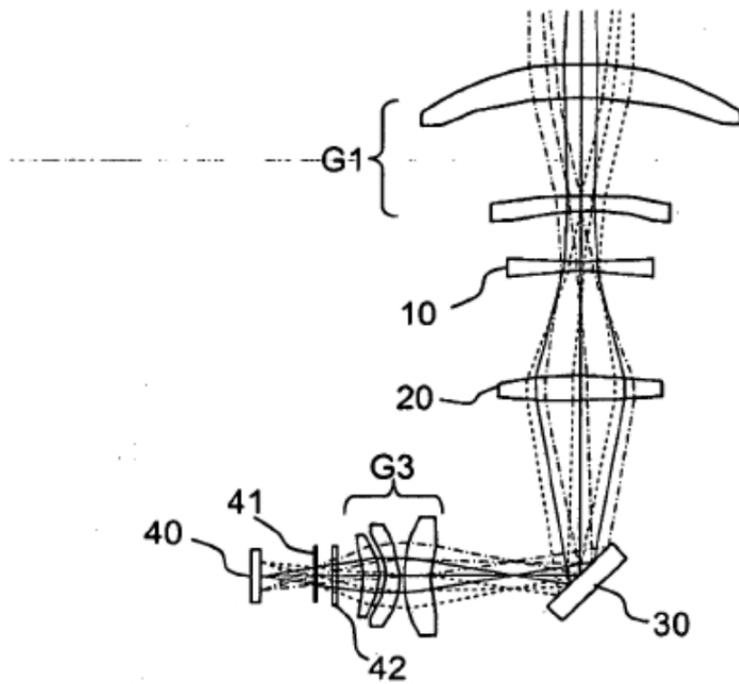


FIG.1c

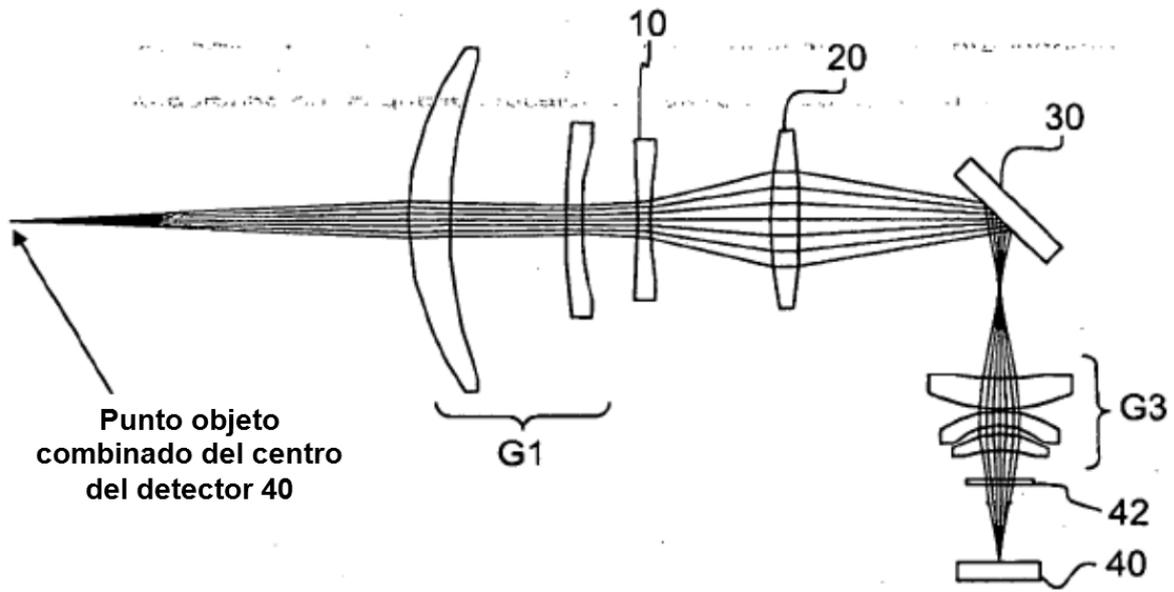


FIG.2a

Perímetro del detector 40

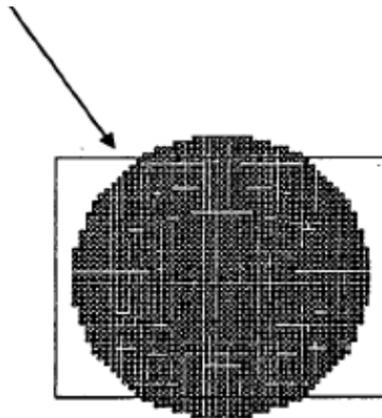


FIG.2b

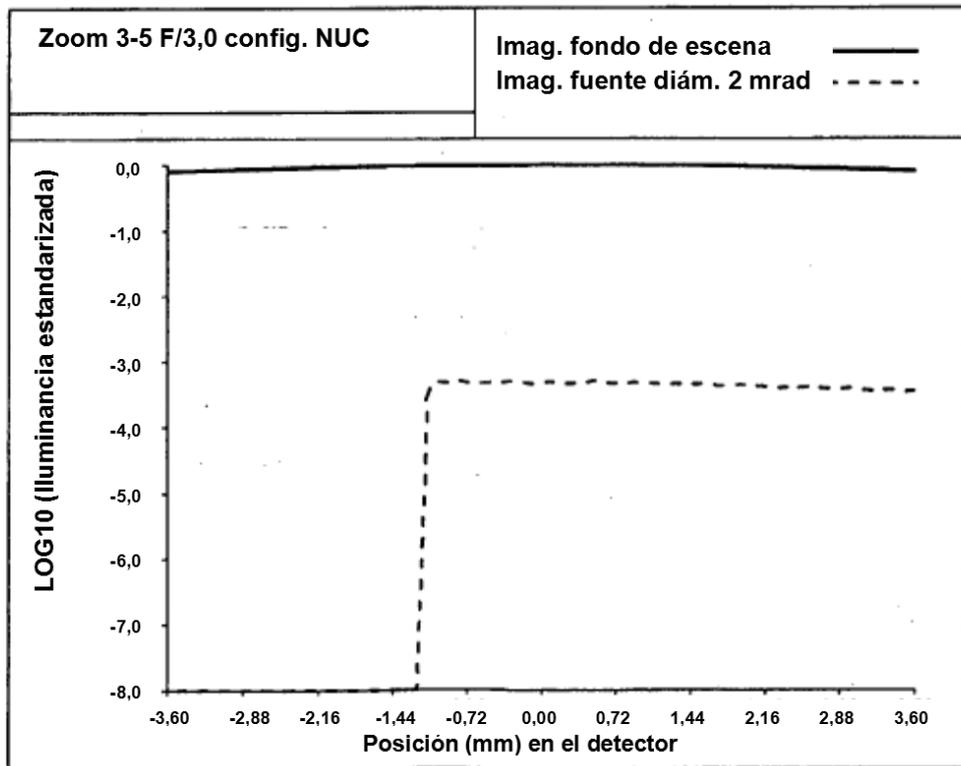
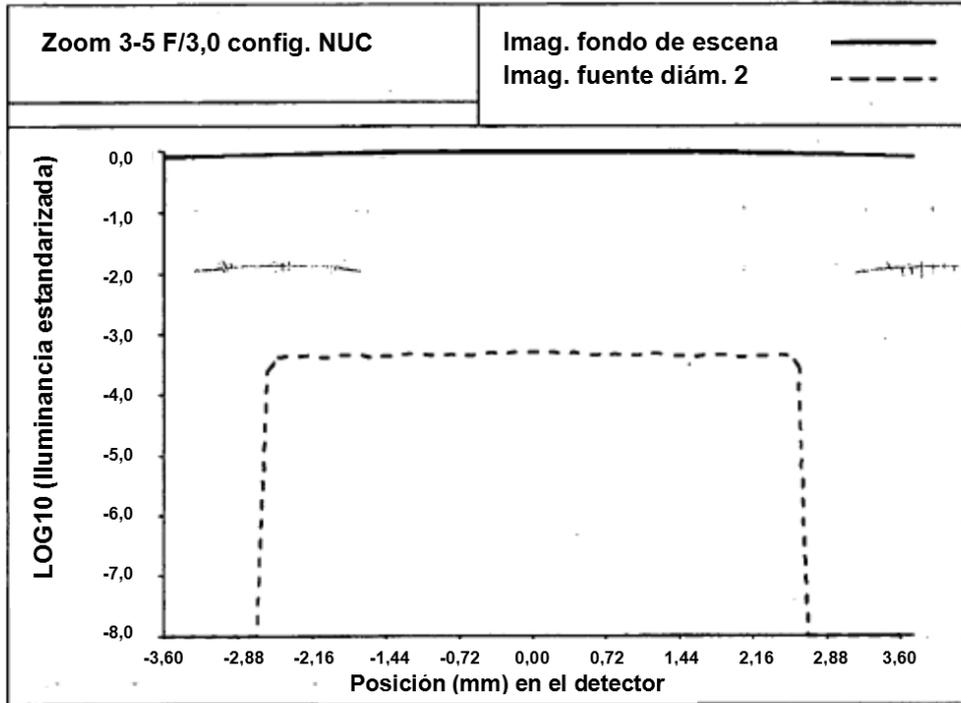
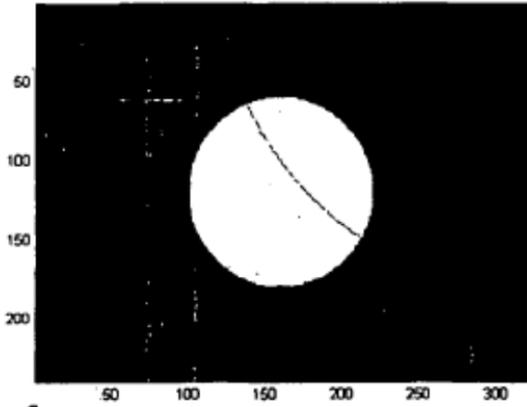
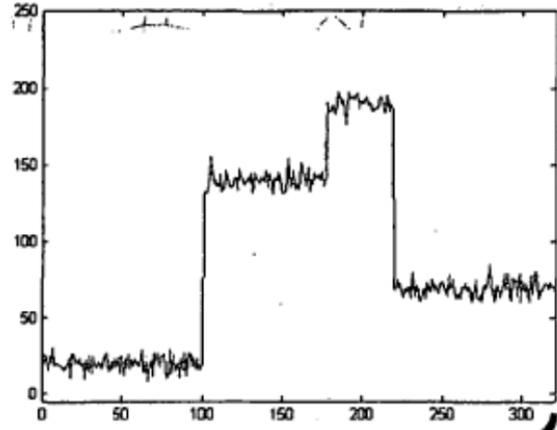


FIG.4a

Imagen observada tras el promediado  
(componente de escena y defecto de NUC buscado)

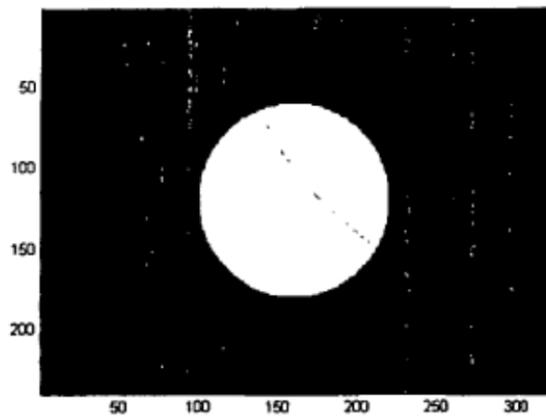


Recorte de la imagen observada tras el promediado



Filtrado No Lineal

Imagen obtenida tras el filtrado



Recorte de la no uniformidad de  
componente de escena estimada

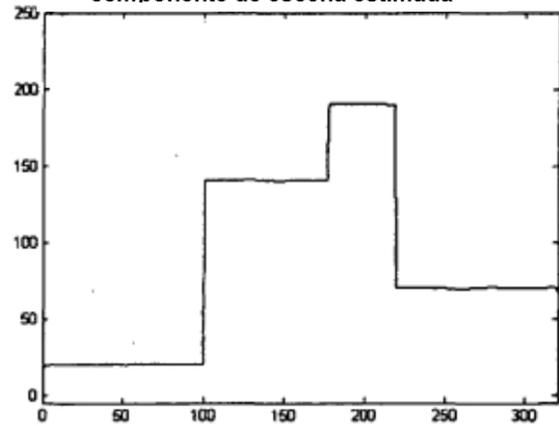
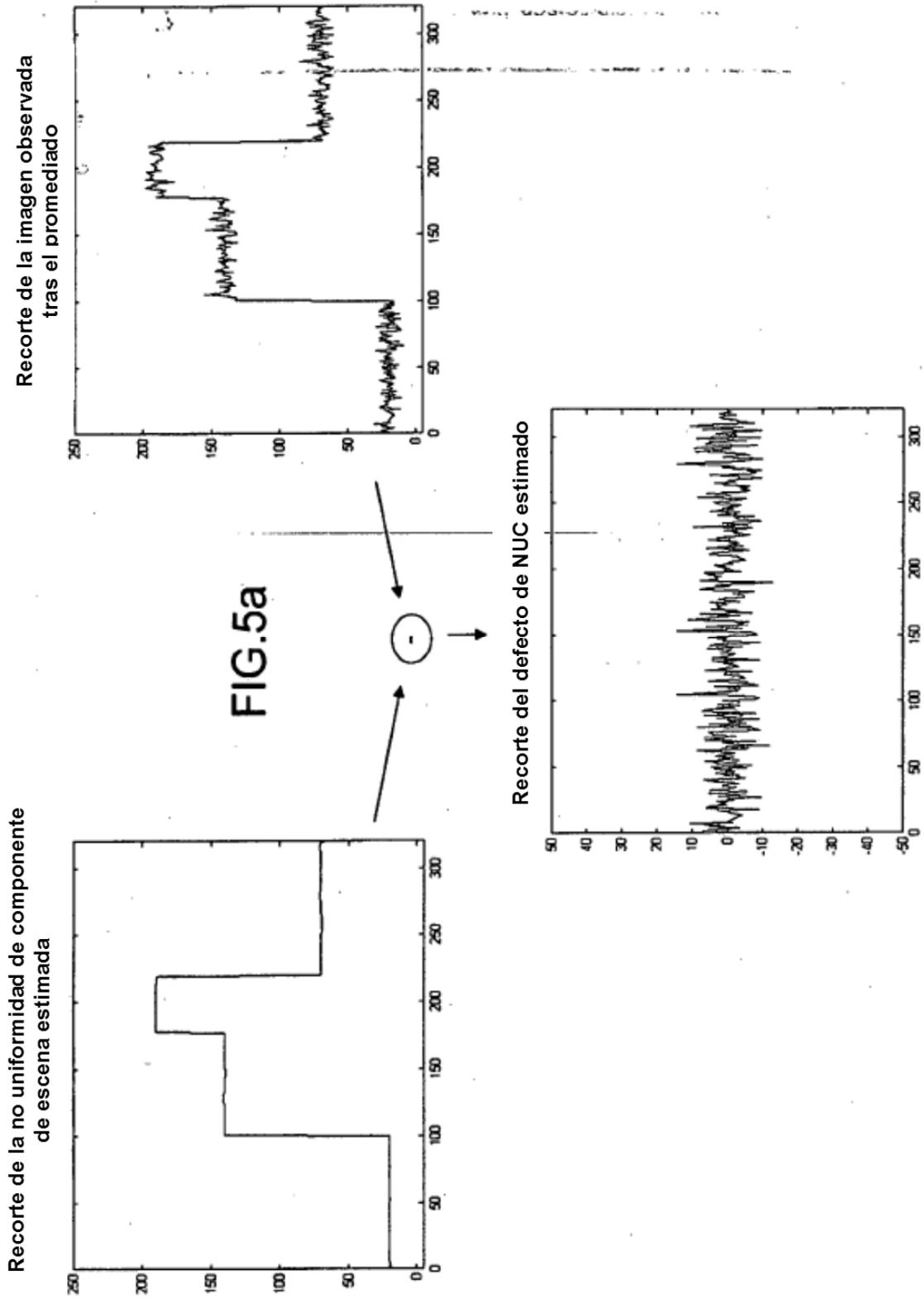


FIG.4b



Recorte del defecto de NUC estimado

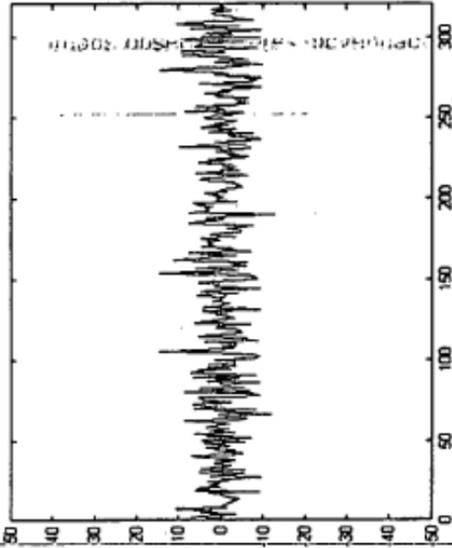


FIG.6b

Recorte del defecto de NUC buscado

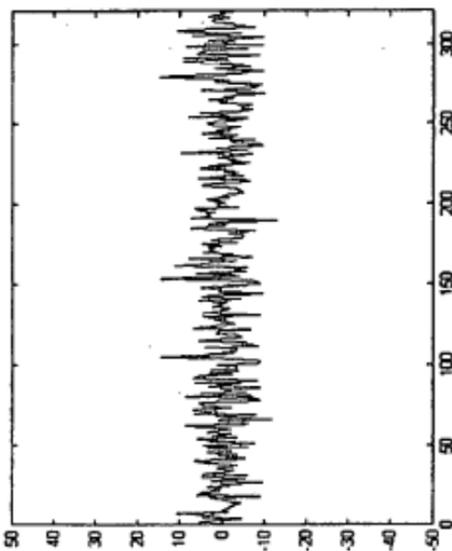
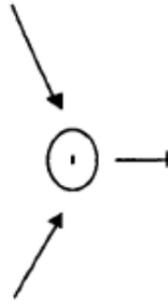


FIG.6a



Recorte de la diferencia entre defecto buscado y estimado

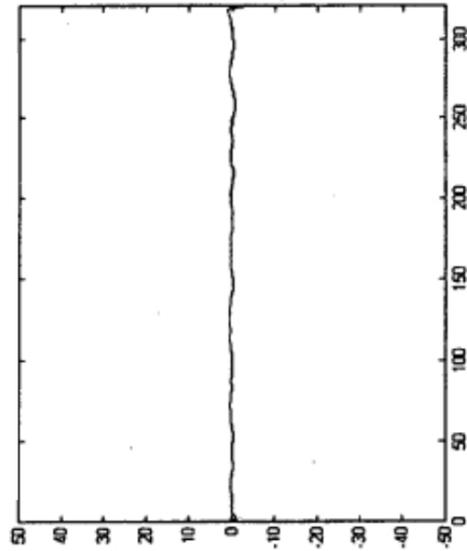


FIG.6c

Imagen de las diferencias entre el defecto buscado y estimado

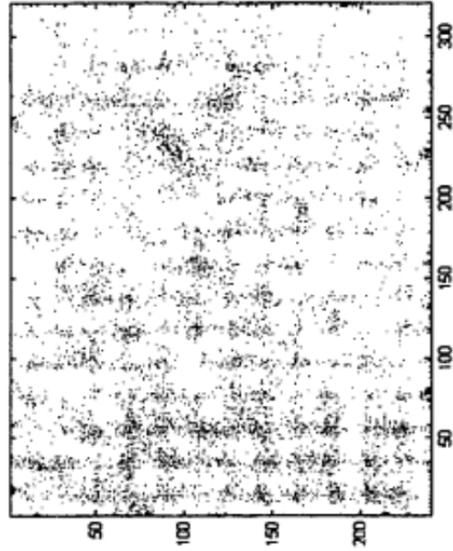


FIG.6d

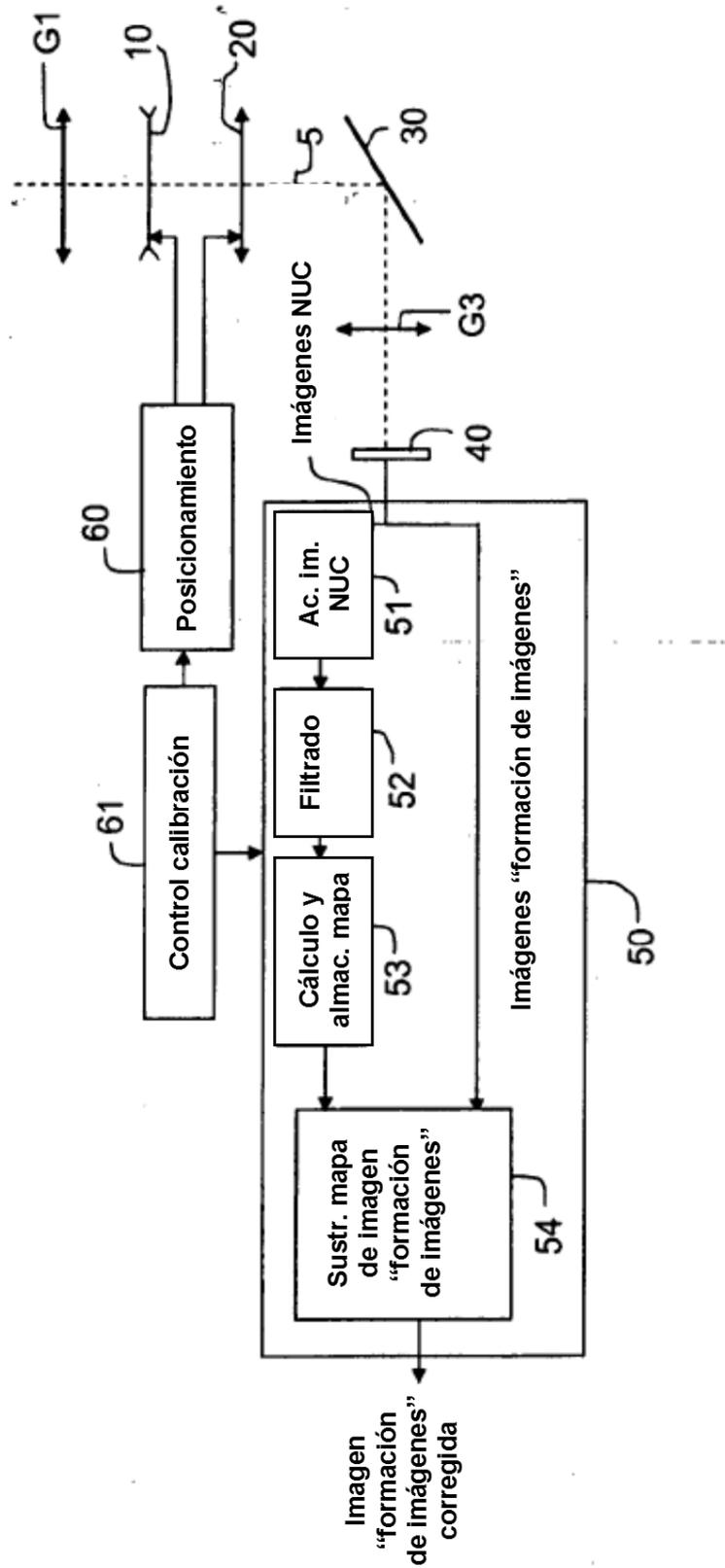


FIG.7