



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 376**

51 Int. Cl.:
G02B 13/16 (2006.01)
G02B 13/14 (2006.01)
G02B 1/00 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08168058 .9**
96 Fecha de presentación : **31.10.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2060943**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.05.2009**

54 Título: **Sistema óptico multiespectral de amplio campo.**

30 Prioridad: **13.11.2007 FR 07 07963**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.09.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.09.2011

73 Titular/es: **THALES**
45, rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR

72 Inventor/es: **Rollin, Joël**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 364 376 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 óptico multispectral de amplio campo

5 El ámbito de la invención es el de los sistemas ópticos multispectrales de amplio campo, capaces de funcionar más concretamente en las bandas espectrales visible y próxima infrarroja (0,4 μm -1,1 μm), infrarroja media, banda II (3 μm -5 μm) e infrarroja lejana, banda III (8 μm -12 μm).

10 Estos sistemas se utilizan especialmente en equipos ópticos portátiles, y permiten acoplar, por ejemplo, una imagen térmica a una vía que incluye un tubo de intensificación de luz denominado tubo IL. Las imágenes visibles/IR, como las suministradas por un tubo IL y las proporcionadas por un detector IR lejano (8-12 μm) ofrecen información adicional. La vía IL, de amplio campo (de 30 a 60°), ayuda al desplazamiento de noche, mientras que la vía térmica permite descubrir objetivos calientes, por ejemplo ocultos entre la vegetación.

15 Generalmente, estos sistemas incluyen dos canales de entrada disociados, respectivamente dedicados a cada banda espectral: por lo tanto, se penaliza a las acumulaciones y las masas de los materiales. Además, al apuntar a corta distancia, existe un fenómeno de desdoblamiento de imagen, la paralaje, ligado al desfase entre los ejes ópticos de los canales de entrada. Para evitar estos inconvenientes, se conoce la utilización de un sistema de entrada única.

20 Existe un sistema SWIR (0,9 μm -1,8 μm)/LWIR (8 μm -12 μm) de entrada única descrito en las patentes US 6 999 231 y US 2005/200946 A1. La óptica de cabeza en ZnSe es divergente, lo que aumenta el volumen del sistema. Después de la entrada, las dos vías IR están separadas por un cubo grueso que incluye en la vía SWIR un espejo convergente y una cara de salida divergente. En este cubo-separador, la reflexión directa es soportada por la vía LWIR y se polariza la transmisión en la vía SWIR, lo que significa que se pierde la mitad de la luz incidente sobre dicha vía. Además, este sistema no está adaptado a la banda espectral visible. Finalmente, este sistema no es compatible con las grandes aberturas (del orden de F/1,5 a F/1) requeridas por los equipos portátiles manos libres.

En la publicación SPIE Vol. 1013 "Wide Waveband Infra-red Optics" se describe otro sistema. Se trata de un sistema con entrada y ópticas únicas sin separación de las vías y, por lo tanto, muy sensible a las aberraciones cromáticas.

25 La reducción de las aberraciones cromáticas impone la utilización de varios materiales distintos. Los materiales transparentes en lo visible y lejano infrarrojo son a base de cristal natural o de síntesis. En la categoría de los halogenuros, se encuentra el NaCl, el NaF, el KCl, el KBr, el KI, el CSI, el CsBr, el AgCl, el KRS5 y el KrS6. Suelen estar asociados a propiedades mecánicas mediocres (escasa dureza Knoop), algunos son solubles y, con excepción de los Bromo-ioduro de talio, presentan escasos índices de refracción, lo que no es favorable a la corrección de las aberraciones geométricas. Sus mediocres propiedades mecánicas y, para algunos, su toxicidad, han descartado su empleo en aplicaciones industriales o militares. El ZnSe, que no cubre completamente la banda visible (no transmite la parte inferior de la banda visible) y, sobretodo, el ZnS realizado mediante CVD acrónimo de la expresión anglosajona "Chemical Vapor Deposition" y mediante una purificación para eliminar los compuestos híbridos Cinc de la estructura cristalina, son los únicos de uso corriente e industrial.

35 Por consiguiente, a fecha de hoy, sigue existiendo la necesidad de un sistema que simultáneamente satisfaga al conjunto de exigencias mencionadas, es decir que funcione por lo menos en las bandas espectrales visible e IR lejana, y se adapte a equipos portátiles manos libres, es decir compactos, que requieren un amplio campo y una abertura importante.

40 Más concretamente, la invención tiene por objeto un sistema óptico capaz de funcionar en varias bandas espectrales, entre ellas las bandas visible e IR lejana, asociándose una vía espectral a una banda espectral. Comprende:

- un grupo óptico de cabeza dióptrica convergente común a dichas bandas espectrales, que incluye materiales transparentes en dichas bandas espectrales a base de vidrios calcohalogenuros basándose en un sistema por lo menos ternario y con contenido de azufre,
- un separador de las vías espectrales posteriormente al grupo de cabeza,
- 45 - en cada vía espectral:
 - i. un relé dióptrico convergente de corrección de las aberraciones cromáticas y geométricas,
 - ii. un sensor bidimensional capaz de suministrar una señal,
- un mezclador de las señales procedentes de cada sensor.

50 Se obtiene así un sistema de fusión de sensores de amplio campo, compacto, ligero y sin paralaje. Además, la presencia de los relés traseros dispensa de un objetivo super-acromático que debería corregirse del cromatismo en un amplio espectro que envuelve el conjunto de las bandas espectrales.

Además, los materiales utilizados son más variados que los descritos en la técnica anterior y más fáciles de emplear.

Según una característica de la invención, el o los relés de corrección incluyen materiales transparentes en su banda espectral basados en dichos vidrios calcohalogenuros.

5 Según otra característica de la invención, el grupo de cabeza incluye una red difractiva cuya profundidad e de los escalones es sensiblemente igual a $\lambda_m(n-1)$, siendo λ_m la longitud de onda media de la banda inferior, n, el índice de refracción del substrato. Dicha profundidad e maximiza el rendimiento de difracción de la banda inferior. Asimismo, siendo un relé de corrección capaz de funcionar en la banda espectral más baja y el otro relé en la banda espectral más alta, cada relé de corrección puede incluir una red difractiva cuya profundidad e de los escalones es sensiblemente igual a $\lambda_m(n-1)$, siendo λ_m la longitud de onda media de la banda de funcionamiento de dicho relé, de manera asimismo a maximizar el rendimiento de difracción.

10 El mezclador puede ser óptico, analógico o digital.

Preferiblemente, el separador es capaz de reflejar la o las bandas espectrales inferiores y de transmitir la banda espectral superior.

15 Según un modo de explotación de la invención, el sistema es biespectral; la primera banda espectral está incluida por ejemplo entre 0,4 μm y 1,1 μm y la segunda banda espectral está incluida entre 7,5 μm y 14 μm o entre 3 μm y 5 μm .

Otras características y ventajas de la invención aparecerán mediante la lectura de la siguiente descripción detallada, realizada a título de ejemplo no limitativo y en referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 representa esquemáticamente un primer ejemplo de sistema biespectral según la invención, que incluye un sensor visible clásico,
- 20 - la figura 2 representa esquemáticamente un segundo ejemplo de sistema biespectral según la invención, que incluye un tubo de intensificación de luz como sensor en la banda visible,
- la figura 3 representa esquemáticamente una variante del segundo ejemplo de sistema biespectral según la invención, donde la fusión de las imágenes procedentes de los sensores se efectúa óptimamente,
- la figura 4 ilustra dos ejemplos de superposición de los campos apuntados según dos vías espectrales,
- 25 - la figura 5 representa esquemáticamente en línea, tras el despliegue y por separado las vías A y B de un ejemplo de sistema biespectral según la invención,
- la figura 6 representa esquemáticamente el criterio elegido para evaluar la calidad óptica solicitada a la óptica de la vía A, habida cuenta de las dimensiones elementales del píxel en esta banda,
- 30 - la figura 7 proporciona los rendimientos de difracción de una red en los órdenes 3, 2, 1, -1, -2 y -3 para una longitud de onda igual a 10 μm , cuando se optimiza la profundidad de dicha red para la banda visible.

Entre una figura y otra, los mismos elementos llevan las mismas referencias.

Para resolver los problemas de paralaje descritos anteriormente, el sistema según la invención incluye una entrada única.

35 La parte óptica de la cabeza multiespectral 1 aporta cierta potencia óptica de manera que los rayos se desvíen progresivamente hacia los detectores en un volumen restringido.

40 Para campos moderados ($< 10^\circ$), se pueden plantear ópticas con espejo. Por el contrario, para proporcionar una entrada común cualquiera que sea la longitud de onda, siendo compatible con las grandes aberturas (del orden de F/0,7 a F/2) y con amplios campos tales como los requeridos por equipos portátiles manos libres, el sistema debe desplegar una combinación dióptrica. Se entiende por amplio campo coberturas angulares superiores a 10° (típicamente de 30° a 60°).

Finalmente, el sistema es multiespectral; permite fusionar por lo menos dos bandas espectrales. Las bandas espectrales de referencias A y B de un sistema biespectral son por ejemplo:

A: Una sub-banda de la banda 0,4 μm -1,1 μm o esta banda completa.

B

45 $\left\{ \begin{array}{l} \text{una sub-banda de la banda 7,5 } \mu\text{m} - 13 \mu\text{m o esta banda completa, o} \\ \text{una sub-banda de la banda 3-5 } \mu\text{m o esta banda completa.} \end{array} \right.$

Se trata de corregir las aberraciones cromáticas axiales primarias, secundarias y laterales en las bandas de utilización A y B del sistema multiespectral.

Según la invención, las aberraciones cromáticas se corrigen en parte mediante el grupo de cabeza e individualmente tras la separación de las vías espectrales por los relés traseros.

5 El sistema biespectral descrito en relación con las figuras 1, 2 y 3 incluye un grupo óptico de cabeza 1, una lámina separadora 2 (una lámina de caras planas y paralelas, o una lámina delgada prismática) o un cubo separador, y los relés ópticos traseros de corrección 3A, 3B dedicados respectivamente a cada banda espectral individual. Dicha separación se efectúa preferiblemente mediante transmisión de las grandes longitudes de onda y reflexión de las longitudes de onda cortas, de manera a obtener una pasabanda más ancha.

10 El sistema comprende una matriz bidimensional 4b, sensible a la radiación infrarroja, refrigerada o no refrigerada. En la banda IR3, ésta puede estar constituida por mosaicos refrigerados (HgCdTe, multipozos cuánticos) o no refrigerados (microbolómetros a base de Silicio amorfo u óxido de Vanadio). En la banda IR2, ésta puede estar constituida por detectores refrigerados InSb, HgCdTe. Se explota la señal para proporcionar una imagen en una unidad de visualización del tipo LCD u OLED.

La invención incluye asimismo un segundo sensor bidimensional 4A que opera en la banda visible. Este sensor puede estar constituido:

- 15 por una cámara estándar color o blanco y negro, CCD o CMOS,
- por una cámara de bajo nivel de luz (cámara BNL), basada en las tecnologías EBCMOS, EBCCD, EBAPS, MCP CMOS, MCP CCD, ICCD, ICMOS o a base de silicio adelgazado,
- 20 por un tubo de intensificación de luz, denominado tubo IL, que incluye un fotocátodo, un sistema con amplificación a base de microcanales, una pantalla de visualización cuya parte emisora es de fósforo, asociado a un ocular o a un binocular de repetición de imagen.

En los dos primeros casos, se explota y procesa la señal de vídeo para proporcionar una imagen en una unidad de visualización del tipo LCD u OLED. Las señales infrarrojas y visibles son entonces superponibles, después de tratamientos eventuales en un dispositivo de visualización 11 único.

25 En el caso de un tubo IL, la imagen proporcionada por el fósforo puede repetirse por medio de una cámara 6A, vía una óptica de repetición 5A, como se muestra en la figura 2, de manera que una señal de vídeo sea accesible, visualizable, mezclable con la imagen IR y procesable.

El sistema comprende un mezclador 10.

30 En una variante, la mezcla se efectúa óptimamente y el mezclador 10 incluye una lámina separadora semi-reflectante 7, como se muestra en la figura 3, así como un espejo 8 que reenvía el haz de la vía A hacia la lámina semi-reflectante 7.

Uno o más oculares 9 permiten la proyección de la imagen en el ojo o los ojos del observador.

35 A continuación, se consideran las características ópticas del sistema de la invención. Para un sistema de fusión de sensores, la solución básica consiste en superponer sobre un tramo del campo del sistema las imágenes en las bandas A y B a la misma escala. Si se elige un sensor infrarrojo no refrigerado (IRNR) de bajo coste, ya que esta vía sirve esencialmente para la detección, por lo que la resolución en la banda B es inferior a la de la banda A.

Si F_A es la focal global de la vía A, F_B la focal global de la vía B, D_A y D_B las dimensiones respectivas de los sensores 4A y 4B, los campos de vista $2\theta_A$ y $2\theta_B$ se obtienen mediante las relaciones en el ámbito paraxial, despreciando por lo tanto la distorsión:

$$D_A = 2 \cdot F_A \cdot \tan(\theta_A) \quad D_B = 2 \cdot F_B \cdot \tan(\theta_B)$$

40 Las aberturas dependen de los balances fotométricos. En la banda B, las aberturas para las aplicaciones infrarrojas no refrigeradas van de F/0,8 a F/1,5 típicamente. Para las aplicaciones refrigeradas IR2, las aberturas típicas son del orden de F/3. Para las cámaras con bajo nivel de luz o con tubo IL, las aberturas son del orden de F/1 a F/1,5.

A continuación, se proporcionan algunos órdenes de magnitud a partir de dos ejemplos de fusión IUIRNR, según una arquitectura del tipo de la figura 3.

45 Ejemplo 1:

Sensor 4A IL (vía A), circular, Diámetro: 18 mm Abertura F/1,2

Sensor 4B IRNR (vía B) 384x288 con paso de 25 μm Abertura F/1

Dimensiones del mosaico IRNR: 9,6 x 7,2 mm^2

Campos apuntados ilustrados en la figura 4:

50° horizontal en la vía visible A,
 { 63,7° horizontal en la vía B, IR (caso I) o
 { 41° horizontal en la vía B, IR (caso II).

Las características ópticas se muestran en la siguiente tabla.

	Caso I		Caso II	
	Vía IL(A)	Vía IR(B)	Vía IL(A)	Vía IR(B)
Campo diagonal	50°	75,7°	50°	50°
Campo horizontal	50°	63,7°	50°	41°
Campo vertical	50°	50°	50°	31°
Abertura	1,2	1	1,2	1
Focal	19,3 mm	7,7 mm	19,3 mm	12,9 mm
Diámetro pupila	16 mm	7,7 mm	16mm	12,9 mm

5

Ejemplo 2:

Sensor 4A IL: igual que para el ejemplo 1

Sensor 4B IRNR (vía B) 384x288 con paso de 35 µm Abertura F/1

Dimensiones del mosaico IRNR: 13,44 x 10,08 mm²

10 Campos apuntados: igual que para el ejemplo 1

Las características ópticas se muestran en la siguiente tabla.

	Caso I		Caso II	
	Vía IL(A)	Vía IR(B)	Vía IL(A)	Vía IR(B)
Campo diagonal	50°	75,7°	50°	50°
Campo horizontal	50°	63,7°	50°	41°
Campo vertical	50°	50°	50°	31°
Abertura	1,2	1	1,2	1
Focal	19,3 mm	10,8 mm	19,3 mm	18 mm
Diámetro pupila	16 mm	10,8 mm	16mm	18 mm

Para ilustrar el resto, se consideran desde ahora ambos casos:

La solución II de la versión sensor IRNR 25 µm (ejemplo 1)

15 Focal IR = 12,9 mm

Focal IL = 19,3 mm

La solución II de la versión sensor IRNR 35 µm (ejemplo 2)

Focal IR = 18 mm

Focal IL = 19,3 mm

Los diafragmas de abertura, asociados a las bandas A y B, están supuestamente colocados en la proximidad del separador 2, es decir aproximadamente a medio recorrido del grupo de cabeza 1 y de los relés traseros 3A, 3B, de manera a corregir el cromatismo lateral que depende de la posición de las pupilas.

5 A continuación, se detallan las características del grupo de cabeza 1 y de los relés traseros 3A, 3B. En la figura 5, se han desglosado las vías A y B del sistema de la invención en dos esquemas en línea para simplificar.

Las aberraciones cromáticas se corrigen en parte mediante el grupo de cabeza 1 e individualmente tras la separación de las vías espectrales mediante los relés traseros 3A, 3B. Se sabe además que las aberraciones son más difíciles de corregir cuanto más potentes son las lentes.

10 A tal efecto, el grupo de cabeza y los relés traseros incluyen varios materiales transparentes al mismo tiempo en la banda visible y en la IR lejana (también denominada IR térmica) y/o una red difractiva. Estos materiales se basan preferiblemente en vidrios calcohalogenuros basándose en alternancias por lo menos ternarias y que contienen azufre, como: $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl-La}_2\text{S}_3\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ o $\text{La}_2\text{S}_3\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-RbI}$. Un halógeno es un elemento químico del grupo 17 de la tabla de Mendeleiev: cloro, bromo, yodo, flúor, astato. Los halógenos poseen 7 electrones en su orbital externo: cuando adquieren un electrón, para completar esta capa y conseguir un estado estable, forman un ion negativo también denominado halogenuro. La familia de los calcógenos está formada por la columna 16 de la tabla de Mendeleiev, y tienen tendencia a captar 2 electrones o a formar dos uniones covalentes, el Oxígeno, el Azufre, el Selenio, el Teluro y el Polonio. Se introducen las siguientes anotaciones.

Se supone que la banda baja A es $[\lambda_{Am}, \lambda_{AM}]$ de longitud de onda media λ_A .

Se supone que la banda alta B es $[\lambda_{Bm}, \lambda_{BM}]$ de longitud de onda media λ_B .

20 $n(\lambda)$ es el índice de refracción.

Para un material dado, asociado a una lente i, se señalan las constringencias primarias mediante:

$$v(A) = \frac{n(\lambda_A) - 1}{n(\lambda_{Am}) - n(\lambda_{AM})} \quad v(B) = \frac{n(\lambda_B) - 1}{n(\lambda_{Bm}) - n(\lambda_{BM})} \quad \gamma(B) = \frac{n(\lambda_A) - 1}{n(\lambda_{Bm}) - n(\lambda_{BM})} \quad \kappa = \frac{n(\lambda_A) - 1}{n(\lambda_B) - 1}$$

Se introduce el concepto de dispersión secundaria:

$$\sigma(A) = \frac{n(\lambda_A) - 1}{n(\lambda_A) - n(\lambda_{AM})} \quad \sigma(B) = \frac{n(\lambda_B) - 1}{n(\lambda_B) - n(\lambda_{BM})} \quad \eta(B) = \frac{n(\lambda_A) - 1}{n(\lambda_B) - n(\lambda_{BM})}$$

25 Los materiales que se basan en las alternancias descritas anteriormente poseen características incluidas en los siguientes ámbitos:

	Hito mínimo	Hito máximo	Comentarios
v_A	5	30	
v_B	15	200	v_B es generalmente superior a v_A
γ_B	15	220	$\gamma(B)/v(B)$ entre 1,04 y 1,5
σ_A	8	90	
σ_B	30	500	
η_B	30	550	$\eta(B)/\sigma(B)=\gamma(B)/v(B)$ entre 1,04 y 1,5

Se sabe que cuando se está próximo a una banda de absorción, el material se vuelve muy dispersivo (escasos valores de v y de σ).

30 Consideremos un ejemplo, cuando la base ternaria está constituida por GeS_2 , Ga_2S_3 y CsCl . Se observa que, entre los límites correspondientes a las fases cristalizadas, los distintos vidrios obtenidos mediante adaptación de las proporciones relativas de GeS_2 y de CsCl son más o menos amarillentos.

35 La gran originalidad es el control de la tasa de Cloruro de Cesio para adaptar la longitud de onda de arranque baja. Las composiciones que contengan mayores proporciones de Cloruro de Cesio proporcionarán vidrios más transparentes en el azul.

La longitud de onda de transición óptica hacia el ultravioleta está ligada al bandgap E_g , diferencia de energía entre la banda de valencia y la banda de conducción del componente considerado, a la constante de Planck, h , y a la velocidad de la luz c mediante la relación:

$$\lambda_g = h \cdot c / E_g$$

- 5 Unos compuestos de vidrio con gaps ópticos demasiado reducidos o una contaminación mediante elementos de transición limitan la transparencia del vidrio en el próximo UV y el visible.

La introducción progresiva de halogenuros de alcalinos aumenta el band-gap y, por lo tanto, el límite de transparencia en las longitudes de onda bajas: los halógenos son elementos fuertemente electronegativos y se disminuye la deslocalización de los electrones en algunos átomos.

- 10 Adaptando a partir de este ejemplo, existe por lo tanto, indirectamente, un medio para ajustar la longitud de onda de corte baja, λ_g , y por consiguiente, la dispersión cromática en la banda baja, A.

La absorción multifonon rige la transparencia de los vidrios en el infrarrojo. Está limitada por las vibraciones de la red y, en primera aproximación, obedece a un simple modelo diatómico.

- 15 Si μ es la masa reducida de los dos átomos, f la constante de fuerza de su unión, la longitud de onda de corte alta es un submúltiplo de λ_1 :

$$\lambda_1 = 2\pi c(\mu/f)^{1/2}$$

Por lo tanto hay que privilegiar elementos pesados (para aumentar μ) y uniones iónicas (para reducir f).

Principalmente, el contenido de azufre será el que fije el límite alto: el Selenio sería un poco más favorable (hasta 15 μm); por el contrario, sus transmisiones en visible son un poco justas.

- 20 Estos materiales se eligen de manera a optimizar una función M_C de mérito cromático ponderada y se eligen las potencias de manera a optimizar una función M_P de mérito de potencia global para las dos bandas. Estas funciones se definen mediante las siguientes fórmulas:

$$M_C = p_a(A) \cdot \delta\varphi_a(A)^2 + p_a(B) \cdot \delta\varphi_a(B)^2 + p_l(A) \cdot \delta\varphi_l(A)^2 + p_l(B) \cdot \delta\varphi_l(B)^2 + p_s(A) \cdot \delta\varphi_s(A)^2 + p_s(B) \cdot \delta\varphi_s(B)^2$$

- 25 p_a , p_l , p_s son respectivamente coeficientes de ponderación del cromatismo axial, lateral y secundario; estos coeficientes pueden depender de la banda espectral considerada.

$\delta\varphi_a(A)$, $\delta\varphi_l(A)$ $\delta\varphi_s(A)$ corresponden respectivamente a los diámetros de las manchas inducidas por el cromatismo axial primario, lateral y secundario en la banda A.

$\delta\varphi_a(B)$, $\delta\varphi_l(B)$ y $\delta\varphi_s(B)$ están relacionados respectivamente con los diámetros de las manchas inducidas por el cromatismo axial primario, lateral y secundario en la banda B.

$$M_P = \sum_{i=1}^N \frac{1}{F_{li}^2(A)} + \sum_{i=1}^M \frac{1}{F_{Ai}^2(A)} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{F_{li}^2(B)} + \sum_{i=1}^L \frac{1}{F_{Bi}^2(B)}$$

- 30 Para disminuir las potencias (y, por lo tanto, aumentar las focales) para que la combinación no sea demasiado sensible a las aberraciones geométricas, serán preferibles las soluciones con M_P mínimas.

Se supone que el grupo de cabeza está compuesto por N lentes, que el relé asociado a la banda A incluye M lentes y que el transporte correspondiente a la banda B contiene L lentes.

- 35 $F_{li}(A)$ son las focales de las lentes que componen el grupo de cabeza 1 para la banda A,

$F_{li}(B)$ son las focales de las lentes del grupo de cabeza 1 para la banda B,

$F_{Ai}(A)$ son las focales de las lentes que componen el relé 3A para la banda A,

$F_{Bi}(B)$ son las focales de las lentes que componen el relé 3B para la banda B.

- 40 La función M_C de mérito cromático se optimiza, por ejemplo, mediante una técnica de los menores cuadrados. A continuación, las potencias elegidas son aquellas cuya función M_P de mérito es por ejemplo la más pequeña.

Para limitar el número de materiales necesarios, se puede utilizar una superficie difractiva, reconstituyendo así un material artificial cuya dispersión cromática se rige mediante el paso de la red. La profundidad de los escalones rige la eficacia de difracción en una longitud de onda dada. En adelante, salvo indicación contraria, se denominará

material tanto los vidrios ópticos como una red difractiva. Cuando una red funciona en el orden N, para la longitud de onda λ , cuando el índice de refracción del sustrato de acogida vale $n(\lambda)$, con el régimen escalar y en la aproximación de los escasos ángulos de incidencia, el rendimiento R_λ se escribe en función de la profundidad mediante la relación:

$$R_\lambda = \text{senc}^2\{\lambda.[N - e.(n(\lambda)-1)/\lambda]\}$$

5 Las soluciones difractivas multiespectrales se basan en el siguiente principio:

*la red funciona en el orden 1 para la banda espectral más alta, en este caso la banda B;

*la red funciona en un orden elevado para la banda baja, en este caso la banda A; este orden es el entero más próximo al ratio 'Longitud de onda media de la banda B / Longitud de onda media de la banda A'.

De este modo, para una utilización en el visible y el infrarrojo lejano, este orden es elevado.

10 Ahora bien, se sabe que estas configuraciones están penalizadas por rendimientos mediocres de difracción en los órdenes de difracción elevados, especialmente aquí, en la banda A, banda visible. Una solución consiste en utilizar una superficie difractiva que funciona en el orden 1 para el visible.

La constringencia cromática primaria ligada a la red se escribe por lo tanto:

$$\nu(A) = \frac{\lambda_A}{(\lambda_{Am} - \lambda_{AM})}$$

15 Y la constringencia cromática secundaria:

$$\sigma(A) = \frac{\lambda_A}{(\lambda_A - \lambda_{AM})}$$

El rendimiento de difracción, en el ámbito de los ángulos pequeños, se da mediante:

$$R(A) = \text{senc}^2 \left[\pi \left(N - e \cdot \frac{n(\lambda_A) - 1}{\lambda_A} \right) \right]$$

expresión en la que N es el orden de difracción, e la profundidad de los escalones de la red.

20 Para un sustrato visible de índice 1,5, despreciando las variaciones del índice con la longitud de onda, y para el primer orden de difracción N=1, el rendimiento es máximo cuando:

$$e = \frac{\lambda_A}{n(\lambda_A) - 1} = 2 \cdot \lambda_A = 1 \mu m$$

para $\lambda = 0,5 \mu m$.

Los rendimientos de difracción asociados a los distintos órdenes en la banda B se escriben:

$$R(B) = \text{senc}^2 \left[\pi \left(N - \frac{n(\lambda_B) - 1}{\lambda_B} \cdot \frac{\lambda_A}{n(\lambda_A) - 1} \right) \right]$$

25 Si se desprecian las variaciones de índice del sustrato con la longitud de onda, para $\lambda_B = 10 \mu m$, la figura 7 muestra los rendimientos de difracción en los órdenes 3, 2, 1, -1, -2 y -3.

Se observa que éstos son muy débiles, de manera que en $10 \mu m$, gran parte de la energía queda confinada en el orden 0. Por lo tanto, la red no es visible con esta longitud de onda.

De este modo, incluso en el grupo de cabeza multiespectral 1, es posible disociar la corrección del cromatismo en ambas bandas, añadiendo un perfil difractivo que opera para la vía visible (banda A) que no se ve en la banda IR (banda B).

5 A continuación, se proporcionan ejemplos de materiales y de potencia del grupo de cabeza y de los relés traseros, considerando en primer lugar el caso II del ejemplo 1.

En dicho ejemplo:

el tamaño del píxel IR vale $p_{IR} = 25 \mu\text{m}$

focal global de la vía IL (A): 19,3 mm

focal global de la vía IR (B): 12,9 mm.

10 Para la vía IL, se considera una especificación de resolución a 70 pares de líneas/mm, que es típicamente la de un tubo IL de muy buena calidad.

Como se muestra en la figura 6, el tamaño del píxel del sensor visible de la vía A es como máximo igual a $p_v = 1/70 = 14 \mu\text{m}$; se imponen por lo tanto dimensiones radiales de mancha inferiores a $7 \mu\text{m}$ en la vía visible.

15 En la vía IR, la mancha no debe superar el límite de difracción, de diámetro $2,44 \lambda.N = 24 \mu\text{m}$ a $F/1$, lo que en este caso se respeta ya que el tamaño del píxel IR vale $p_{IR} = 25 \mu\text{m}$.

Se elige por ejemplo la siguiente ponderación para la optimización:

Ponderación						
Ponderación	Pa(A)	Pa(B)	Pl(A)	Pl(B)	Ps(A)	Ps(B)
	2	1	2	1	2	1

20 Las focales son bastante dispersas. La distancia grupo de cabeza 1-relé A está fijada en 25 mm. Como la focal del relé 3B es reducida, se rebaja la distancia del grupo 1- relé 3B a 20 mm.

Se adaptan las tiradas para presentar focales del grupo 1 relativamente próximas.

La pupila (el stop) está situada a medio recorrido de la distancia $D(A)$.

25 Dado que las aberturas en ambas bandas A y B son distintas, el diafragma de apertura se sitúa preferiblemente en los relés traseros.

La colocación paraxial proporciona los siguientes parámetros:

Focal global de la vía A $F(A)$: 19,3 mm,

Focal global de la vía B $F(B)$: 12,9 mm,

Tirada $T(A)$: 14 mm, Tirada $T(B)$: 10 mm,

30 Posición pupila: 12,5 mm,

Distancia 1-3A: 25 mm, Distancia 1-3B: 20 mm,

Focal del grupo de cabeza para la vía A $F_1(A)$: 91,04 mm,

Focal del grupo de cabeza para la vía B $F_1(B)$: 88,97 mm,

Focal del relé 3A, F_A : 17,77 mm,

35 Focal del relé 3B, F_B : 11,69 mm.

En las siguientes tablas, se presentan distintas soluciones de materiales.

Las funciones de mérito cromáticas son más prometedoras cuando el grupo de cabeza 1 incluye 3 materiales. Para un grupo de cabeza que incluye 3 materiales, y relés que incluyen 2 cada uno, se pueden obtener distintas combinaciones posibles.

5 En el ejemplo 1 (caso II), las características de los sistemas ternarios y cuaternarios de los calcogenuros azufrados son las siguientes con dos ejemplos de vidrios calcogenuros (vidrio calcogenuro 1, vidrio calcogenuro 2):

	Vidrio calcogenuro 1	Vidrio calcogenuro 2
V_A	15,0	25,0
V_B	200,0	130,0
γ_B	210,0	135,2
σ_A	60,0	85,0
σ_B	350,0	240,0
η_B	367,5	249,6

Las bandas de trabajo son las siguientes:

Banda 0,5-0,9 μm

Banda 8-12 μm .

10 En este ejemplo, el grupo de cabeza, el relé A y el relé B incluyen respectivamente una alternancia de tres materiales según las siguientes secuencias:

- grupo de cabeza: ZnS multiespectral – vidrio calcogenuro 1 – vidrio calcogenuro 2
- relé A: CaF2 – vidrio calcogenuro 1 – ZnS multiespectral
- relé B: Ge – ZnS multiespectral

15 Los resultados son los siguientes, con los valores de las focales en mm, así como la función de mérito de cromatismo:

Las focales del grupo de cabeza son iguales a:

ZnSM: -290,2

vidrio calcogenuro 1: -77,3

20 vidrio calcogenuro 2: 36,5

Las focales del relé A son iguales a:

CaF2: 10,6

vidrio calcogenuro 2: -26,5

Las focales del relé B son iguales a:

25 Ge: 10,6

ZnSM: -469,1.

La función de mérito de las potencias es igual a 0,0189, la función de mérito de corrección de las aberraciones cromáticas ponderada es igual a 0,00025.

30 Cuando el grupo frontal incluye 4 elementos, todas las aberraciones están prácticamente corregidas. Para un grupo de cabeza que incluye 4 materiales, y para unos relés que incluyen 2 cada uno, se obtienen como resultados:

Las focales del grupo de cabeza son iguales a:

ZnSM: 91,4

vidrio calcogenuro 1: 11,9

vidrio calcogenuro 2: -17,36

ZnSE: -37,93

Las focales del relé A son iguales a:

5 CaF2: 10,7

vidrio calcogenuro 2: -26,89

Las focales del relé B son iguales a:

Gasir: 11,95

Red difractiva: 553,6

10 La función de mérito de las potencias es igual a 0,0276, la función de mérito de corrección de las aberraciones cromáticas ponderada es igual a $2,6362 \cdot 10^{-5}$.

Obsérvese que en este ejemplo, el relé de la banda B incluye una red difractiva de manera que a este nivel, solo hay un único material.

15 Para reducir el número de materiales necesarios en la óptica de cabeza multiespectral, se puede, según la invención, utilizar un perfil difractivo que solo será 'visto' en la banda visible. Es el siguiente ejemplo:

Las focales del grupo de cabeza son iguales a:

ZnSM: -336,68

vidrio calcogenuro 1: -199,352

vidrio calcogenuro 2: 53,73

20 Red difractiva: 2792,194

Las focales del relé A son iguales a:

CaF2: 10,7

vidrio calcogenuro 2: -26,96

Las focales del relé B son iguales a:

25 Gasir: 11,95

Red difractiva: 565,85

La función de mérito de las potencias es igual a 0,0175, la función de mérito de corrección de las aberraciones cromáticas ponderada es igual a $1,8373 \cdot 10^{-5}$.

En los resultados anteriores, ZnSM designa el ZnS multiespectral.

30 A continuación, se proporcionan ejemplos de materiales y de potencia del grupo de cabeza y de los relés traseros, considerando el caso II del ejemplo 2, en el que se utiliza el mismo sensor IL con campos del orden de 50° en la vía térmica. El tamaño del píxel IR, para este ejemplo, vale $p_{IR} = 35 \mu\text{m}$.

La focal IR es ahora bastante próxima de la vía visible, y vale $F_{IR} = 18 \text{ mm}$.

La focal de la vía visible se mantiene en 19,3 mm.

35 Por lo tanto, las focales son bastante próximas.

Se mantiene la ponderación del ejemplo anterior para la optimización:

Las distancias 1-3A y 1-3B se fijan en 25 mm.

La colocación paraxial proporciona los siguientes resultados:

Focal global de la vía A $F(A)$: 19,3 mm,

Focal global de la vía B $F(B)$: 18 mm,
 Tirada T(A): 14 mm, Tirada T(B): 13 mm,
 Posición pupila: 12,5 mm,
 Focal del grupo de cabeza para la vía A $F_1(A)$: 91,04 mm,
 5 Focal del grupo de cabeza para la vía B $F_1(B)$: 90 mm,
 Focal del relé F_A : 17,77 mm,
 Focal del relé F_B : 16,25 mm.

Para un grupo de cabeza que incluye 3 materiales y unos relés que incluyen 2 materiales cada uno, se obtienen los siguientes resultados.

10 Las focales del grupo de cabeza son iguales a:

ZnSM: .287,55
 vidrio calcogenuro 1: -77,49
 vidrio calcogenuro 2: 36,54

Las focales del relé A son iguales a:

15 CaF2: 10,7
 vidrio calcogenuro 2: -26,48

Las focales del relé B son iguales a:

Ge: 15,86
 ZnSM: -655,11

20 La función de mérito de las potencias es igual a 0,01518, la función de mérito de corrección de las aberraciones cromáticas ponderada es igual a 0,000256571.

Para un grupo de cabeza que incluye 4 materiales y unos relés que incluyen cada uno dos materiales, se obtienen los siguientes resultados.

Las focales del grupo de cabeza son iguales a:

25 ZnSM: -339,89
 vidrio calcogenuro 1: -197,4
 vidrio calcogenuro 2: 53,66
 Red difractiva: 2798,385

Las focales del relé A son iguales a:

30 CaF2: 10,7
 vidrio calcogenuro 2: -26,96

Las focales del relé B son iguales a:

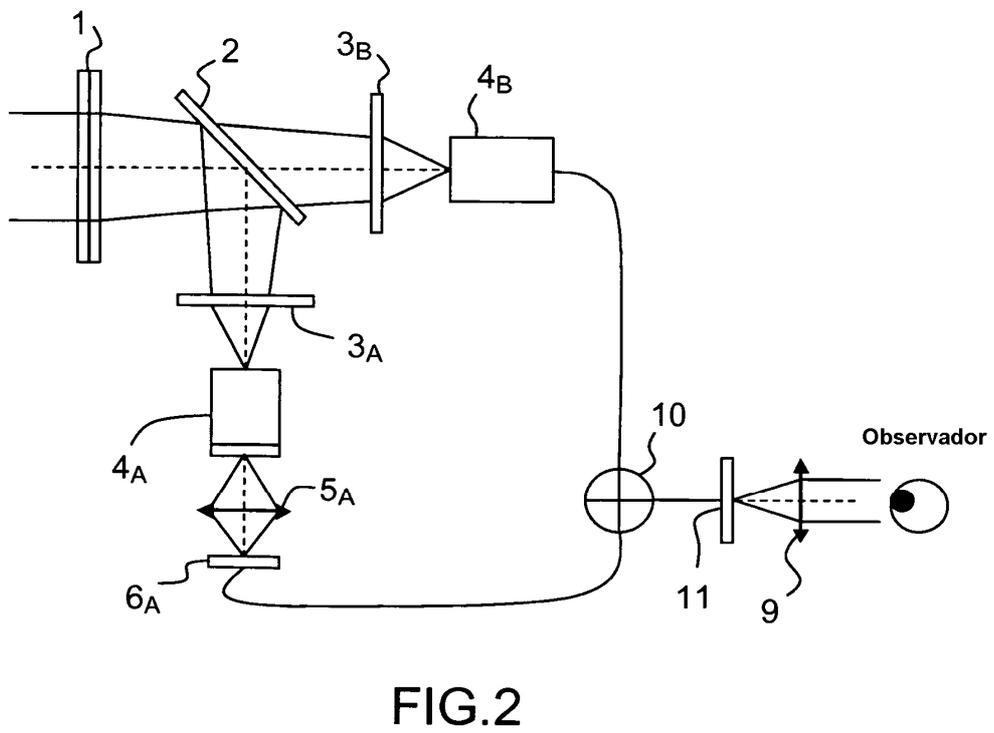
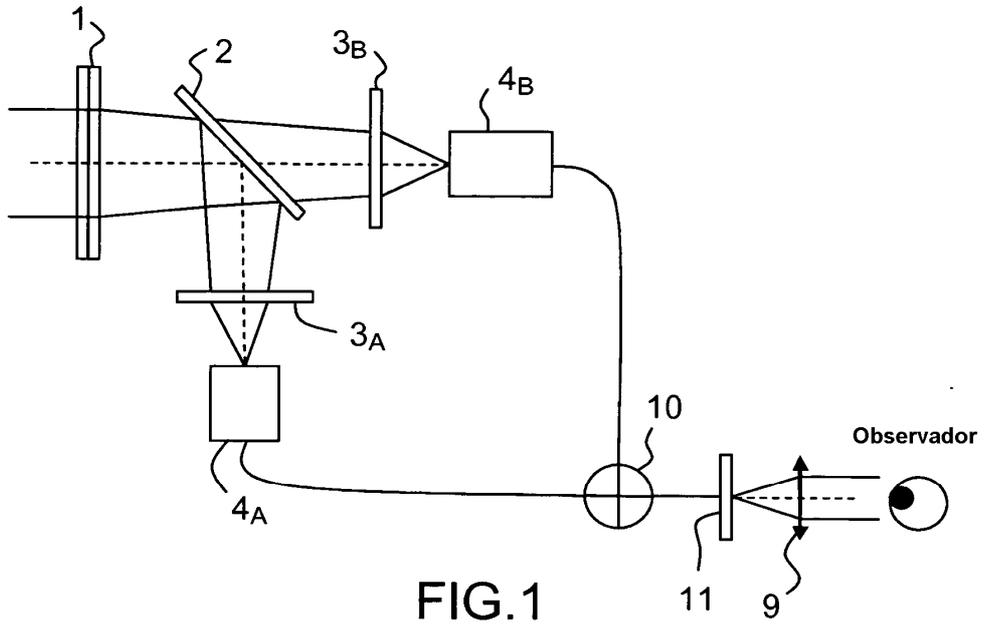
Gasir: 16,59
 Red difractiva: 789,23

35 La función de mérito de las potencias es igual a 0,01411, la función de mérito de corrección de las aberraciones cromáticas ponderada es igual a $1,44738 \cdot 10^{-6}$.

Los resultados obtenidos en el caso II del 2º ejemplo son más favorables.

REIVINDICACIONES

1. Sistema óptico capaz de funcionar en varias bandas espectrales, entre ellas las bandas visible e IR lejana, una vía espectral estando asociada a una banda espectral, que comprende:
- 5
- un grupo óptico de cabeza (1) dióptrica convergente común a dichas bandas espectrales, que incluye materiales transparentes en dichas bandas espectrales a base de vidrios calcohalogenuros basándose en un sistema por lo menos ternario y con contenido de azufre,
 - un separador (2) de las vías espectrales posteriormente al grupo de cabeza,
 - en cada vía espectral:
 - i. un relé dióptrico (3A, 3B) convergente de corrección de las aberraciones cromáticas y geométricas,
 - 10 ii. un sensor bidimensional (4A, 4B) capaz de suministrar una señal,
 - un mezclador (10) de las señales procedentes de cada sensor.
2. Sistema óptico según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el o los relés de corrección (3A, 3B) incluyen materiales transparentes en su banda espectral basados en halogenuros.
3. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el grupo de cabeza (1) incluye una red difractiva cuya profundidad es inferior a 5 veces la longitud de onda media de la banda espectral superior, porque la red es capaz de funcionar en el orden 1 o -1 en la banda inferior y que la profundidad e de los escalones es sensiblemente igual a $\lambda_m/(n-1)$, siendo λ_m la longitud de onda media de la banda inferior, n, el índice de refracción del sustrato.
4. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un relé de corrección (3A) es capaz de funcionar en la banda espectral más baja y el otro relé de corrección (3B) es capaz de funcionar en la banda más alta, uno de estos relés de corrección o los dos (3A y/o 3B) incluyen una red difractiva capaz de funcionar en el orden 1 o -1 y que la profundidad e de los escalones es sensiblemente igual a $\lambda_m/(n-1)$, siendo λ_m la longitud de onda media de la banda de funcionamiento del relé A y/o B, n, el índice de refracción del sustrato.
5. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el mezclador es óptico, analógico o digital.
6. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el separador (2) es capaz de reflejar la o las bandas espectrales inferiores y transmitir la banda espectral superior.
7. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sistema es biespectral.
8. Sistema óptico según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la primera banda espectral está incluida entre 0,4 μm y 1,1 μm y la segunda banda espectral está incluida entre 7,5 μm y 14 μm .
9. Sistema óptico según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la primera banda espectral está incluida entre 0,4 μm y 1,1 μm y la segunda banda espectral está incluida entre 3 μm y 5 μm .
10. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el separador (2) es una lámina de caras planas paralelas, o una lámina delgada prismática, o un cubo macizo.
11. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (4B) de la banda espectral visible es una cámara CCD o CMOS, o un tubo de intensificación de luz o una cámara de bajo nivel de luz.
12. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (4A) de la banda espectral IR es una matriz bidimensional refrigerada o no refrigerada.
13. Sistema óptico según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** incluye además, posteriormente al mezclador, un dispositivo de visualización (11) y por lo menos un ocular (9).
14. Sistema óptico según la reivindicación 1 en el que los vidrios de calcogenuros son los sistemas ternarios $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$, $\text{La}_2\text{S}_3\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ o $\text{La}_2\text{S}_3\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-RbI}$.



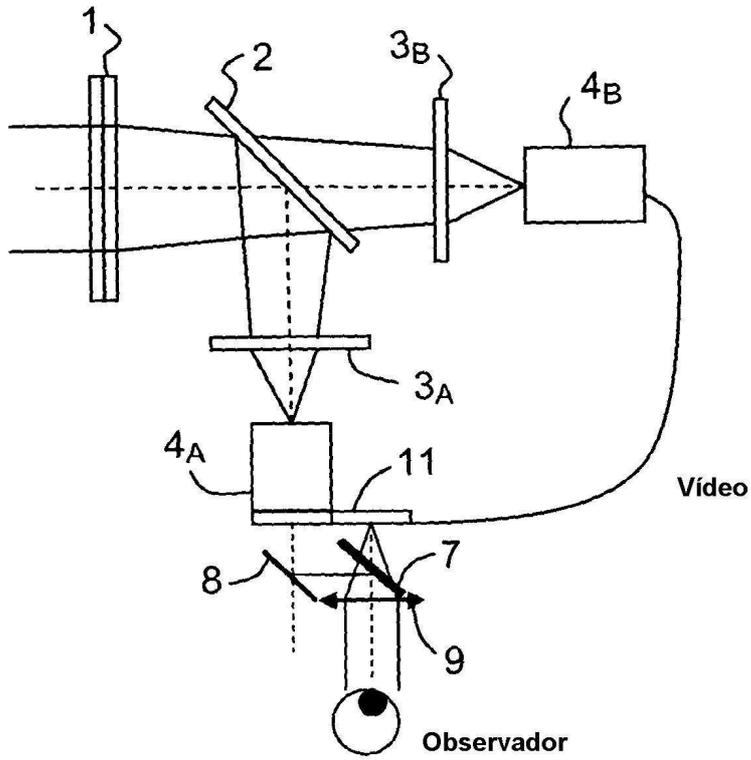


FIG.3

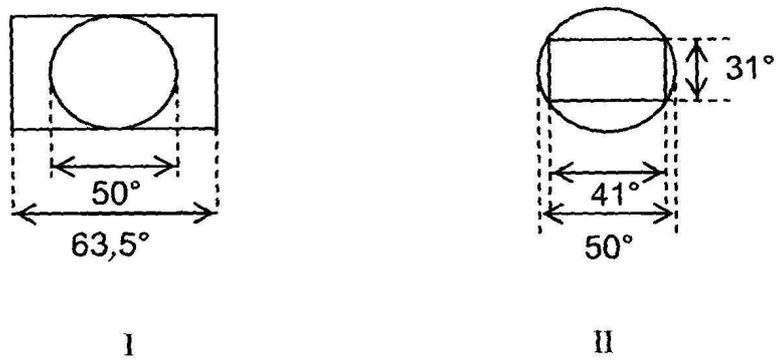


FIG.4

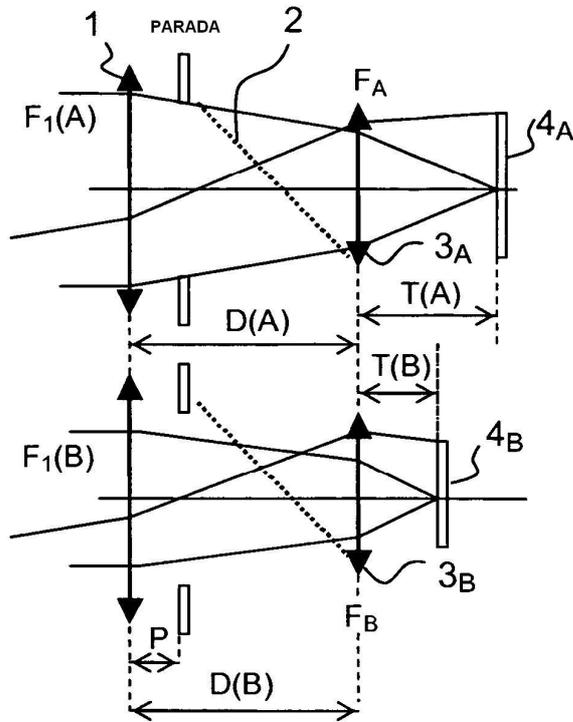


FIG.5

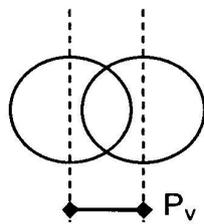


FIG.6

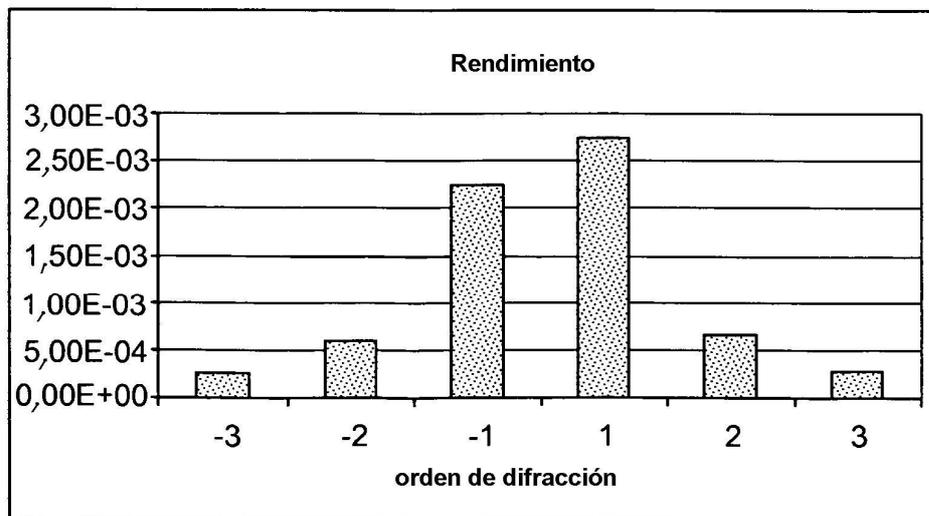


FIG.7