



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 085**

51 Int. Cl.:

**G02B 13/22** (2006.01)

**G02B 13/18** (2006.01)

**G02B 13/00** (2006.01)

**G02B 9/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07003030 .9**

96 Fecha de presentación : **13.02.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1821129**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.08.2007**

54 Título: **Lente de formación de imágenes.**

30 Prioridad: **15.02.2006 JP 2006-38115**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.08.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.08.2011**

73 Titular/es: **FUJIFILM CORPORATION**  
**26-30, Nishiazabu 2-chome**  
**Minato-ku, Tokyo, JP**

72 Inventor/es: **Shinohara, Yoshikazu**

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 364 085 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

Lente de formación de imágenes.

5 **Antecedentes de la invención**1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere a una lente de formación de imágenes para ser usada en equipos de formación de imágenes que usan un elemento de formación de imágenes tal como un CCD (Dispositivo Acoplado por Carga) y un CMOS (Semiconductor de Metal Óxido Complementario).

2. Descripción de la técnica relacionada

15 Recientemente, se ha reducido notablemente el tamaño de un elemento de formación de imágenes tal como un CCD y un CMOS, y se ha incrementado su número de píxeles. Por esta razón, el cuerpo principal de los equipos de formación de imágenes y la lente montada en el cuerpo principal de los equipos de formación de imágenes han requerido también un tamaño reducido y un mayor rendimiento. Además, en correspondencia con el elemento de formación de imágenes con un número incrementado de píxeles, se ha demandado también que la lente de formación de imágenes presente una característica telecéntrica, es decir, se ha demandado que un ángulo de incidencia sobre el elemento de formación de imágenes sea casi paralelo a un eje óptico (a saber, que el ángulo de incidencia sobre el elemento de formación de imágenes sea casi perpendicular al elemento de formación de imágenes). En la técnica relacionada, por ejemplo, la mayoría de lentes de formación de imágenes montadas en un teléfono celular con una cámara está compuesta por tres lentes; no obstante, para hacer frente al incremento del número de píxeles, existe una tendencia hacia un número mayor de lentes. En una lente de formación de imágenes dada a conocer en el documento JP-2005-208236, una segunda lente dispuesta en segundo lugar desde el lado del objeto es una lente negativa, cuya superficie en el lado del objeto es cóncava.

30 No obstante, en la lente de formación de imágenes dada a conocer en el documento JP-2005-208236, hay espacio para la mejora con respecto a la aberración cromática de la misma y similares. Además, en una lente de formación de imágenes compuesta por cuatro lentes, con el fin de garantizar la característica telecéntrica, se espera que en el lado del objeto se disponga un diafragma de apertura siempre que sea posible. En este caso, cuando la superficie del lado del objeto de la segunda lente es cóncava, como en la lente de formación de imágenes proporcionada por el documento JP-2005-208236, la sensibilidad de fabricación de la misma es elevada y, por lo tanto, por ejemplo, cuando la posición de la lente se desplaza en el proceso de fabricación de la misma, es fácil que la superficie de la imagen de la misma varíe.

40 Surgen problemas y desventajas similares con los sistemas de cuatro lentes dados a conocer en el documento JP 2002-36 55 29.

**Sumario de la invención**

45 Un objetivo de una forma de realización no limitativa, ilustrativa, de la invención es proporcionar una lente de formación de imágenes capaz de materializar un sistema de lentes que pueda hacer frente al incremento del número de píxeles, que se pueda hacer compacto y que pueda proporcionar un alto rendimiento.

50 Según un aspecto de la invención, se proporciona una lente de formación de imágenes que comprende: en orden desde un lado del objeto de la lente de formación de imágenes, una primera lente de una lente positiva que tiene una superficie convexa en el lado del objeto de la misma; una segunda lente de una lente negativa en forma de menisco que tiene una superficie cóncava en un lado de la imagen de la misma; una tercera lente de una lente positiva en forma de menisco que tiene una superficie convexa en el lado de la imagen de la misma; y una cuarta lente de una lente positiva o negativa, en la que ambas superficies de la cuarta lente son asféricas y la cuarta lente tiene una superficie cóncava en el lado de la imagen en la proximidad de un eje óptico de la cuarta lente. La lente de formación de imágenes cumple las fórmulas (1) a (4):

$$\begin{array}{ll}
 \text{vd } 1 > 50 & (1) \\
 \text{vd } 2 < 30 & (2) \\
 |f_2 / f_1| > 1 & (3) \\
 0,5 < |f_3 / f_4| < 1,5 & (4)
 \end{array}$$

60 en las que vd 1 representa un número de Abbe de la primera lente; vd 2 representa un número de Abbe de la segunda lente; f1 representa una distancia focal de la primera lente; f2 representa una distancia focal de la segunda lente; f3 representa una distancia focal de la tercera lente; y f4 representa una distancia focal de la cuarta lente.

65 La lente de formación de imágenes según un aspecto de la invención está compuesta por cuatro lentes en su totalidad; y, los materiales de las lentes, las formas de las superficies de las lentes y las distribuciones de potencia

de las lentes respectivas están optimizados. Esto puede proporcionar un sistema de lentes que puede hacer frente al incremento del número de píxeles, que se puede hacer compacto y que puede proporcionar un alto rendimiento. Especialmente, puesto que se cumplen las fórmulas (1) y (2), se puede efectuar una corrección sobre la aberración cromática longitudinal y el color lateral. Además, puesto que se cumplen las fórmulas (3) y (4), no solamente se puede garantizar la característica telecéntrica y se puede corregir la aberración cromática longitudinal y el color lateral de una manera eficaz, sino que también se tiene la capacidad de reducir el tamaño del conjunto total del sistema de lentes. Además, puesto que la segunda lente se forma de manera que presenta una forma de menisco negativo con su superficie cóncava en el lado de la imagen, se puede reducir la variación de la superficie de la imagen debido al desplazamiento de la posición de la lente en el proceso de fabricación, lo cual hace posible que se proporcione un sistema de lentes que resulta excelente en cuanto a su idoneidad para la fabricación.

En la lente de formación de imágenes según un aspecto de la invención, también se puede disponer un diafragma de apertura más cerca de un objeto que la superficie del lado de la imagen de la primera lente. O, también se puede disponer un diafragma de apertura entre la primera y la segunda lentes. Puesto que el diafragma de apertura se dispone en el lado relativamente avanzado, se puede obtener una ventaja al garantizar la característica telecéntrica.

Además, en la lente de formación de imágenes según un aspecto de la invención, la superficie en el lado de la imagen de la cuarta lente, preferentemente, se puede formar de tal manera que sea cóncava en la proximidad de un eje óptico y convexa en la periferia de la cuarta lente. Esto puede proporcionar una ventaja especialmente en la corrección de la curvatura de campo así como a la hora de garantizar la característica telecéntrica.

### Breve descripción de los dibujos

Las características de la invención se pondrán de manifiesto de forma más detallada al considerar la forma de realización ejemplificativa de la invención, que se expone esquemáticamente en los dibujos, en los cuales:

la figura 1 es una vista en sección de una lente de formación de imágenes según un Ejemplo comparativo 1;

la figura 2 es una vista en sección de una lente de formación de imágenes según el Ejemplo 2 de la invención;

la figura 3 es una vista en sección de una lente de formación de imágenes según el Ejemplo 3 de la invención;

la figura 4 es una vista en sección de una lente de formación de imágenes según el Ejemplo 4 de la invención;

la figura 5 muestra datos de lente sobre la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1 de la invención; y, específicamente, (A) muestra datos básicos de lente y (B) muestra datos de lente sobre la superficie esférica;

la figura 6 muestra datos de lente sobre la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 2 de la invención; y, específicamente, (A) muestra datos básicos de lente y (B) muestra datos de lente sobre la superficie esférica;

la figura 7 muestra datos de lente sobre la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 3 de la invención; y, específicamente, (A) muestra datos básicos de lente y (B) muestra datos de lente sobre la superficie esférica;

la figura 8 muestra datos de lente sobre la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 4 de la invención; y, específicamente, (A) muestra datos básicos de lente y (B) muestra datos de lente sobre la superficie esférica;

la figura 9 muestra valores referentes a las fórmulas en los Ejemplos respectivos;

la figura 10 muestra una vista de aberraciones correspondientes a las aberraciones respectivas de la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1 de la invención; y, específicamente, (A) muestra aberraciones esféricas, (B) muestra astigmatismos y (C) muestra distorsiones;

la figura 11 muestra una vista de aberraciones correspondientes a las aberraciones respectivas de la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 2 de la invención; y, específicamente, (A) muestra aberraciones esféricas, (B) muestra astigmatismos y (C) muestra distorsiones;

la figura 12 muestra una vista de aberraciones correspondientes a las aberraciones respectivas de la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 3 de la invención; y, específicamente, (A) muestra aberraciones esféricas, (B) muestra astigmatismos y (C) muestra distorsiones;

la figura 13 muestra una vista de aberraciones correspondientes a las aberraciones respectivas de la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 4 de la invención; y, específicamente, (A) muestra aberraciones esféricas, (B) muestra astigmatismos y (C) muestra distorsiones.

### Descripción detallada de las formas de realización ejemplificativas

Aunque la invención se describirá a continuación haciendo referencia a las formas de realización ejemplificativas de la misma, las siguientes formas de realización y modificaciones ejemplificativas no limitan la invención.

Según un aspecto de la invención, se proporciona una lente de formación de imágenes que comprende: en orden desde el lado del objeto, una primera lente de una lente positiva que tiene una superficie convexa en el lado del objeto de la misma; una segunda lente en forma de menisco que tiene una superficie cóncava en un lado de la imagen de la misma; una tercera lente en forma de menisco que tiene una superficie convexa en el lado de la imagen de la misma; y una cuarta lente de una lente positiva o negativa, en la que ambas superficies de la cuarta lente son esféricas y la cuarta lente tiene una superficie cóncava en el lado de la imagen y en la proximidad de un eje óptico de la cuarta lente. Además, los materiales de las lentes y las distribuciones de potencia de las lentes respectivas están optimizados. Esto puede materializar un sistema de lentes que puede hacer frente al incremento del número de píxeles, que se puede hacer compacto y que puede proporcionar un alto rendimiento.

A continuación, se proporcionará de forma detallada una descripción de una lente de formación de imágenes según una forma de realización ejemplificativa de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra una estructura ejemplificativa comparativa de una lente de formación de imágenes que no forma parte de la invención. Esta estructura se corresponde con la estructura de la lente del Ejemplo 1 (figura 5 (A), figura 5 (B)) que se describirá posteriormente. La figura 2 muestra una segunda estructura ejemplificativa de una lente de formación de imágenes según una forma de realización de la invención. Esta estructura se corresponde con la estructura de la lente del Ejemplo 2 (figura 6 (A), figura 6 (B)) que se describirá posteriormente. La figura 3 muestra una tercera estructura ejemplificativa de una lente de formación de imágenes según una forma de realización de la invención. Esta estructura se corresponde con la estructura de la lente del Ejemplo 3 (figura 7 (A), figura 7 (B)) que se describirá posteriormente. La figura 4 muestra una cuarta estructura de una lente de formación de imágenes según una forma de realización de la invención. Esta estructura se corresponde con la estructura de la lente del Ejemplo 4 (figura 8 (A), figura 8 (B)) que se describirá posteriormente. En las figuras 1 a 4, el carácter de referencia  $R_i$  designa el radio de curvatura de una superficie  $i$ -ésima, en la que la superficie de un elemento componente dispuesta más cerca del objeto se considera como una primera superficie, y el valor numérico del carácter de referencia se incrementa secuencialmente hacia el lado de la imagen (el lado de formación de la imagen). El carácter de referencia  $D_i$  designa un intervalo de superficies entre la superficie  $i$ -ésima y la superficie  $(i+1)$ -ésima sobre un eje óptico  $Z_1$ .

La presente lente de formación de imágenes es adecuada para ser usada en varios tipos de equipos de formación de imágenes, por ejemplo, un teléfono celular, una cámara fotográfica digital y una cámara de vídeo digital, que usan un elemento de formación de imágenes tal como un CCD o un CMOS. Esta lente de formación de imágenes incluye una primera lente  $G_1$ , una segunda lente  $G_2$ , una tercera lente  $G_3$  y una cuarta lente  $G_4$  en este orden desde el lado del objeto a lo largo del eje óptico  $Z_1$ . En el lado frontal de la primera lente  $G_1$  está dispuesto un diafragma de apertura óptica  $S_t$  y, más específicamente, el mismo está dispuesto más cerca de un objeto que el lado de la imagen de la primera lente  $G_1$  a lo largo del eje óptico  $Z_1$ . Por cierto, tal como en la cuarta estructura mostrada en la figura 4, el diafragma de apertura  $S_t$  también se puede disponer entre la primera lente  $G_1$  y la segunda lente  $G_2$  a lo largo del eje óptico  $Z_1$ .

Sobre la superficie de formación de imágenes  $S_{img}$  de esta lente de formación de imágenes, se ha dispuesto un elemento de formación de imágenes tal como un CCD. Entre la cuarta lente  $G_4$  y el elemento de formación de imágenes, según las estructuras de cámaras en las que está montada la lente, se han dispuesto varios elementos ópticos  $G_C$ . Por ejemplo, se puede haber dispuesto un elemento óptico plano tal como una tapa de vidrio para la protección de una superficie de formación de imágenes o un filtro de corte de rayos infrarrojos.

La primera lente  $G_1$  es una lente positiva que tiene una superficie convexa en el lado del objeto, por ejemplo, una lente biconvexa. La segunda lente  $G_2$  es una lente de menisco negativo que tiene una superficie cóncava en el lado de la imagen. La tercera lente  $G_3$  es una lente de menisco positivo que tiene una superficie convexa en el lado de la imagen. La cuarta lente  $G_4$  es una lente positiva o negativa que tiene una superficie cóncava en el lado de la imagen y en la proximidad del eje óptico.

La superficie del lado de la imagen de la tercera lente  $G_3$  es convexa en la proximidad del eje óptico y, preferentemente, la tercera lente  $G_3$  puede tener una forma tal que la potencia positiva de la misma se reduzca a medida que aumenta la distancia desde el eje óptico  $Z_1$ . La cuarta lente  $G_4$  se puede formar preferentemente de tal manera que las dos superficies de la misma tengan una forma esférica. La superficie de la cuarta lente  $G_4$  en el lado del objeto puede tener preferentemente una forma convexa en la proximidad del eje óptico. La periferia de la superficie del lado del objeto de la cuarta lente  $G_4$  tiene una forma tal que, por ejemplo, la potencia positiva de la misma se reduce a medida que aumenta la distancia desde el eje óptico  $Z_1$ . Además, la periferia de la cuarta lente  $G_4$  también se puede formar de tal manera que, a medida que aumenta la distancia desde el eje óptico  $Z_1$ , la forma de la misma cambie desde una forma convexa a una forma cóncava y cambie adicionalmente hacia una forma convexa. En cuanto a la superficie del lado de la imagen de la cuarta lente  $G_4$ , puede proporcionar preferentemente

una forma cóncava en la proximidad del eje óptico y puede proporcionar una forma convexa en la periferia de la misma.

Esta lente de formación de imágenes cumple las siguientes fórmulas,

$$\begin{aligned} \text{vd } 1 &> 50 && (1) \\ \text{vd } 2 &< 30 && (2) \\ |f_2 / f_1| &> 1 && (3) \\ 0,5 < |f_3 / f_4| &< 1,5 && (4), \end{aligned}$$

en las que vd 1: el número de Abbe de la primera lente; vd 2: el número de Abbe de la segunda lente; f1: la distancia focal de la primera lente; f2: la distancia focal de la segunda lente; f3: la distancia focal de la tercera lente; y, f4: la distancia focal de la cuarta lente.

A continuación se proporcionará una descripción del funcionamiento y los efectos de la lente de formación de imágenes con la estructura anterior.

Según la lente de formación de imágenes, no solamente el conjunto total de la lente está compuesto por cuatro lentes sino que también los materiales de las lentes, las formas de las superficies de las lentes y las distribuciones de potencia de las lentes respectivas están optimizados; y por lo tanto, se puede obtener un sistema de lentes de alto rendimiento que puede hacer frente al incremento del número de píxeles y que también se puede hacer compacto. En la lente de formación de imágenes, mediante la disposición del diafragma de apertura St en el lado relativamente avanzado (en el lado del objeto) de la misma, se garantiza la característica telecéntrica. Cuando el diafragma de apertura St se dispone en el lado avanzado de la lente de formación de imágenes, se potencia la sensibilidad de fabricación de la lente, con lo cual, por ejemplo, cuando la lente se desplaza en cuanto a posición, es fácil que se produzca la variación de la superficie de la imagen. No obstante, según la lente de formación de imágenes, puesto que la segunda lente G2 se ha constituido con una forma de menisco negativo que tiene una superficie cóncava en el lado de la imagen, se puede reducir la variación de la superficie de la imagen para poder proporcionar de este modo un sistema de lentes que resulta excelente en cuanto a su idoneidad para la fabricación. Además, en la lente de formación de imágenes, la superficie de la cuarta lente G4 en el lado de la imagen se ha formado de tal manera que tiene una forma cóncava en la proximidad del eje óptico y tiene una forma convexa en la periferia de la misma, lo cual hace posible corregir la curvatura de campo sobre el intervalo que se extiende desde la porción central de la misma hasta las porciones periféricas de ella. Además, la presente lente de formación de imágenes es ventajosa en cuanto a garantizar la característica telecéntrica, y, sobre el intervalo que se extiende desde la porción central de la superficie de la imagen hasta las porciones periféricas de la misma, se posibilita que el ángulo de incidencia de rayos de luz sobre la superficie de un elemento de formación de imágenes sea perpendicular a la superficie del elemento de formación de imágenes.

Según la lente de formación de imágenes, puesto que la primera lente G1 está realizada con un material de lente de baja dispersión que puede cumplir la fórmula (1) y puesto que la segunda lente G2 está realizada con un material de lente de alta dispersión que puede cumplir la fórmula (2), se puede proporcionar un efecto de corrección sobre la aberración cromática longitudinal y el color lateral. Cuando la lente de formación de imágenes se sitúa por debajo del límite inferior de la fórmula (1), principalmente se incrementa la aberración cromática longitudinal, lo cual hace que se deteriore desfavorablemente el rendimiento de la lente de formación de imágenes. Además, cuando la lente de formación de imágenes se sitúa más allá del límite superior de la fórmula (2), principalmente se incrementa el color lateral, lo cual hace que se deteriore desfavorablemente el rendimiento de la lente de formación de imágenes. El límite superior de la fórmula (2) puede ser preferentemente igual o menor que el siguiente valor.

$$\text{vd } 2 < 29 \quad (2A)$$

Al cumplir las fórmulas (3) y (4), no solamente se puede proporcionar la característica telecéntrica y se puede corregir apropiadamente la aberración cromática longitudinal y el color lateral, sino que también el conjunto total del sistema de lentes se puede hacer compacto. La fórmula (3) regula la relación apropiada de potencia entre las dos lentes (la primera y la segunda lentes G1 y G2) que están dispuestas en el lado del objeto. Cuando la lente de formación de imágenes se sitúa por debajo del límite inferior de la fórmula (3), se proporciona una ventaja por cuanto que se puede reducir la longitud total del sistema de lentes, pero se incrementa la aberración cromática longitudinal, lo cual hace que se deteriore desfavorablemente el rendimiento del sistema de lentes. La fórmula (4) regula la relación apropiada de potencias entre las dos lentes (la tercera y la cuarta lentes G3 y G4) dispuestas en el lado de la imagen. Cuando la lente de formación de imágenes se sitúa más allá del límite superior de la fórmula (4), se incrementa el ángulo de incidencia de los rayos de luz sobre la superficie del elemento de formación de imágenes, lo cual hace que empeore desfavorablemente la característica telecéntrica del sistema de lentes. Por otro lado, cuando la lente de formación de imágenes se sitúa por debajo del límite inferior de la fórmula (4), se puede acortar de forma ventajosa la longitud total del sistema de lentes aunque el sistema de lentes resultante presenta una aberración cromática longitudinal y un color lateral desfavorablemente elevados.

Tal como se ha descrito anteriormente, según la lente de formación de imágenes de una forma de realización,

puesto que los materiales de las lentes, las formas de las superficies de las lentes y las distribuciones de potencia de las lentes respectivas están optimizados, es posible obtener un sistema de lentes que puede hacer frente al incremento del número de píxeles, se puede hacer compacto y puede proporcionar un rendimiento elevado.

5 A continuación, se ofrecerá una descripción de ejemplos ilustrativos de la lente de formación de imágenes según la forma de realización. En la siguiente descripción, se describirán en conjunto el primer al cuarto ejemplos.

Las figuras 5 (A) y (B) muestran respectivamente los datos de valores numéricos sobre la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1. Específicamente, la figura 5 (A) muestra los datos básicos de lente correspondiente a la misma, mientras que la figura 5 (B) muestra los datos sobre las superficies esféricas de la misma. En la columna de números de superficie Si en los datos de lentes mostrados en la figura 5 (A), se muestran los números de superficies i-ésimas a los cuales se asignan caracteres de referencia de tal manera que los números de los caracteres de referencia se incrementan secuencialmente a medida que se aproximan al lado de la imagen, considerándose la primera la superficie de un elemento componente más cercana al objeto. En la columna de radios de curvatura Ri, se muestran los valores (mm) de los radios de curvatura de superficies i-ésimas dispuestas secuencialmente en orden desde el lado del objeto, mientras que los valores se corresponden respectivamente con los caracteres de referencia Ri proporcionados en la figura 1. Asimismo, en la columna de intervalos de superficies Di, de modo similar, se muestran intervalos (mm) sobre el eje óptico entre la superficie i-ésima Si y la superficie (i+1)-ésima Si+1 secuencialmente en orden desde el lado del objeto. Ndi muestra los valores de índices de refracción en la línea d (longitud de onda 587,6 nm) entre superficies de lentes mutuamente contiguas. En la columna de vdj, se muestran números de Abbe en las líneas d de elementos ópticos j-ésimos (j=1~5) secuencialmente en orden desde el lado del objeto.

En la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1, que no forma parte de la invención, las dos superficies en cada una de la primera lente G1, la segunda lente G2, la tercera lente G3 y la cuarta lente G4 se forman todas ellas en una superficie esférica. En los datos básicos de lentes mostrados en la figura 5 (A), como radios de curvatura de estas superficies esféricas, se muestran los valores numéricos de los radios de curvatura en la proximidad del eje óptico. En cuanto a los valores numéricos que se muestran como datos de superficies esféricas en la figura 5 (B), un carácter de referencia "E" expresa que un valor numérico tras la "E" es un exponente de una potencia que tiene base 10 y expresa también que un valor numérico expresado por una función exponencial que tiene base 10 se multiplica por un valor numérico que va delante de la "E". Por ejemplo, "1,0 E - 0,2" expresa "1,0 x 10<sup>-2</sup>".

Como datos de las superficies esféricas, se muestran los coeficientes Bi y KA en la expresión de formas de superficies esféricas que se expresan mediante la siguiente expresión (A). Z expresa la longitud (mm) de una perpendicular trazada desde un punto en la superficie esférica en una posición de altura h desde el eje óptico Z1 en sentido descendente hasta el plano tangente del vértice de una superficie esférica. En la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1, las superficies esféricas respectivas se expresan de forma eficaz usando coeficientes de tercer grado (cúbicos) a décimo grado B3 a B10 como coeficientes de superficies esféricas Bi.

$$Z=C \cdot h^2 / \{1+(1-KA \cdot C^2 \cdot h^2)\}^{1/2} + \sum B_i \cdot h^i \quad (A)$$

(i= 3 ~ 10)

en la que Z: la profundidad de una superficie esférica, h: la distancia (altura) (mm) desde el eje óptico a la superficie de la lente, KA: una constante cónica, C: una curvatura paraxial = 1/R, (R: un radio paraxial de curvatura), y Bi: coeficientes de superficie esférica de grado i-ésimo.

De forma similar a la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1 mencionado anteriormente, en las figuras 6 (A), 7 (A) y 8 (A), se muestran datos básicos de lentes sobre lentes de formación de imágenes según los Ejemplos 2 a 4. Además, de forma similar, en las figuras 6 (B), 7 (B) y 8 (B), se muestran datos sobre superficies esféricas haciendo referencia a las lentes de formación de imágenes según los Ejemplos 2 a 4. Por cierto, en la totalidad de las lentes de formación de imágenes según los Ejemplos 2 a 4, las dos superficies en sus respectivas primeras lentes G1, segundas lentes G2, terceras lentes G3 y cuartas lentes G4 se han formado todas ellas con una forma esférica.

La figura 9 muestra valores referentes a las fórmulas mencionadas anteriormente. Por cierto, en la figura 9, un carácter de referencia "f" expresa una distancia focal paraxial (mm) para todos los sistemas de lentes. Los caracteres de referencia f1, f2, f3 y f4 expresan respectivamente las distancias focales paraxiales (mm) de las primeras lentes G1, las segundas lentes G2, las terceras lentes G3 y las cuartas lentes G4. Tal como se puede observar a partir de la figura 9, los valores de las formas de realización respectivas se sitúan dentro del intervalo de los valores numéricos de las fórmulas respectivas.

Las figuras 10 (A) a 10 (C) muestran respectivamente la aberración esférica, el astigmatismo (curvatura de campo) y la distorsión (aberración de distorsión) de la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 1. En las figuras de aberración respectivas, se muestran también aberraciones en la línea C (longitud de onda de 656,27 nm) y la línea F (longitud de onda de 486,13 nm), con la línea d como su longitud de onda de referencia. En la vista del

astigmatismo, un carácter de referencia S expresa una aberración en una dirección sagital, mientras que T expresa una aberración en una dirección tangencial. Un carácter de referencia  $\omega$  expresa un semiángulo de visión. Por cierto, en la figura 10 (A), la dirección vertical expresa un diámetro de la pupila de entrada (mm).

5 De modo similar, las figuras 11 (A) a (C) muestran respectivamente las aberraciones respectivas referentes a la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 2, las figuras 12 (A) a (C) muestran respectivamente las aberraciones respectivas referentes a la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 3, y las figuras 13 (A) a (C) muestran respectivamente las aberraciones respectivas referentes a la lente de formación de imágenes según el Ejemplo 4. Por cierto, en las figuras 12 (B), (C) y las figuras 13 (B), (C), la dirección vertical expresa una altura de imagen Y (mm).  
10

Tal como se puede entender a partir de los datos de valores numéricos respectivos mencionados anteriormente y a partir de las vistas de aberración respectivas, en las formas de realización respectivas, se pueden obtener sistemas de lentes que están compuestos cada uno de ellos por cuatro lentes, y se pueden optimizar los materiales de las lentes, las formas de las superficies de las lentes y las distribuciones de potencia de las lentes respectivas, pudiéndose reducir de este modo el tamaño de las mismas y proporcionando un alto rendimiento.  
15

Evidentemente, la presente invención no se limita a las formas de realización mencionadas anteriormente, sino que la invención también se puede poner en práctica en otras diversas formas de realización modificadas. Por ejemplo, los valores de los radios de curvatura, los intervalos de superficies y los índices de refracción de los componentes de las lentes respectivas no se limitan a los valores mostrados en las formas de realización mencionadas anteriormente de los valores numéricos respectivos, sino que también se pueden utilizar otros valores.  
20

Esta solicitud reivindica prioridad extranjera a partir de la solicitud de patente japonesa nº JP2006-38115, presentada el 15 de febrero de 2006.  
25

## REIVINDICACIONES

1. Lente de formación de imágenes que comprende: en orden desde un lado del objeto de la lente de formación de imágenes,
- 5 una primera lente (G1) de una lente positiva que tiene una superficie convexa (R1, R2) en el lado del objeto de la misma;
- 10 una segunda lente (G2) de una lente negativa en forma de menisco que tiene una superficie cóncava (R5) en un lado de la imagen de la misma;
- una tercera lente (G3) de una lente positiva en forma de menisco que tiene una superficie convexa (R7) en el lado de la imagen de la misma; y
- 15 una cuarta lente (G4) de una lente positiva o negativa, en la que ambas superficies (R8, R9) de la cuarta lente (G4) son esféricas y la cuarta lente (G4) tiene una superficie cóncava (R9) en el lado de la imagen en la proximidad de un eje óptico (Z1) de la cuarta lente (G4),
- 20 en donde la lente de formación de imágenes cumple las fórmulas (1) a (4):
- 25
- |                         |     |
|-------------------------|-----|
| $vd\ 1 > 50$            | (1) |
| $vd\ 2 < 30$            | (2) |
| $ f2 / f1  > 1$         | (3) |
| $0,5 <  f3 / f4  < 1,5$ | (4) |
- 30 en las que
- vd 1 representa un número de Abbe de la primera lente (G1);
- vd 2 representa un número de Abbe de la segunda lente (G2);
- 35 f1 representa una distancia focal de la primera lente (G1);
- f2 representa una distancia focal de la segunda lente (G2);
- f3 representa una distancia focal de la tercera lente (G3); y
- f4 representa una distancia focal de la cuarta lente (G4).
- 40 2. Lente de formación de imágenes según la reivindicación 1, que comprende además un diafragma de apertura (St) dispuesto más cerca de una superficie del lado del objeto (R2) de la primera lente (G1) que una superficie del lado de la imagen (R3) de la primera lente (G1).
3. Lente de formación de imágenes según la reivindicación 1, que comprende además un diafragma de apertura (St) dispuesto entre la primera (G1) y la segunda (G2) lentes.
4. Lente de formación de imágenes según la reivindicación 1, 2 ó 3, en la que la cuarta lente (G4) tiene una superficie del lado de la imagen (R9) que es cóncava en la proximidad del eje óptico (Z1) y convexa en la periferia de la cuarta lente (G4).
- 45 5. Lente de formación de imágenes según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que cada una de la primera a la cuarta lentes (G1, G2, G3, G4) es una lente simple.
- 50 6. Lente de formación de imágenes según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la primera lente (G1) es una lente biconvexa.



FIG. 1

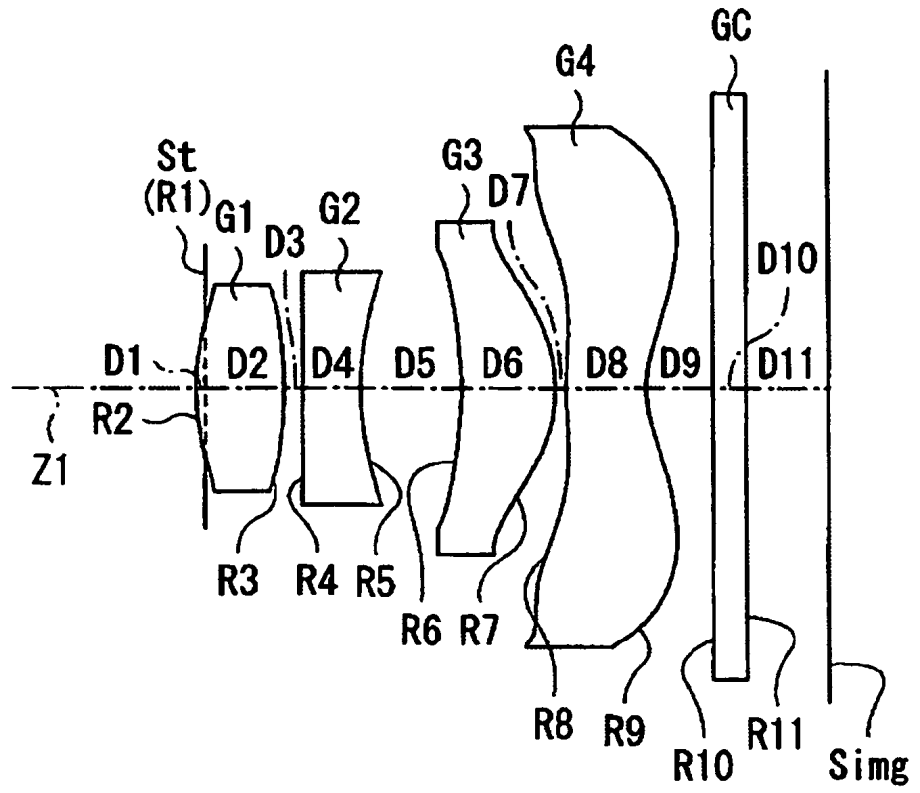


FIG. 2

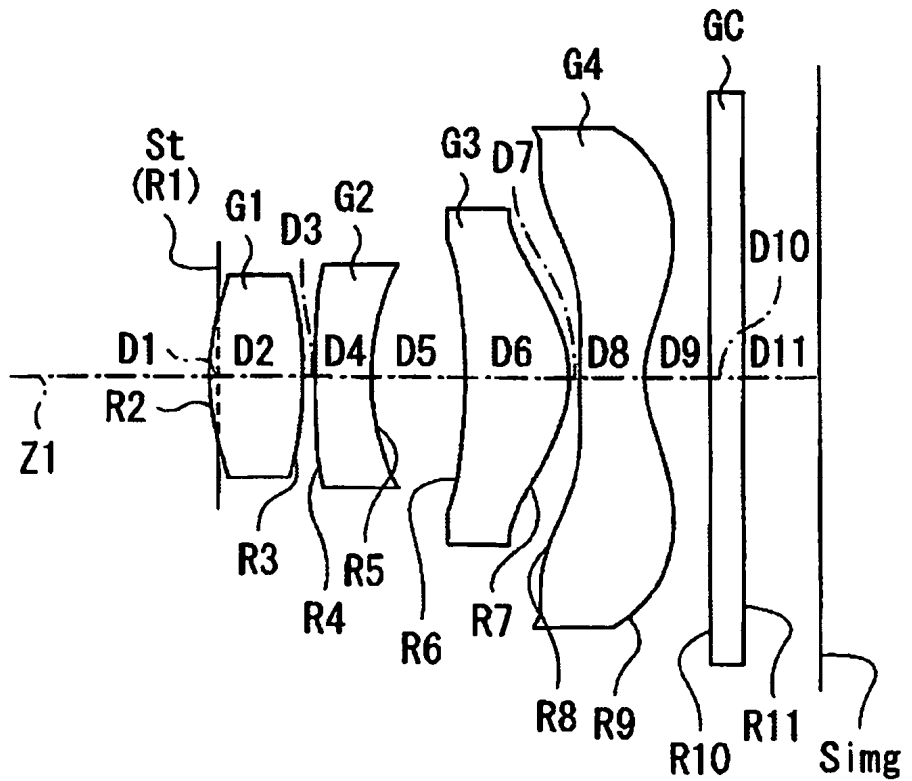


FIG. 3

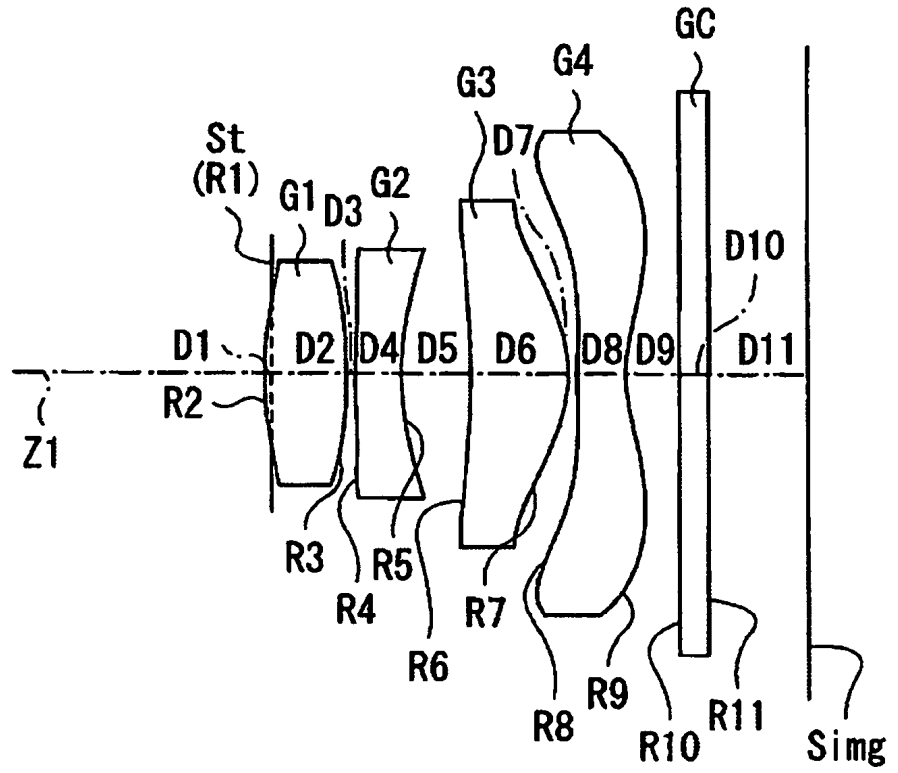


FIG. 4

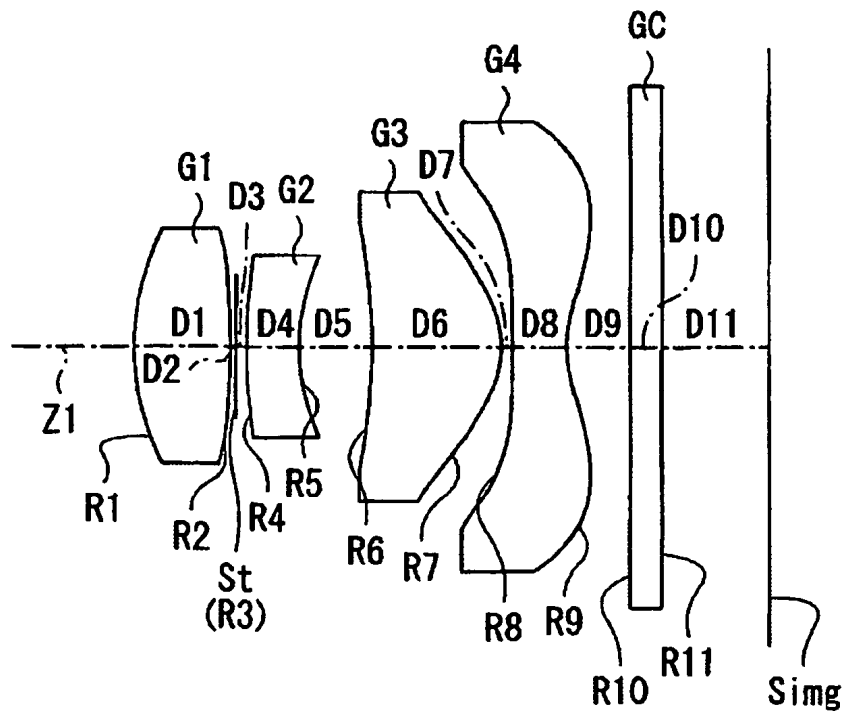


FIG. 5A

DATOS BÁSICOS DE LENTES DEL EJEMPLO 1					
	Si (NÚMERO DE SUPERFICIE)	Ri (RADIO DE CURVATURA)	Di (INTERVALO DE SUPERFICIES)	Ndi (ÍNDICE DE REFRACCIÓN)	v <sub>dj</sub> (NÚMERO DE ABBE)
	1 (DIAFRAGMA)	—	−0,08	1,0	
G1	2	2,4378	0,77799	1,511558	56
	3	−4,2836	0,16072	1,0	
G2	4	−156,3407	0,5	1,609211	27,2
	5	3,3825	0,89404	1,0	
G3	6	−3,7036	0,83135	1,511558	56
	7	−1,5403	0,10012	1,0	
G4	8	2,768	0,70905	1,511558	56
	9	1,1137	0,6	1,0	
GC	10	∞	0,3	1,518249	64,1
	11	∞	0,7454	1,0	

FIG. 5B

DATOS DE SUPERFICIES ASFÉRICAS DEL EJEMPLO 1				
COEFICIENTE DE SUPERFICIE ASFÉRICA	NÚMERO DE SUPERFICIE			
	PRIMERA SUPERFICIE	SEGUNDA SUPERFICIE	CUARTA SUPERFICIE	QUINTA SUPERFICIE
KA	-0,477047	-6,767411	50,019288	-5,224047
B3	5,6E-03	6,8E-03	5,7E-03	5,4E-02
B4	-1,6E-02	6,0E-03	5,8E-02	-1,1E-01
B5	-2,7E-03	-1,3E-02	-6,6E-02	2,3E-01
B6	1,4E-02	-2,0E-02	6,7E-02	-1,4E-01
B7	-3,3E-03	-2,4E-02	-1,2E-01	-9,9E-02
B8	-8,7E-03	-2,2E-02	-7,6E-02	5,0E-02
B9	-2,5E-02	8,2E-04	2,0E-01	7,2E-02
B10	8,1E-03	2,5E-02	-6,1E-02	-3,4E-02
	SEXTA SUPERFICIE	SÉPTIMA SUPERFICIE	OCTAVA SUPERFICIE	NOVENA SUPERFICIE
KA	5,2219879	-5,445867	-49,67293	-4,521068
B3	2,0E-02	-1,9E-01	-1,1E-01	1,5E-02
B4	1,6E-02	4,5E-02	-8,0E-05	-1,3E-01
B5	-4,4E-03	4,6E-02	-2,3E-02	7,2E-02
B6	2,9E-02	-1,1E-02	7,2E-03	-9,9E-03
B7	-1,6E-02	-4,6E-03	1,0E-02	-4,9E-03
B8	-9,2E-03	1,6E-03	-1,5E-03	9,5E-04
B9	1,3E-02	3,6E-03	-6,1E-04	6,3E-04
B10	-6,7E-03	-9,3E-04	-3,4E-05	-2,0E-04

FIG. 6A

BASIC LENS DATA OF EXAMPLE 2					
	Si (NÚMERO DE SUPERFICIE)	Ri (RADIO DE CURVATURA)	Di (INTERVALO DE SUPERFICIES)	Ndi (ÍNDICE DE REFRACCIÓN)	v <sub>dj</sub> (NÚMERO DE ABBE)
	1 (DIAFRAGMA)	—	−0.08	1.0	
G1 {	2	2,4013	0,82562	1,511558	56
	3	−4,5901	0,10618	1,0	
G2 {	4	13,0546	0,5	1,609211	27,2
	5	2,742	0,83592	1,0	
G3 {	6	−5,023	0,92677	1,511558	56
	7	−1,2325	0,10012	1,0	
G4 {	8	4,6646	0,56823	1,511558	56
	9	0,9869	0,6	1,0	
GC {	10	∞	0,3	1,518249	64,1
	11	∞	0,70527	1,0	

FIG. 6B

DATOS DE SUPERFICIES ASFÉRICAS DEL EJEMPLO 2				
COEFICIENTE DE SUPERFICIE ASFÉRICA	NÚMERO DE SUPERFICIE			
	SEGUNDA SUPERFICIE	TERCERA SUPERFICIE	CUARTA SUPERFICIE	QUINTA SUPERFICIE
KA	0,3119152	-23,9423	-46,43464	-5,469447
B3	6,2E-04	1,6E-03	7,1E-03	5,3E-02
B4	-8,4E-03	-2,2E-03	3,5E-02	-1,1E-01
B5	-1,2E-02	-3,4E-02	-6,2E-02	2,3E-01
B6	-2,8E-03	-1,1E-02	8,3E-02	-1,3E-01
B7	-5,9E-03	-5,8E-03	-9,7E-02	-8,7E-02
B8	3,8E-03	6,4E-03	-5,7E-02	5,7E-02
B9	-6,6E-03	8,1E-03	2,0E-01	7,4E-02
B10	2,0E-03	3,3E-03	-9,0E-02	-4,0E-02
	SEXTA SUPERFICIE	SÉPTIMA SUPERFICIE	OCTAVA SUPERFICIE	NOVENA SUPERFICIE
KA	7,5317652	-7,863374	-46,10612	-4,684725
B3	2,8E-02	-1,8E-01	-1,3E-01	-1,5E-02
B4	-3,7E-03	4,7E-02	-3,9E-04	-1,1E-01
B5	-2,3E-04	4,5E-02	-2,0E-02	7,4E-02
B6	2,8E-02	-1,2E-02	8,6E-03	-1,4E-02
B7	-2,0E-02	-4,9E-03	1,1E-02	-4,9E-03
B8	-1,2E-02	1,5E-03	-1,5E-03	1,4E-03
B9	1,3E-02	3,5E-03	-6,5E-04	7,0E-04
B10	-5,1E-03	-1,0E-03	-8,6E-05	-2,5E-04

FIG. 7A

DATOS BÁSICOS DE LENTES DEL EJEMPLO 3					
	S <sub>i</sub> (NÚMERO DE SUPERFICIE)	R <sub>i</sub> (RADIO DE CURVATURA)	D <sub>i</sub> (INTERVALO DE SUPERFICIES)	N <sub>d<sub>i</sub></sub> (ÍNDICE DE REFRACCIÓN)	v <sub>d<sub>j</sub></sub> (NÚMERO DE ABBE)
	1 (DIAFRAGMA)	—	−0,08	1,0	
G1	2	2,7286	0,89778	1,511558	56
	3	−6,4332	0,1007	1,0	
G2	4	4,6858	0,5	1,609211	27,2
	5	2,0768	0,75304	1,0	
G3	6	−5,0471	1,03235	1,533308	55,5
	7	−1,069	0,10014	1,0	
G4	8	6,0739	0,50108	1,533308	55,5
	9	1,0395	0,6	1,0	
GC	10	∞	0,3	1,518249	64,1
	11	∞	1,11055	1,0	

FIG. 7B

DATOS DE SUPERFICIES ASFÉRICAS DEL EJEMPLO 3				
COEFICIENTE DE SUPERFICIE ASFÉRICA	NÚMERO DE SUPERFICIE			
	SEGUNDA SUPERFICIE	TERCERA SUPERFICIE	CUARTA SUPERFICIE	QUINTA SUPERFICIE
KA	-3,371655	-25,58211	-49,97134	-2,68979
B3	5,3E-03	-6,7E-02	-5,5E-02	2,5E-02
B4	-2,0E-02	1,1E-02	1,7E-02	-1,2E-01
B5	6,7E-02	-6,4E-02	-6,2E-02	1,9E-01
B6	-3,5E-02	-1,4E-02	3,7E-02	-1,2E-01
B7	-5,8E-02	1,6E-02	-1,1E-01	-6,0E-02
B8	-6,1E-02	3,0E-02	-6,3E-03	5,3E-02
B9	1,6E-01	1,2E-02	2,6E-01	5,3E-02
B10	-7,0E-02	-1,4E-02	-1,4E-01	-3,1E-02
	SEXTA SUPERFICIE	SÉPTIMA SUPERFICIE	OCTAVA SUPERFICIE	NOVENA SUPERFICIE
KA	6,7484195	-4,128091	-27,61143	-4,652555
B3	1,8E-02	-9,9E-02	-1,3E-01	-5,9E-02
B4	-4,4E-03	5,0E-03	1,8E-02	-8,8E-02
B5	1,9E-02	2,9E-02	-2,1E-02	7,8E-02
B6	2,7E-02	-8,8E-03	4,5E-03	-2,1E-02
B7	-2,2E-02	1,7E-03	8,3E-03	-6,6E-03
B8	-1,0E-02	5,3E-03	-2,4E-03	2,5E-03
B9	1,6E-02	3,8E-03	-5,7E-04	1,3E-03
B10	-7,2E-03	-2,9E-03	3,4E-04	-5,1E-04



FIG. 8A

DATOS BÁSICOS DE LENTES DEL EJEMPLO 4					
	S <sub>i</sub> (NÚMERO DE SUPERFICIE)	R <sub>i</sub> (RADIO DE CURVATURA)	D <sub>i</sub> (INTERVALO DE SUPERFICIES)	N <sub>di</sub> (ÍNDICE DE REFRACCIÓN)	v <sub>dj</sub> (NÚMERO DE ABBE)
G1 {	1	2,5039	0,90558	1,511558	56
	2	-6,4	0,05	1,0	
	3 (DIAFRAGMA)	-	0,10091	1,0	
G2 {	4	6,1585	0,5	1,609211	27,2
	5	2,0731	0,69273	1,0	
G3 {	6	-5,742	1,21344	1,511558	56
	7	-0,9367	0,10013	1,0	
G4 {	8	-107,9756	0,5011	1,511558	56
	9	1,1234	0,6	1,0	
GC {	10	∞	0,3	1,518249	64,1
	11	∞	1,03005	1,0	

FIG. 8B

DATOS DE SUPERFICIES ASFÉRICAS DEL EJEMPLO 4				
COEFICIENTE DE SUPERFICIE ASFÉRICA	NÚMERO DE SUPERFICIE			
	PRIMERA SUPERFICIE	SEGUNDA SUPERFICIE	CUARTA SUPERFICIE	QUINTA SUPERFICIE
KA	-2,649	-36,88663	-17,59637	0,46425
B3	2,9E-03	4,5E-03	7,8E-03	1,7E-02
B4	-1,6E-02	2,9E-02	5,6E-02	-7,0E-02
B5	7,9E-02	-2,3E-02	-7,0E-02	1,7E-01
B6	-2,0E-02	5,7E-03	5,2E-02	-1,5E-01
B7	-5,1E-02	-4,1E-03	-1,0E-01	-6,5E-02
B8	-5,3E-02	-1,7E-02	-5,6E-02	7,7E-02
B9	1,3E-01	-2,8E-02	2,1E-01	7,2E-02
B10	-5,9E-02	2,8E-02	-9,2E-02	-5,6E-02
	SEXTA SUPERFICIE	SÉPTIMA SUPERFICIE	OCTAVA SUPERFICIE	NOVENA SUPERFICIE
KA	3,159711	-2,529369	-155,4079	-5,513883
B3	6,1E-03	-6,7E-03	-5,6E-03	-7,8E-03
B4	-1,6E-03	-3,4E-02	-3,0E-02	-1,3E-01
B5	-1,9E-03	8,2E-03	-3,1E-02	9,0E-02
B6	2,1E-02	-1,8E-02	3,9E-03	-2,0E-02
B7	-2,0E-02	-1,3E-03	8,8E-03	-7,1E-03
B8	-6,0E-03	5,5E-03	-2,0E-03	1,9E-03
B9	1,8E-02	5,1E-03	-3,8E-04	1,2E-03
B10	-7,1E-03	-1,5E-03	3,3E-04	-3,7E-04

FIG. 9

VALORES REFERENTES A LAS FÓRMULAS				
	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2	EJEMPLO 3	EJEMPLO 4
f	4,64	4,54	4,70	4,70
f1	3,16	3,21	3,87	3,63
f2	-5,43	-5,80	-6,60	-5,38
f3	4,56	2,95	2,33	2,02
f4	-4,26	-2,58	-2,44	-2,17
$ f2 / f1 $	1,72	1,81	1,71	1,48
$ f3 / f4 $	1,07	1,14	0,95	0,93
vd1	56	56	56	56
vd2	27,2	27,2	27,2	27,2

FIG. 10A

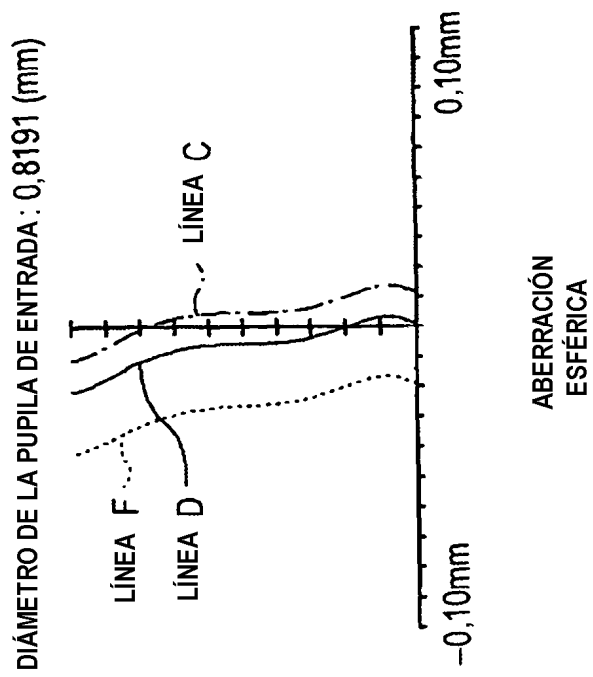


FIG. 10B

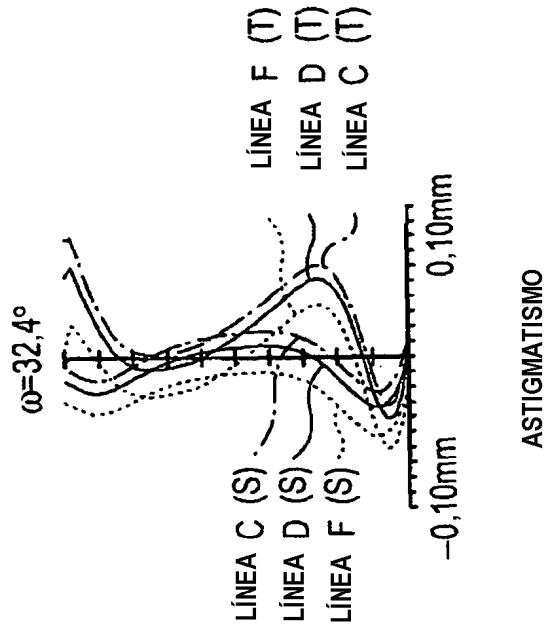


FIG. 10C

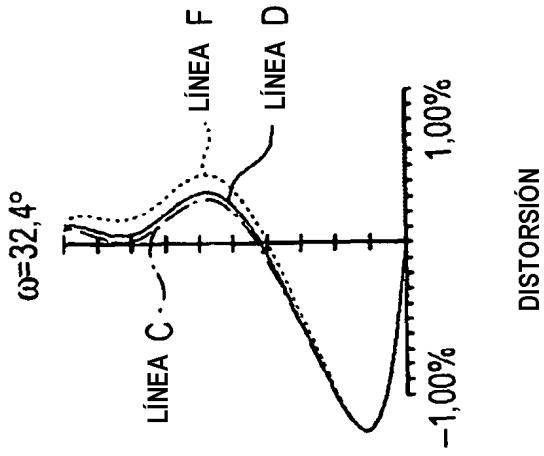


FIG. 11A

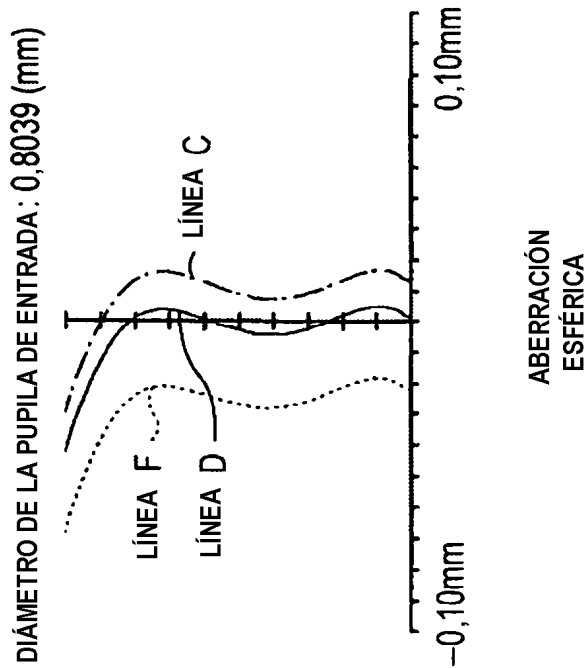


FIG. 11B

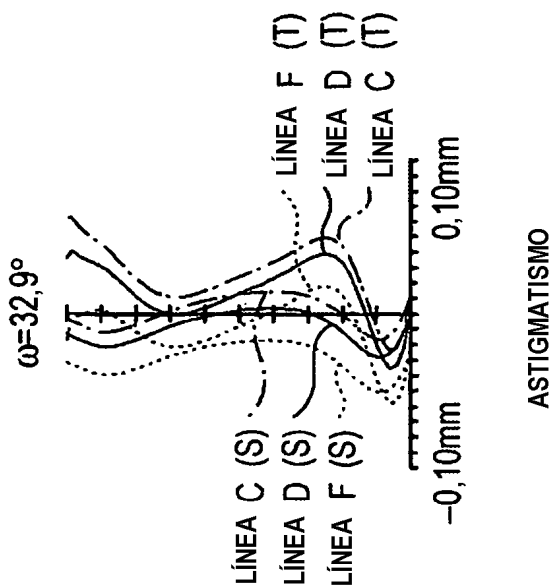


FIG. 11C

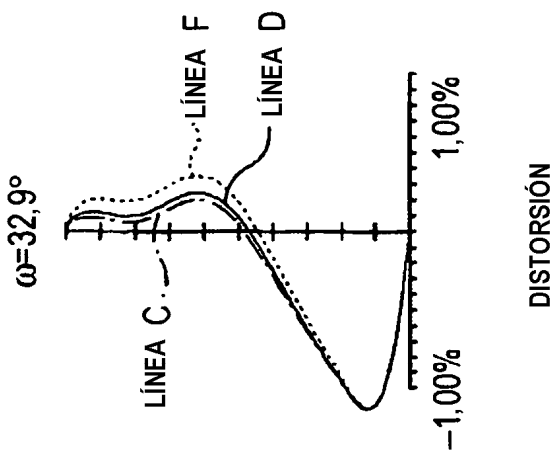


FIG. 12A

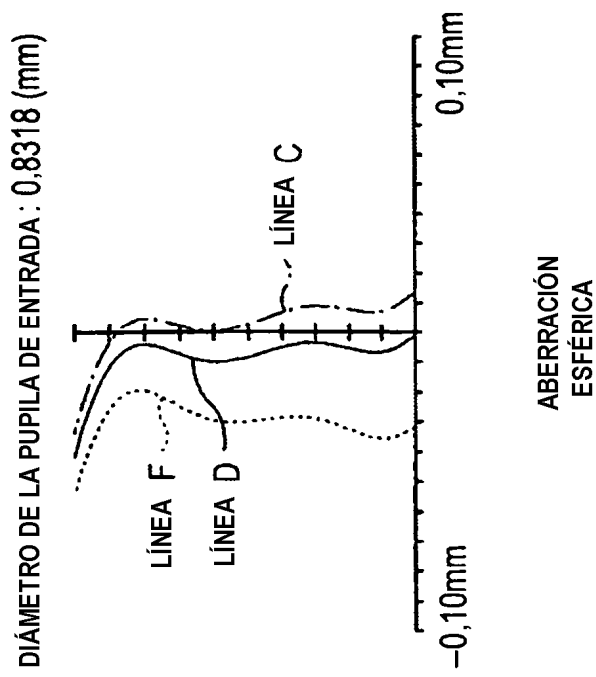


FIG. 12B

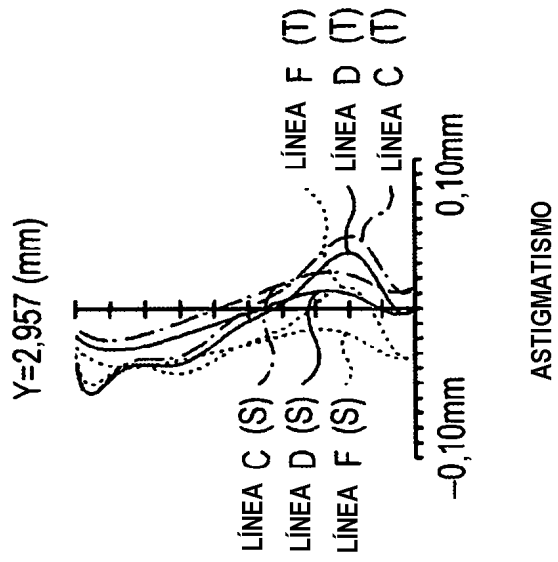


FIG. 12C

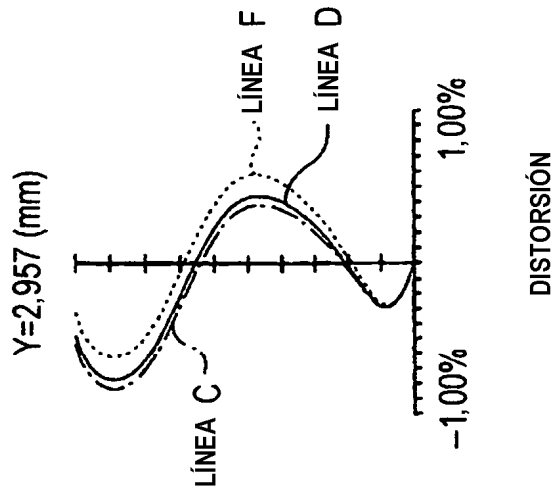


FIG. 13A

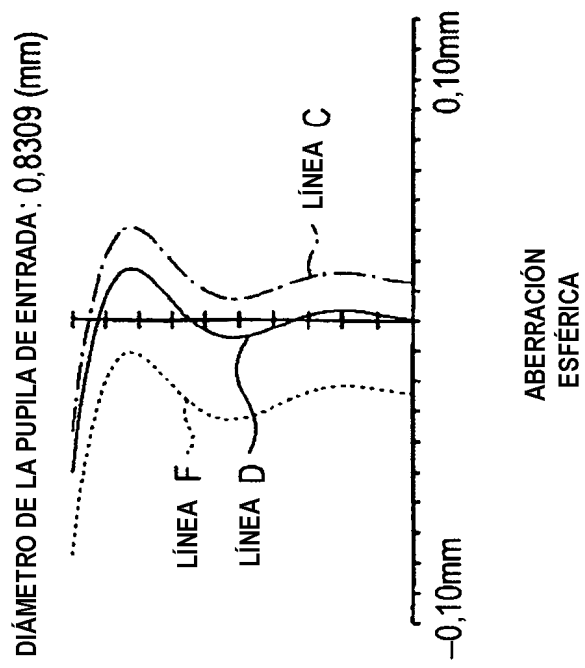


FIG. 13B

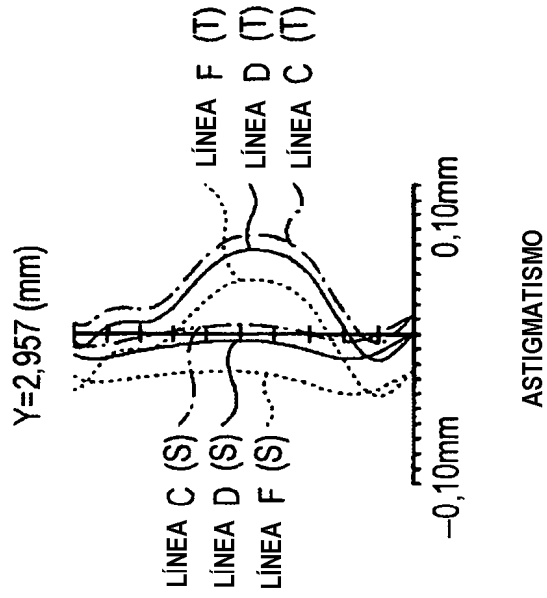


FIG. 13C

