



19

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 106 720**

51 Int. Cl.⁶: G02B 3/10

G02C 7/06

A61F 2/16

12

TRADUCCION DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **88114361.4**

86 Fecha de presentación : **02.09.88**

87 Número de publicación de la solicitud: **0 308 705**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **29.03.89**

54 Título: **Sistema multifocal de lente birrefringente de contacto o intraocular.**

30 Prioridad: **01.08.88 US 226669**
24.09.87 US 100773

73 Titular/es: **Werner Fiala**
Sechshausenstrasse 83
A-1150 Wien, AT

45 Fecha de la publicación de la mención BOPI:
16.11.97

72 Inventor/es: **Fiala, Werner**

45 Fecha de la publicación del folleto de patente:
16.11.97

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Fernando**

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 (artº 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCION

Este invento se refiere a un sistema de lente birrefringente multifocal tal como se expone en el preámbulo de la Reivindicación 1.

5 Las lentes birrefringentes vienen siendo conocidas desde hace algún tiempo. En la Patente del Reino Unido N° 231.848 se describe una lente birrefringente que se usa como un polarizador. Puesto que una lente birrefringente produce dos haces de luz polarizada ortogonalmente, de diferentes vergencias, se emplea ya sea un diafragma o ya sea una lente isotrópica para eliminar uno de los dos haces polarizados, a fin de proporcionar un haz de solamente un tipo de polarización. En la Patente de EE.UU. N° 2.317.309 se expone una lente birrefringente plano-convexa pegada por su lado convexo a una lente isotrópica plano-cóncava. El conjunto actúa como una lente con una potencia positiva para luz de un estado de polarización lineal y como una placa paralela con potencia óptica cero para luz del otro estado de polarización ortogonal. El conjunto de lente está integrado en un mecanismo de enfoque para fines fotográficos. En la Patente del Reino Unido N° 865.361, una lente birrefringente prismática está combinada con una lente de cubierta isotrópica, de tal modo que las dos potencias de la combinación de lentes son equidistantes de la potencia fijada como objetivo. El sistema de lente está incorporado en un aparato óptico para prueba del ojo humano. El aparato separa las dos imágenes formadas por los rayos-o y por los rayos-e, de modo que se pueden ver simultáneamente dos imágenes de diferentes grados de agudeza y lado a lado durante el examen del ojo. En la Patente de EE.UU. N° 3.211.048 se hace mención de conjuntos de lente de doblete (doble lente) plano convexa/plano cóncava hechos de idénticos materiales birrefringentes. En los conjuntos, una de las dos lentes birrefringentes puede ser sustituida por una lente isotrópica con una superficie plana. Los conjuntos trabajan en concierto con un dispositivo de dispersión, por ejemplo, un prisma, y un polarizador en un espectrómetro. En la Patente de EE.UU. N° 3.432.238 se describen también dobletes de lentes plano-cóncava/plano-convexa para la producción de cambios de fase de la luz incidente polarizada. Los patrones de interferencia resultantes se utilizan en un aparato espectrométrico.

Puesto que una lente birrefringente tiene una potencia asociada con un plano de polarización lineal y otra potencia con el otro plano de polarización ortogonal, se pueden usar medios que sean capaces de hacer girar el plano de polarización para seleccionar una de las dos potencias, si la luz que llega está polarizada linealmente. En la Patente de EE.UU. N° 3.410.624 se hace uso de medios de control electro-ópticos (una célula de Kerr) juntamente con lentes birrefringentes y prismas. Se describe en esa Patente que los sistemas m que comprenden cada uno una lente y una célula electro-óptica producen 2^m puntos focales. Se describe un conjunto similar de n células electro-ópticas y n lentes birrefringentes en la Patente francesa N° 1552198, En la Patente de EE.UU. N° 3.520.592 y en el trabajo de Eng y otros titulado "Multiple Imagery with Birefringent Lenses" ("Formación de Imágenes Múltiples con Lentes Birrefringentes"), *Applied Optics*. Vol. 8. N° 10. Págs. 2117-2120 (Octubre 1969) se describen en cada uno un sistema de enfoque óptico en el que se hace uso de una o más lentes birrefringentes, combinada cada lente con un dispositivo de control para el plano de polarización de la luz. En la Patente de EE.UU. N° 3.563.632 se describe un modulador digital de la distancia focal óptica, en el cual un conjunto de etapas sucesivas alineadas, que cada una tiene una célula Kerr y una lente birrefringente de curvatura progresiva, están sumergidas en una cuba electrolítica común. Las lentes están conformadas de tal modo que la dependencia de la temperatura del índice de refracción del electrolito está compensada. En la Patente de EE.UU. N° 3.565.510 se describe el uso de dos lentes birrefringentes por célula Kerr en un sistema análogo al mencionado en la antes citada Patente de EE.UU. N° 3.563.632. Osipov, en su trabajo titulado "Binary Polarizing Lenses" ("Lentes de Polarización Binaria"), *Optical Technology*, Vol 40. N° 5. Págs. 277-279 (mayo, 1973), describe una lente de polarización binaria consistente en un sistema de lente birrefringente plano convexa/plano cóncava. Este sistema de lente puede ser combinado con una lente isotrópica a fin de producir un haz de referencia paralelo y un haz de señal enfocado, estando los haces polarizados ortogonalmente, para uso en sistemas de láser. En la Patente de EE.UU. N° 3.758.201 se describe una lente doble birrefringente plano convexa/plano cóncava en combinación con un sistema de lente de potencia variable isotrópica. Se usa el sistema para el examen del ojo. En la Patente de EE.UU. N° 3.990.798 se describe una doble lente birrefringente plano convexa/plano cóncava para uso como, o en, un ocular de un microscopio, a fin de producir las imágenes de objetos dentro de diferentes planos del objeto en un solo plano de imagen. También se describen lentes dobles plano convexa/plano cóncava hechas de material birrefringente en la Patente de EE.UU. N° 4.566.762, en la que se describe un sistema de foco doble en el cual las imágenes de objetos a diferentes distancias presentan idéntica ampliación. En la Patente de EE.UU. N° 4.575.849 se describen lentes birrefringentes plano convexas/plano cóncavas que se usan como placas de fase en una combinación de filtro óptico-polarizador.

Se deduce de lo expuesto en lo que antecede que las lentes birrefringentes se han usado principalmente en conjuntos de lentes plano convexas/plano cóncavas. Tal conjunto se combina en un caso, es decir,

en el caso de Osipov, con una lente isotrópica, a fin de producir un haz paralelo de luz polarizada. En la Patente del Reino Unido N° 865.361 antes citada se usa una combinación de una lente birrefringente prismática y una lente isotrópica prismática para producir dos imágenes lado a lado de un objeto, con el fin de examinar el ojo. Además, se han sugerido conjuntos de sistemas, incorporando cada sistema una lente birrefringente y unos medios de control para la orientación del plano de polarización, como sistemas de distancia focal variable, en varios patrones.

En las exposiciones anteriores mencionadas en lo que antecede se citan cristales inorgánicos, tales como de cuarzo y de calcita, como materiales para las lentes birrefringentes. La birrefringencia puede ser también una propiedad de algunas clases de polímeros orgánicos. Así, por ejemplo, en las Patentes de EE.UU. Números 4.384.107; 4.393.194; 4.933.196; 4.433.132; 4.446.305; 4.461.866; 4.461.887; 4.503.248; 4.520.189; 4.521.588; 4.525.413; 4.575.547; 4.608.429; y 4.626.125, se describen polímeros que presentan una alta birrefringencia y que simulan las propiedades ópticas de los cristales uniaxiales. Tales polímeros birrefringentes han sido propuestos para uso con capas isotrópicas en dispositivos multicapa para transmisión y polarización de la luz,

Es conocido el hecho de que muchos polímeros pueden ser hechos birrefringentes, por ejemplo, mediante la aplicación de esfuerzo. El campo de la fotoelasticidad y del análisis de esfuerzos por medio de la luz polarizada está en su totalidad basado en ese fenómeno. Es también conocido que estirando un polímero más allá de su margen elástico, se puede comunicar al polímero birrefringencia de modo irreversible. Se ha hecho mención de esto, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. N° 3.522.985.

Son conocidas lentes oftálmicas que tienen múltiples focos y, en particular, las lentes de contacto que poseen esa propiedad, por ejemplo, de las Patentes de EE.UU. Números 3.794.414; 4.162.122; 4.210.391; 4.340.283; 4.383.005; 4.637.697; 4.641.934; 4.642.112; y 4.655.565. Es común a estas lentes el que los medios ópticos empleados en su fabricación son isótropos. Las características de múltiples potencias simultáneas se consiguen dotando a la lente de parámetros geométricos apropiados.

En el documento US-A-3.390.798 se describe:

un sistema de lente birrefringente multifocal que comprende:

un primer componente de lente birrefringente; y

un segundo componente de lente adyacente al primer componente de lente.

en el que,

– las curvaturas de las superficies opuestas de los componentes primero y segundo son de magnitudes sustancialmente iguales pero de signos opuestos;

– el segundo componente de lente es un componente de lente birrefringente que posee un eje óptico de orientación diferente a la del eje óptico del primer componente de lente birrefringente.

En el documento US-A-3.758.201 se describe:

un sistema de lente birrefringente multifocal que comprende:

un primer componente de lente birrefringente; y

un segundo componente de lente adyacente al primer componente de lente.

en los que:

– las curvaturas de las superficies opuestas de los componentes primero y segundo son de magnitudes sustancialmente iguales pero de signos opuestos;

– el segundo componente de lente es un componente de lente birrefringente que posee un eje óptico de orientación diferente a la del eje óptico del primer componente de lente birrefringente.

En el documento US-A-2.317.809 se describe:

un sistema de lente birrefringente multifocal que comprende:

un primer componente de lente birrefringente (lente plano convexa de material de refracción doble);
y

5 un segundo componente de lente (lente plano-cóncava hecha de vidrio) adyacente al primer componente de lente.

en los que:

10 – las curvaturas de las superficies opuestas de los componentes primero y segundo son de magnitudes sustancialmente iguales pero de signos opuestos;

– el segundo componente de lente es una lente isotrópica.

Sumario del invento

15 Un objeto del presente invento es el de proporcionar un sistema de lente oftálmica birrefringente multifocal, por ejemplo, bifocal, trifocal, cuadrifocal, etc., no acromatizada o acromatizada, en el cual se seleccionan al menos dos focos con total independencia entre sí.

20 Otro objeto del invento es el de proporcionar un sistema de lente birrefringente multifocal oftálmica, no acromatizada o acromatizada, que presenta un mínimo de focos o potencias no deseados.

25 Otro objeto del presente invento es el de proporcionar un sistema de lente birrefringente multifocal oftálmica, no acromatizada o acromatizada, que es superior en cuanto al brillo de la imagen, al comportamiento cromático y a la libertad de elección de las potencias, en comparación con otros tipos conocidos de sistemas de lente multifocal.

30 Un objeto particular del presente invento es el de proporcionar un sistema de lente birrefringente oftálmica, no acromatizada o acromatizada, en su totalidad o en parte, a partir de polímeros de grado óptico.

35 Otro objeto particular del invento es el de combinar un sistema de lente birrefringente oftálmica, no acromatizada o acromatizada, con uno o más medios polarizadores de la luz y, opcionalmente, uno o más filtros de polarización, para permitir una selección de potencias o combinaciones de potencias de entre una multiplicidad de potencias disponibles.

40 Es todavía otro objeto del invento el de proporcionar un sistema de lente birrefringente multifocal oftálmica, no acromatizada o acromatizada, en el cual al menos a una superficie de lente se le ha dado una forma independiente de los parámetros físicos de los medios empleados en la fabricación de los componentes de lente y con independencia de los focos preseleccionados.

Otro objeto particular del invento es el de proporcionar un sistema de lente birrefringente multifocal oftálmica que presente cualquier grado deseado de aberración cromática en al menos un foco de los focos preseleccionados.

45 De acuerdo con este invento, se ha previsto un sistema de lente tal como se ha definido en la Reivindicación 1.

50 El término “adyacente” usado con referencia a la colocación en posición relativa de los componentes de lente primero y segundo del sistema de lente birrefringente, está aquí destinado a incluir el caso en el que tales componentes estén en mutuo contacto directo en sustancialmente la totalidad de sus superficies opuestas, es decir, una “lente compuesta” o “lentes en un compuesto”, tal como se define en lo que sigue, y el caso en el que tales superficies opuestas estén separadas a corta distancia a lo largo de su eje común, típicamente a una distancia de unos pocos milímetros, o menor.

55 La expresión “sustancialmente idénticas o complementarias”, aplica a las curvaturas de las superficies opuestas de los componentes de lente primero y segundo del sistema de lente birrefringente multifocal no acromatizada, deberá entenderse aquí que significa que si se colocaran tales superficies en contacto entre sí, se tocarían en cada punto a lo largo de su interfaz mutua. Así, por ejemplo, en el caso de curvaturas sustancialmente idénticas, tales curvaturas serían lisas o planas, es decir, que las superficies tendrían un radio de curvatura infinito, y en el caso de curvaturas complementarias tales superficies estarían representadas, por ejemplo, por superficies cóncava y convexa coincidentes.

60

Las expresiones “lente compuesta” o “lentes en un compuesto” deberán entenderse aquí en el sentido de que hacen referencia a un sistema de lente que comprende al menos dos componentes de lente, siendo dos superficies de lentes opuestas de componentes de lente adyacentes sustancialmente idénticas o complementarias, de modo que los dos componentes de lente puedan ser pegados juntos a lo largo de sus superficies opuestas, por ejemplo, en un sistema de lente plana-cóncava/plana-convexa. Estas expresiones son también de aplicación a un sistema de lente en el que las superficies de lentes opuestas estén separadas a una cierta distancia, a fin de acomodar a una lente uno o más dispositivos ópticos distintos, por ejemplo, unos medios de polarización.

La expresión “lentes en contacto” deberá entenderse aquí que hace referencia a un sistema de lente que comprende al menos dos componentes de lente cuyo sistema de lente satisface esencialmente el requisito de que la potencia óptica del sistema de lente sea igual a la suma de las potencias ópticas de los componentes de lente.

La expresión “no acromatizadas” deberá entenderse aquí que hace referencia a lentes o sistemas de lente que presenten una o más potencias que dependan, sin embargo, de la longitud de onda de la luz enfocada (es decir, usada), debido al comportamiento de dispersión de los medios ópticos birrefringentes y/o isotrópicos empleados en la fabricación de la lente o sistema de lente.

Deberá entenderse que el término “acromatizado” se refiere a un sistema de lente que presente una o más potencias, de las cuales una al menos presente un valor de dioptrías que sea constante para al menos dos longitudes de onda diferentes de la luz enfocada (es decir, de la usada).

Los sistemas de lente birrefringente multifocal no acromatizada o acromatizada del presente invento incluyen numerosas permutaciones y combinaciones de un componente de lente birrefringente con al menos otro componente de lente birrefringente y/o al menos un componente de lente isotrópica, tal como se ha expuesto en lo que antecede. En tal sistema, al menos dos de los focos o potencias resultantes son preseleccionables. Tales focos están dispuestos a lo largo del mismo eje de la lente que el usado para la luz que incide en paralelo con el eje de la lente. Se puede elegir cualquier curvatura de ya sea el primero o ya el segundo componente de lente, con independencia de los focos preseleccionados. Dentro de las limitaciones impuestas por estos requisitos, es posible proporcionar cualquiera de entre una gran diversidad de diseños ópticos multifocales para satisfacer cualquier número de requisitos prácticos. Así, por ejemplo, el invento incluye sistemas de lente en los cuales: un solo componente de lente birrefringente está combinado con uno o más componentes de lente isotrópica para proporcionar una lente o un tren compuesto de lentes; se combina un componente de lente birrefringente con al menos otro componente de lente birrefringente, ya sea como una lente compuesta o ya sea como un tren de tales lentes, opcionalmente con uno o más componentes de lente isotrópica, y así sucesivamente. Además, y como se explicará en lo que sigue, cualquiera de los sistemas de lente birrefringente multifocal de este invento puede ser utilizado conjuntamente con otros medios de polarización o filtros de polarización situados entre uno o más pares adyacentes de componentes de lente birrefringente y/o delante o detrás del sistema de lente, permitiendo con ello la selección de una o más potencias de entre una multiplicidad de potencias disponibles.

La latitud en cuanto a la elección de las potencias ópticas hecha posible por el sistema de lente birrefringente multifocal de este invento, puede ser explotada con ventaja en cualquier número de aplicaciones, y notablemente en el diseño de lentes bifocales oftálmicas, en las que se pueden conseguir incluso diferencias relativamente grandes de potencia con lentes relativamente delgadas.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de lente birrefringente de acuerdo con el invento, que presenta una “geometría perfecta”.

La Fig. 2 es una ilustración esquemática de un componente de lente birrefringente que ha de ser incorporado en un sistema de lente del presente invento.

Las Figs. 3A, 3B, 4 y 5 son ilustraciones esquemáticas de otras varias realizaciones de sistemas de lente birrefringente de acuerdo con el invento.

La Fig. 6 es una ilustración esquemática de un sistema de lente birrefringente de este invento en combinación con unos medios de polarización.

La Fig. 7 es una ilustración esquemática de un sistema de lente birrefringente hecho de dos compo-

nentes de lente birrefringente que presentan más de dos potencias simultáneas.

La Fig. 8 es una ilustración esquemática del sistema de lente de la Fig. 7 en combinación con unos medios de polarización.

5

Descripción de las realizaciones preferidas

A. Sistemas de Lente Birrefringente Multifocal No acromatizada.

10

Todos los sistemas de lente birrefringente conocidos poseen un eje óptico (es decir, el eje en el interior del medio birrefringente cristalino) que es perpendicular al eje de la lente. Así, un sistema de lente birrefringente presenta dos índices de refracción particulares, n_o (para las ondas o rayos ordinarios) y n_e (para las ondas o rayos extraordinarias), pero solamente para el caso particular de que los rayos-e atraviesen la lente birrefringente en una dirección que sea perpendicular, es decir, ortogonal, al eje óptico. Para todas las demás direcciones, los rayos-e poseen un índice de refracción efectivo $n_{e,eff}$ que tiene un valor comprendido entre n_o y n_e . En tal caso, no es posible predecir con exactitud alguna las actuaciones o el comportamiento óptico del sistema de lente birrefringente para los rayos-e.

15

20

Por esta razón, puede ser deseable emplear un sistema de lente bifocal que presente dos potencias (o focos) seleccionados independientemente, con la característica adicional de que los rayos-e atraviesen la lente birrefringente en una dirección que es exclusivamente perpendicular el eje óptico. El caso en que todos los rayos-e atraviesen la lente birrefringente en una dirección ortogonal a la del eje óptico, se denominará como de la realización de “geometría perfecta” del sistema de lente birrefringente de que aquí se trata.

25

30

En la Fig. 1 se ha ilustrado una realización de un sistema de lente birrefringente de geometría perfecta que posee el componente 10 de lente isotrópica que posee superficies esféricas R_1 y R_2 , y el componente 30 de lente isotrópica que posee las superficies esféricas R_3 y R_4 frente a, y detrás de, el componente 20 de lente birrefringente que posee superficies esféricas complementarias R_2 y R_3 , indicando la flecha de trazo lleno su eje óptico, como será el caso en todas las Figuras subsiguiente que aquí se citan. Asignando las potencias preseleccionadas (las cuales definen también los correspondientes focos) D_a y D_b al sistema de lente, son de aplicación las siguientes restricciones a un sistema de lente bifocal de geometría perfecta:

$$D_{34} + D_o + D_{12} = D_a \quad (1a)$$

35

$$D_{34} + D_e + D_{12} = D_b \quad (1b)$$

y la restricción de “geometría perfecta”:

$$(n_e - 1) \times \frac{1}{R_2} = -D_{12} \quad (2)$$

40

donde D_{12} y D_{34} son las potencias de los componentes de lentes isotrópicas frontal y trasera, respectivamente, y D_o y D_e son las potencias de los componentes de lente birrefringente para los rayos-o y los rayos-e.

45

Para esta realización de geometría perfecta es de aplicación la relación:

$$\frac{D_o}{n_o - 1} = \frac{D_e}{n_e - 1} \quad (3)$$

o bien la

50

$$D_e = m \cdot D_o \quad (4)$$

donde

$$m = \frac{n_e - 1}{n_o - 1} \quad (5)$$

55

Con esto, el sistema de lente bifocal de geometría perfecta de la Fig. 1 viene representado por:

$$D_o = \frac{D_a - D_b}{n_o - n_e} \times (n_e - 1) \quad (6a)$$

60

$$D_e = \frac{D_a - D_b}{n_o - n_e} \times (n_e - 1) \quad (6b)$$

$$D_{34} = D_a - D_o - D_{12} \quad (7)$$

ES 2 106 720 T3

Si, por ejemplo, se preselecciona el radio R_3 , se puede entonces calcular R_2 a la vista de las ecuaciones (6a) o (6b). Luego, con el radio calculado R_2 y la ecuación (2) se ha de determinar el radio R_1 , y con el radio preseleccionado R_3 y la ecuación (7) se puede calcular R_4 . En principio se puede preseleccionar cualquiera de los cuatro radios.

5

Para la realización más general de un sistema de lente birrefringente de geometría no perfecta, las ondas-e atraviesan la lente birrefringente en una dirección que no es necesariamente perpendicular al eje óptico. Los rayos-e poseen, por consiguiente, índices de refracción efectivos individuales $n_{e,eff}$ con valores comprendidos entre n_e y n_o . Puesto que los índices efectivos $n_{e,eff}$ ni los caminos de los rayos-e dentro de la lente birrefringente son conocidos de antemano, siendo los caminos y los índices efectivos $n_{e,eff}$ mutuamente dependientes, no se pueden juzgar las actuaciones reales de un sistema de lente que incorpore una lente birrefringente sobre la base de los valores de n_e y la geometría de la lente, directamente.

Un cálculo razonable de las actuaciones de las lentes birrefringentes ha de estar basado en un seguimiento de rayo detallado de los rayos de luz a través de tal lente. Tal seguimiento del rayo comporta la determinación de los componentes espaciales de los vectores de propagación de la luz antes y después de una interfaz orientada arbitrariamente entre un medio isotrópico y un medio birrefringente. Para una elección u orientación dada del eje óptico del medio birrefringente, esta determinación comporta la construcción de Huygens, es decir, el caso general de la construcción de un plano tangente a un toroide elíptico; véase, por ejemplo, el trabajo de J. Strong titulado: "Concepts of Classical Optics" ("Conceptos de la Óptica Clásica"), pág. 138, de V. H. Freeman and Company (1958). Sobre la base de tales cálculos de seguimiento del rayo, los cuales pueden también aplicarse, por supuesto, a los rayos-o, se pueden evaluar prácticamente todos los datos de actuaciones de interés, tales como los de potencias de las lentes, la agudeza de la imagen, la aberración cromática y la esférica. La inclusión de las fórmulas de Fresnel para la amplitud transmitida de la luz que cruza el límite entre los medios ópticos permite también la determinación de las intensidades transmitidas de una lente multicapa.

A continuación se expondrán ejemplos de sistemas de lente birrefringente de geometría no perfecta de acuerdo con este invento, conjuntamente con las Figuras 2-5 que se acompañan. En estos ejemplos, se usan las siguientes definiciones:

30	DVO	La potencia en el vértice trasero para rayos-o a partir de los cálculos de potencia en el vértice trasero usuales.
35	DVE	La potencia en el vértice trasero para rayos-e a partir de cálculos de la potencia en el vértice trasero usuales.
	DO	La potencia en el vértice trasero para rayos-o a partir de cálculos de seguimiento de rayo.
	DE	La potencia en el vértice trasero para rayos-e a partir de cálculos de seguimiento de rayo.
40	ACM	La "medida de la agudeza", es decir, la relación entre el área de la mancha focal mínima y el área (es decir, la sección transversal) de la lente.
	PTR	El porcentaje de la intensidad media transmitida de la intensidad incidente asociada con una potencia.
45	n_o	El índice de refracción de la lente birrefringente para los rayos-o.
	n_e	El índice de refracción del componente de lente birrefringente para los rayos-e en el caso de que los rayos-e sean perpendiculares al eje óptico.
	n_{12}	El índice de refracción del componente de lente isotrópica que posee los radios R_1 y R_2 .
50	n_{34}	El índice de refracción del componente de lente isotrópica que posee los radios R_3 y R_4 .
	gamma	El ángulo entre el eje óptico y el eje de la lente.
	α_r	El ángulo entre los rayos de luz incidentes y el eje de la lente.
	α_p	El ángulo entre el plano formado por los rayos de luz incidentes y el eje de la lente y el plano formado por el eje óptico del componente de lente birrefringente y el eje de la lente.
55	R_1, R_2 R_3 y R_4	Los radios de las superficies de las lentes esféricas del sistema de lentes de las Figs 2-5.
	d	El diámetro del sistema de lente.
60	C_{12}, C_{23} y C_{34}	El grosor en el centro de la lente de los sistemas de lente de las Figs. 2-5.

ES 2 106 720 T3

DF La distancia inversa (en dioptrías) entre el punto focal y el centro de la superficie trasera del sistema de lente.

D_{pr} La potencia prismática en dioptrías prismáticas (1 dioptría prismática = 1 cm de desviación por metro).

5

Las especificaciones de diseño del componente 20 de lente birrefringente de la Fig. 2 son las siguientes:

10

15

Radio de la Superficie Frontal	$R_2 = 7,5 \text{ mm}$
Radio de la Superficie Trasera	$R_3 = 7,8 \text{ mm}$
Grosor en el Centro	$C_{23} = 0,05 \text{ mm}$
Diámetro del Sistema de Lente	$d = 6 \text{ mm}$
Orientación del Eje Óptico	$\gamma = 90^\circ$
Índices de Refracción	$n_o = 1,443; n_e = 1,8$
Dirección de la Luz Incidente	$\alpha_r = 0^\circ$

20

TABLA 1A

25

Valores Calculados para los Rayos-O de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 2			
DVO	DE	ACM	PTR
2,39	2,84	$4,8 \times 10^{-3}$	93%

30

TABLA 1B

35

Valores Calculados para los Rayos-E de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 2			
DVE	DE	ACM	PTR
4,42	5,11	$2,85 \times 10^{-3}$	79%

40

45

Los datos consignados en lo que antecede revelan que las potencias en el vértice trasero reales DO y DE son mayores que los valores correspondientes de DVO y DVE. Esto es debido a la apertura no cero del haz de rayos de luz que llegan. Puede realmente demostrarse que para luz incidente de apertura cero, DO y DVO acuerdan por completo, y DE y DVE casi coinciden. Para el caso de una luz incidente sobre el eje, las dos manchas focales están situadas exactamente sobre el eje de la lente. Es de hacer notar que la agudeza de la imagen de los rayos-e es excelente, en comparación con la agudeza de los rayos-o. Las pérdidas por transmisión para los rayos-e son más altas que para los rayos-o, debido a que los rayos-e se desvían en mayor medida que los rayos-o.

50

55

En el sistema de lente birrefringente de las Figs. 3A y 3B, el componente 20 de lente birrefringente de la Fig. 2 está combinado con componentes 10 y 30 de lente isotrópica. La única diferencia entre estos dos sistemas de lente está en la orientación del eje óptico del componente 30 de lente birrefringente, que es esencialmente perpendicular al eje de la lente en la Fig. 3A y que está inclinado aproximadamente 60° con relación al eje de la lente en la Fig. 3B. Los parámetros de las lentes para ambos sistemas de lente

60

ES 2 106 720 T3

se han elegido de tal modo que los sistemas de lente son prácticamente afocales para los rayos ordinarios (es decir, que presentan una potencia cero) y que presentan una potencia positiva para los rayos-e. Estos parámetros son los siguientes:

Radios	$R_1 = 7,85 \text{ mm}$ $R_2 = 7,5 \text{ mm}$ $R_3 = 7,8 \text{ mm}$ $R_4 = 7,8 \text{ mm}$
Grosor en el Centro	$C_{12} = 0,04 \text{ mm}$ $C_{23} = 0,05 \text{ mm}$ $C_{34} = 0,03 \text{ mm}$
Diámetro del Sistema de Lentes Medios de Lente	$d = 6 \text{ mm}$ $n_{12} = 1,443$ $n_o = 1,443; n_e = 1,8$ $n_{34} = 1,443$
Orientación de la Luz Incidente Dirección de la Luz Incidente	$\gamma = 90^\circ$ $\alpha_r = 0^\circ$

TABLA 2A

Valores Calculados para los Rayos-O de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 3A.			
DVO	DO	ACM	PTR
-10	-10	75×10^{-3}	93%

TABLA 2B

Valores Calculados para los Rayos-E de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 3A.			
DVE	DE	ACM	PTR
1,93	2,11	$7,5 \times 10^{-3}$	85%

De nuevo, para los rayos incidentes paralelos al eje de la lente, las dos manchas focales están situadas exactamente sobre el eje de la lente. La intensidad transmitida de los rayos-e ha aumentado en comparación con el caso de la única lente birrefringente (Fig. 2), pero se ha deteriorado ligeramente la agudeza.

Todavía con referencia al sistema de lente de la Fig. 3A, se presentan en ella las actuaciones del sistema para luz incidente desplazada con respecto al eje. La discusión de los cálculos que se expone en las Tablas 3 y 4 que siguen, está limitada a los rayos-e, dado que los rayos-o se comportan de una manera que puede determinarse a partir de lentes isotrópicas conocidas.

En primer lugar, se presentan a continuación en la Tabla 3 los datos para el caso de un haz de rayos de luz incidentes en que el ángulo entre el plano de incidencia y el eje óptico del componente de lente birrefringente es cero.

ES 2 106 720 T3

Tabla 3

Dirección de la luz incidente: $\alpha_r = 30^\circ$; $\alpha_p = 0^\circ$				
DVE*	DF	ACM	PTR	D_{pr}
1,93	1,93	98×10^{-3}	89%	D_{pr}

+ Calculado para luz incidente sobre el eje

A partir de estos datos, se apreciará que un sistema de lente birrefringente de acuerdo con este invento presenta una potencia efectiva DF que es prácticamente idéntica a la potencia DVE para una luz incidente según el eje. Desde el punto de vista del diseño de la lente, tal característica puede ser ventajosa, por ejemplo, en el caso de una lente oftálmica, y en particular de una lente de contacto, en donde puede ser deseable mantener la misma potencia efectiva con independencia del ángulo de la luz incidente con relación al eje de la lente, incluso aunque pueda producirse alguna pérdida de agudeza de la imagen.

En segundo lugar, los datos de las actuaciones de este sistema de lente para rayos de luz incidentes desplazados con respecto al eje, cuando el eje óptico sea perpendicular al plano de la luz incidente, se han presentado en la Tabla 4 como sigue:

Tabla 4

Dirección de la luz incidente que llega: $\alpha_r = 30^\circ$; $\alpha_p = 90^\circ$				
DVE*	DF	ACM - rayos-e	PTR	D_{pr}
1,93	2,24	35×10^{-3}	89%	0,74

* Calculado para luz incidente sobre el eje

Para este tipo de luz incidente, los análisis comparativos revelan que el sistema de lente birrefringente de este invento se comporta de un modo muy similar a como lo hace un sistema de lente isotrópica de idéntica potencia DVE. La consecuencia práctica de esto para, por ejemplo, el diseño de una lente de contacto, es la de que las relaciones ópticas y las propiedades normales siguen siendo esencialmente ciertas para el presente sistema de lente birrefringente para este tipo de luz incidente.

Los datos combinados de las Tablas 3 y 4 indican, en el caso de una lente de contacto bifocal, que la adición para la lectura (visión próxima) la proporcionan preferiblemente los rayos-e y que la adición para la distancia (visión lejana) la proporcionan preferiblemente los rayos-o. Estos mismos datos indican además que el eje óptico de una lente de contacto bifocal deberá estar orientado en una dirección que sea sustancialmente vertical cuando el campo visual sea interpretado horizontalmente, por ejemplo, de izquierda a derecha. A la inversa, si se estuviese viendo el campo visual principalmente en una dirección vertical, los datos de las Figs. 3 y 4 indican que la dirección del eje óptico de la lente de contacto bifocal deberá ser sustancialmente horizontal.

Como se ha señalado, en lo que antecede, solamente se requieren un componente de lente birrefringente y un componente de lente isotrópica a fin de proporcionar dos potencias preseleccionadas independientemente. No obstante, puede ser ventajoso proporcionar un sistema de tres o más componentes de lente para aplicaciones particulares. Uno de tales sistemas de lente contemplados en este invento e ilustrado esquemáticamente en la Fig. 3A incluye una lente de contacto escleral en la cual el componente de lente birrefringente, cuyo diámetro se corresponde con el diámetro máximo de la pupila, está empotrado o encajado en un componente de lente isotrópica cuyo diámetro se corresponde con el diámetro de la

ES 2 106 720 T3

esclerótica. Los componentes de lente isotrópica por delante y por detrás del componente de lente birrefringente, 10 y 30, respectivamente, pueden ser considerados como los dos componentes de lente isotrópica del sistema de lente general. Los diversos componentes pueden ser fabricados del mismo o de diferentes medios ópticos. Por ejemplo, se puede combinar un polímero birrefringente, como cualquiera de los descritos en las Patentes anteriores a las que se ha hecho referencia en lo que antecede, o un polímero orientado, por ejemplo, poli(metil metacrilato) que haya sido estirado, con cualesquiera medios de lente de contacto isotrópica conocidos, tales como el polímero de hidrometil metacrilato o (el poli(metil metacrilato (no estirado), para proporcionar una lente de contacto bifocal de acuerdo con este invento.

En la Fig. 4 se ha ilustrado otro sistema de lente birrefringente de acuerdo con este invento, que posee los siguientes parámetros de diseño para el componente 20 de lente birrefringente y el componente 30 de lente isotrópica.

Radios	$R_2=38$ mm $R_3=50$ mm $R_4=-50$ mm
Grosor en el Centro	$C_{23}=0,05$ mm $C_{34}=0,03$ mm
Diámetro del Sistema de Lentes	$d=6$ mm
Medios de Lente	$n_o=1,443$; $n_e=1,8$ $n_{34}=1,443$
Orientación del Eje Óptico	$\gamma=90^\circ$
Dirección de la Luz Incidente	$\alpha_r=0^\circ$

TABLA 5A

Valores Calculados para los Rayos-O de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 4			
DVO	DO	ACM	PTR
20,63	20,77	$0,007 \times 10^{-3}$	93%

TABLA 5B

Valores Calculados para los Rayos-E de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 4			
DVE	DE	ACM	PTR
22,96	23,03	$0,008 \times 10^{-3}$	88%

Los anteriores resultados indican que se pueden usar los sistemas de lente birrefringente del presente invento como una lente intraocular bifocal.

Como se ha ilustrado en la Fig. 3B, los sistemas de lente birrefringente de acuerdo con el invento son también bifocales para orientaciones del eje óptico distintas a la perpendicular al eje de la lente.

TABLA 6A

Valores Calculados para los Rayos-O de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 3B			
DVO	DO	ACM	PTR
-10	-10	75×10^{-3}	93%

TABLA 6B

Valores Calculados para los Rayos-E de la Componente de Lente Birrefringente de la Fig. 3B			
DVE**	DE	ACM	PTR
1,93	1,80	68×10^{-3}	85%

Como puede verse de los anteriores cálculos, la potencia asociada con los rayos-e ha disminuido. Ello es debido al hecho de que los índices de refracción efectivos $n_{e,eff}$ son menores que n_e . La calidad de la imagen para los rayos-e es más deficiente que para el caso de $\gamma = 90^\circ$. Por consiguiente, solamente en unos pocos casos será adecuado usar otros ángulos entre los ejes óptico y de la lente que no sean el de $\gamma = 90^\circ$.

Sin embargo, para todo lo más solamente pequeñas desviaciones de γ con respecto a 90° , las actuaciones de la lente pueden ser satisfactorias. Por consiguiente, está dentro del alcance del invento el doblar una hoja de polímero birrefringente cuyo eje óptico esté dentro del plano de la hoja, de modo que presente una superficie cilíndrica, siendo el eje del cilindro perpendicular a los ejes ópticos entonces circulares. Se puede dar al radio del cilindro, por ejemplo, un valor que corresponda a uno de los radios de la lente birrefringente. El análisis de tal lente revela que se comportará de modo casi idéntico a como lo haría una lente que presentase un eje óptico perpendicular el eje de la lente en toda la lente. Como resulta evidente, al ir aumentando el radio del cilindro la aproximación va siendo cada vez mayor.

En las realizaciones anteriormente descritas, se combinó un componente de lente birrefringente con uno o dos componentes de lente isotrópica, a fin de proporcionar dos potencias diferentes, cuyas magnitudes se pueden elegir con total independencia entre sí, e incluso con un parámetro geométrico libre que quede para el sistema de lente compuesta. En el caso de, por ejemplo, una lente de contacto, este parámetro libre queda disponible para el diseño de la curvatura de la superficie trasera del sistema de lente. Este efecto puede conseguirse también, en general, combinando dos componentes de lente birrefringente. A fin de producir dos potencias solamente, el ángulos entre los ejes ópticos de las dos lentes birrefringentes debe ser de 90° , de modo que los rayos-o en la primera lente birrefringente sean los rayos-e en la segunda, y viceversa. Esta configuración, a la que se puede hacer referencia como la de un sistema de lente "birrefringente cruzada", se ha ilustrado en la Fig. 5.

Los parámetros de diseño del sistema de lente de la Fig. 5, consistente en los componentes 20 y 21 de lente birrefringente, son los siguientes:

ES 2 106 720 T3

5	Radio de la Superficie Frontal	7,9 mm
	Radio de la Superficie Intermedia	7,5 mm
	Radio de la Superficie Trasera	7,8 mm
	Grosor en el Centro, primera lente	0,06 mm
	Grosor en el Centro, segunda lente	0,06 mm
	Diámetro del Sistema de Lentes	6,0 mm
	Medios Ópticos	
10	primera lente	$n_o=1,443; n_e=1,8$
	segunda lente	$n_o=1,443; n_e=1,8$
	Orientación de los Ejes Ópticos	$\gamma_1=\gamma_2= 90^\circ$
	Ángulo entre los Ejes Ópticos	90_0
15	Dirección de la Luz Incidente	$\alpha_r = 0^\circ$

En el cálculo expuesto en la Tabla 7, a los valores siguientes corresponden las definiciones que aquí se dan:

Valor	Definición
DOE	La potencia asociada con los rayos-o en la primera lente, y con los rayos-e en la segunda lente.
DEO	La potencia asociada con los rayos-e en la primera lente, y con los rayos-o en la segunda lente.
DVOE y DVEO	Las correspondientes potencias obtenidas de los cálculos de potencias de vértices traseros usuales.

Tabla 7

Valores Calculados para el Sistema de Lente Birrefringente de la Fig. 5			
DVOE	DOE	DVEO	DEO
1,60	1,84	-2,66	-2,82

La agudeza de la imagen proporcionada por el sistema de lente de la Fig. 5 es del mismo orden de magnitud para luz incidente sobre el eje que en el caso de un sistema de lente birrefringente-isotrópica, por ejemplo, el de la Fig. 3A.

Las configuraciones birrefringentes cruzadas son capaces de producir grandes diferencias de potencia para las dos ondas de luz emergentes polarizadas ortogonalmente, incluso con lentes muy delgadas. En consecuencia, tales configuraciones pueden ser utilizadas para lentes de contacto.

Las anteriores realizaciones indican que el sistema de lente birrefringente de acuerdo con este invento es una lente de contacto oftálmica o una lente intraocular, en la que se requieren al menos dos potencias diferentes, una al menos para la visión a distancia (lejana) y una al menos para la lectura (visión próxima).

Como se ha mencionado, en lo que antecede, las dos potencias de un sistema de lente birrefringente son producidas por dos ondas de luz polarizadas ortogonalmente. Si, a modo de ejemplo, la potencia para la visión lejana está asociada con una onda de luz en un plano de polarización vertical y la potencia para

lectura con una onda de luz en un plano de polarización horizontal, las gafas para el sol que incorporen filtros de polarización pueden ser empleadas ventajosamente para seleccionar exclusivamente cada una de las dos potencias disponibles, dependiendo de la dirección del deslumbramiento. Tales gafas para el sol tendrían que incorporar, en el modo de este ejemplo, un filtro de polarización que produjese luz polarizada verticalmente en la zona mayor para visión lejana y un filtro de polarización que produjese luz polarizada horizontalmente en la zona menor para lectura.

Con tales gafas para el sol, la luz desenfozada que surge de la potencia para lectura será eliminada en la potencia para la visión lejana, y viceversa, sin pérdida de intensidad, si se compara con la intensidad de la luz disponible en las gafas para el sol de polarización usuales, es decir, que esencialmente habrá disponible un 50% de la intensidad de la luz incidente en cada uno de los dos focos. El aspecto físico de las gafas para el sol de tal diseño no es diferenciable del que tienen las gafas para el sol de polarización usuales, lo que resulta ventajoso bajo el punto de vista de la cosmética.

Si los ejes ópticos de dos lentes birrefringentes no están a 90° , habrá en general cuatro potencias diferentes, debido a que la potencia-o y la potencia-e de la primera lente se combinan con la potencia-o y la potencia-e de la segunda. En el sistema de lente de la Fig. 5, las dos potencias adicionales serían de -51 y -47 dioptrías, es decir, que la lente es prácticamente trifocal.

En la Fig. 7 se ha ilustrado un sistema de lente birrefringente que incorpora dos componentes de lente birrefringente, 20 y 21, en los cuales el ángulo entre los ejes ópticos es distinto a 90° . En general, las cuatro potencias de un sistema de lente que incorpore dos componentes birrefringentes vienen dadas por:

$$D_{1o} + D_{2o} = D_a \quad (8a)$$

$$D_{1o} + D_{2e} = D_b \quad (8b)$$

$$D_{1e} + D_{2e} = D_c \quad (8c)$$

$$D_{1e} + D_{2o} = D_d \quad (8d)$$

en donde D_{1o} es la potencia de la primera lente para los rayos-o, D_{1e} es la potencia de la primera lente para los rayos-e, y así sucesivamente, y D_a , D_b , D_c y D_d son las potencias resultantes de las combinaciones en las que las dos lentes están en contacto.

Para una buena aproximación, la potencia de una lente viene dada por (véase J. Strong, loc.cit. pág. 319):

$$D = (n - 1) \times S \quad (9)$$

en donde D es la potencia, n es el índice de refracción y S es el denominado "factor de forma" de la lente. La ecuación (9) puede también aplicarse para el caso de una lente birrefringente de una geometría no perfecta (por ejemplo, Figs. 3A, 4 y 5). A la vista de la ecuación (9), las potencias D_{1o} y D_{1e} de la primera lente, para los rayos-o y para los rayos-e, vienen dadas por:

$$D_{1o} = (n_{1o} - 1) \times S_1 \quad (10a)$$

$$D_{1e} = (n_{1e} - 1) \times S_1 \quad (10b)$$

o bien

$$D_{1e} = m_1 \times D_{1o} \quad (10c)$$

donde

$$m_1 = \frac{n_{1e}-1}{n_{1o}-1} \quad (5')$$

y en donde n_{1e} y n_{1o} son los índices de refracción de la primera lente para los rayos-e y para los rayos-o, respectivamente. Relaciones análogas son de aplicación para la segunda lente.

A modo de una realización específica, se analiza una lente consistente en dos componentes de lente birrefringente y fabricada del mismo medio birrefringente. A la vista de las ecuaciones (5'), (10) y (8), las cuatro potencias del sistema de lente de acuerdo con esta realización vienen dadas por:

$$D_{1o} + D_{2o} = D_a \quad (11a)$$

$$D_{1o} + m \times D_{2o} = D_b \quad (11b)$$

ES 2 106 720 T3

$$m \times D_{1o} + D_{2o} = D_c \quad (11c)$$

$$m \times D_{1o} + m \times D_{2o} = D_d \quad (11d)$$

Este sistema de ecuaciones es redundante: por lo tanto, no es posible preseleccionar las cuatro potencias independientemente unas de otras. La ecuación (11) permite la preselección de solamente dos de las cuatro potencias resultantes. Esto es también cierto para el caso de dos componentes de lente birrefringente fabricados de medios birrefringentes diferentes.

Si un sistema de lente de acuerdo con la Fig. 7 debiera ser trifocal, dos de las cuatro potencias deben ser iguales. Como resulta evidente de la ecuación (11), solamente existen las dos posibilidades:

$$D_a = D_d \quad (12)$$

o

$$D_b = D_c \quad (13)$$

En el caso de que $D_3 = D_d$, se tiene que $D_{1o} = -D_{2o}$ y por consiguiente $D_a = D_b = 0$. Las tres potencias de este sistema de lente son entonces:

$$D_b = D_{1o} \times (1 - m) \quad (14)$$

$$D_a = D_d = 0 \quad (15)$$

$$D_c = -D_{2o} \times (1 - m) \quad (16)$$

es decir, que están espaciadas por igual. El intervalo constante entre las tres potencias puede elegirse libremente, es decir, que se pueden preseleccionar dos de las tres potencias. La elección del intervalo determina el valor D_{1o} . Para cualquier elección dada de una superficie de lente, D_{1o} determina entonces las otras superficies de lente si las dos lentes poseen superficies comunes u opuestas complementarias.

En el caso de $D_b = D_c$ se obtiene como resultado que $D_{1o} = D_{2o}$, y las tres potencias vendrán dadas por

$$D_a = 2 \times D_{1o} \quad (17)$$

$$D_b = D_c = (m + 1) \times D_{1o} \quad (18)$$

$$D_d = 2 \times m \times D_{1o} \quad (19)$$

Como puede verse de las ecuaciones (17) a (19), un valor para una de las tres potencias determina también las otras dos potencias; por consiguiente, para este caso particular no existe la posibilidad de preseleccionar dos potencias independientemente la una de la otra.

Del estudio hecho en lo que antecede, resulta evidente que a través de la adición de una lente isotrópica, se puede desplazar el conjunto de potencias a un conjunto de valores deseados sin alterar, por supuesto, las diferencias entre las potencias individuales.

En un sistema de lente que incorpore dos lentes birrefringentes, las lentes birrefringentes están provistas de un grado de libertad para rotación alrededor del eje de la lente, el sistema de lente actúa ya sea como una lente cuadrifocal o como una lente bifocal cuando se usa luz no polarizada, o bien como una lente cuadrifocal, bifocal o monofocal cuando sobre el sistema de lente incida luz polarizada. En la Fig. 8 se ha ilustrado esquemáticamente tal sistema de lente que incorpora un polarizador 60 y dos componentes 20 y 21 de lente birrefringente. Como se ha indicado en lo que antecede, solamente dos de las cuatro potencias disponibles pueden ser predeterminadas independientemente si en el sistema están integrados dos componentes de lente birrefringente y ningún componente de lente isotrópica. Si, a modo de ejemplo, se combina uno de los dos componentes de lente birrefringente con otro componente de lente isotrópica o de lente birrefringente, el componente de lente combinada presenta dos potencias seleccionables independientemente: D_1 y D_2 . Por consiguiente, las cuatro potencias resultantes vienen ahora dadas por:

$$D_1 + D_{2o} = D_a \quad (20a)$$

$$D_1 + m \times D_{2o} = D_b \quad (20b)$$

$$D_2 + D_{2o} = D_c \quad (20c)$$

$$D_2 + m \times D_{2o} = D_d \quad (20d)$$

ES 2 106 720 T3

Del sistema de ecuaciones (20) puede concluirse que se pueden dar valores preseleccionados a tres cualesquiera de las cuatro potencias, dejando solamente una, la cuarta potencia, como una función de las tres potencias preseleccionadas.

5 Generalizando los anteriores resultados, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- (1) Una sola lente birrefringente de un medio dado presenta dos potencias simultáneas diferentes; solamente a una de las dos potencias se le puede asignar un valor preseleccionado, siendo la segunda potencia función de ese valor predeterminado.
- 10 (2) Un sistema de lente consistente en un componente de lente birrefringente y un componente de lente isotrópica u otro birrefringente presenta dos potencias, cada una de las cuales puede ser preseleccionada con total independencia la una de la otra.
- (3) Un sistema de lente consistente en dos lentes birrefringentes presenta cuatro potencias en general: dos de las cuatro potencias pueden ser preseleccionadas independientemente, siendo las dos potencias restantes funciones de las dos potencias seleccionadas.
- 15 (4) Si se combinan las cuatro lentes birrefringentes con un componente de lente isotrópica u otro de lente birrefringente, se pueden preseleccionar tres de las cuatro potencias disponibles, siendo solamente la cuarta función de las tres preseleccionadas.
- 20 (5) Se puede demostrar que en un sistema de lente que incorpore tres lentes birrefringentes, solamente se pueden determinar independientemente tres del total de ocho potencias resultante.
- (6) Si se combinan las tres lentes birrefringentes con un componente de lente isotrópica u otro de lente birrefringente, a cuatro de las ocho potencias resultantes se les puede asignar valores arbitrariamente preseleccionados.
- 25

En general. el número N de potencias resultante de un sistema de lente que incorpore M lentes birrefringentes, viene dado por (véase Eng y otros, *loc. cit. supra*)

$$30 \quad N = 2^M \quad (21)$$

El número de potencias N_{libre} a ser seleccionadas con total independencia es de

$$N_{\text{libre}} = M \quad (22)$$

35 Si, en el sistema consistente en M componentes de lente birrefringente, se combina al menos un componente con un componente de lente isotrópica, o con otro de lente birrefringente, el número de potencias resultantes es de nuevo N , pero el número N_{libre} viene dado por:

$$N_{\text{libre}} = M + 1 \quad (23)$$

40 Las anteriores relaciones son de aplicación para el caso de M medios birrefringentes predeterminados. Si hay una elección en la selección de los M medios birrefringentes, es posible que se puedan dar valores deseados a más de las N_{libre} potencias.

45 Las lentes birrefringentes y los sistemas de lente birrefringente ofrecen la posibilidad de atribuir diferentes intensidades a diferentes potencias, En el estudio de las relaciones de las intensidades, es de hacer notar en primer lugar que la amplitud de la luz natural incidente se divide vectorialmente, es decir, que las amplitudes A_o y A_e asociadas con las ondas-o y con las ondas-e, respectivamente, presentan cada una un valor:

$$50 \quad A_o = A_e = \frac{A \times 2^{0,5}}{2} \quad (24)$$

en donde A es la amplitud de la luz incidente. De ello se deduce que se dirige el 50% de la intensidad disponible a cada uno de los dos focos. Por lo tanto, la relación entre las intensidades de la luz enfocada y de la luz desenfoada es de 1:1 en cada uno de los dos focos. Esto es extremadamente favorable en comparación con otros diseños de lentes bifocales de visión simultánea conocidos, véase en lo que antecede.

55 A esta relación se le puede asignar cualquier valor deseado si incide luz polarizada linealmente sobre un sistema de lente que incorpore al menos una lente birrefringente. En la Fig. 6 se ha ilustrado esquemáticamente un sistema de lente birrefringente en el cual la orientación relativa del eje óptico del componente 20 de lente birrefringente con respecto al plano de vibración de la luz polarizada incidente está caracterizada por el ángulo beta. La luz polarizada es producida por unos medios de polarización 80. Las intensidades I_o e I_e asociadas con los rayos-o y con los rayos-e, respectivamente, vienen dadas por:

ES 2 106 720 T3

$$I_o = I_p \text{ sen}^2 \text{ beta} \quad (25a)$$

$$I_e = I_p \text{ cos}^2 \text{ beta} \quad (25b)$$

5 donde I_p es la intensidad de la luz polarizada incidente. A la vista de la ecuación (25), está claro que a la relación entre I_o e I_e se le puede asignar cualquier valor mediante una selección apropiada del ángulo beta. Si se usa un filtro de polarización común para la producción de luz polarizada, ello se conseguirá, como se apreciará, con una pérdida de intensidad total. Pero en ciertas aplicaciones puede ser más importante el reducir en una potencia la intensidad de la luz desenfocada que el tener intensidades más altas, pero iguales, asociadas con ambas potencias. Además, en algunas aplicaciones es posible usar un polarizador de alta transmisión, por ejemplo, como el descrito en la Patente de EE.UU. N° 3.552.985, en cuyo caso la intensidad total disponible no resulta afectada.

15 Las anteriores consideraciones son de aplicación a sistemas de lente birrefringente bifocales, en general, es decir, a sistemas que incorporen, por ejemplo, dos componentes de lente birrefringente cruzados (Fig. 5), o a un sistema de lente que incorpore un componente de lente birrefringente y uno o más componentes de lente isotrópica (Figs. 3A, 3B y 4).

20 Las intensidades asociadas con las cuatro potencias de un sistema de lente birrefringente, de acuerdo con la Fig. 7, vienen dadas por:

$$I(OO) = (I/2) \times \text{cos}^2 \text{ beta}_{12} \quad (26a)$$

$$I(OE) = (I/2) \times \text{sen}^2 \text{ beta}_{12} \quad (26b)$$

$$25 \quad I(EO) = (I/2) \times \text{sen}_2 \text{ beta}_{12} \quad (26c)$$

$$I(EE) = (I/2) \times \text{cos}^2 \text{ beta}_{12} \quad (26d)$$

30 donde $I(OO)$ es la intensidad asociada con los rayos-o en la primera lente birrefringente y con los rayos-o en la segunda lente birrefringente, y así sucesivamente. I es la intensidad de la luz incidente no polarizada, y beta_{12} es el ángulo entre los ejes ópticos de los dos componentes de lente birrefringente. De la ecuación (26) resulta evidente que existe un cierto grado de libertad en cuanto a la atribución de intensidades a las diferentes potencias. Si, por ejemplo, se hace el sistema de lente trifocal con intensidades iguales en las tres potencias, se tiene para el caso de que $D_{1o} = -D_{2o}$, *supra*, que el ángulo beta_{12} viene determinado por:

$$35 \quad I(OO) + I(EE) = I(OE) = I(EO) \quad (27)$$

o bien

$$40 \quad \text{cos}^2 \text{ beta}_{12} = (\text{sen}^2 \text{ beta}_{12})/2 \quad (27')$$

lo cual da por resultado que

$$\text{beta}_{12} = 54,7^\circ \quad (28)$$

45 Para el otro caso posible, $D_{1o} = D_{2o}$, *supra*, el ángulo entre los dos ejes ópticos debe ser de

$$\text{beta}_{12} = 35,3^\circ \quad (29)$$

50 Si se usa un filtro de polarización frente a un sistema de lente que incorpore dos componentes de lente birrefringente y opcionalmente uno o más componentes de lente isotrópica, como se ha ilustrado en la Fig. 8, las intensidades asociadas con las cuatro potencias resultantes vienen dadas por:

$$I(OO) = (I/2) \times \text{sen}^2 \text{ beta} \times \text{cos}^2 \text{ beta}_{12} \quad (30a)$$

$$55 \quad I(OE) = (I/2) \times \text{sen}^2 \text{ beta} \times \text{sen}^2 \text{ beta}_{12} \quad (30b)$$

$$I(EO) = (I/2) \times \text{cos}^2 \text{ beta} \times \text{sen}^2 \text{ beta}_{12} \quad (30c)$$

$$I(EE) = (I/2) \times \text{cos}^2 \text{ beta} \times \text{cos}^2 \text{ beta}_{12} \quad (30d)$$

60 La ecuación (30) indica que el sistema de lente de la Fig. 8 puede hacerse monofocal, bifocal o cuadrifocal, si se proporcionan grados de libertad para la rotación de las lentes birrefringentes alrededor del eje de la lente.

B. *Sistemas de Lente Birrefringente Multifocal que son Acromáticos o que Presentan una Cantidad Pre-determinada de Aberración Cromática*

Los sistemas de lente multifocal de acuerdo con este invento, que incorporan uno o más componentes de lente birrefringente y uno o más componentes de lente isotrópica pueden ser también acromatizados en un grado variable. Las consideraciones que siguen, en cuanto a la acromatización de sistemas de lente, están en consonancia con el formalismo, como por ejemplo el presentado por M. Herzberger en "Handbook of Physics" ("Manual de Física"), McGraw-Hill, 1967, págs. 6-42. El tratamiento del acromatismo según Herzberger difiere ligeramente de la teoría más comúnmente empleada, como por ejemplo la presentada por J. Strong, *loc. cit.* pág. 319 o la de M. Born, "Optik", Springer-Verlag, 1972, pág. 82. Además, es de hacer notar que en la descripción que sigue de los sistemas de lente birrefringente acromatizada se requiere que los componentes individuales estén "adyacentes entre sí", tal como se ha definido esa expresión en lo que antecede, pero, a diferencia de los sistemas de lente no acromatizada descritos en lo que antecede, es decir, Figs. 1, 3A, 3B y 4 a 8, no tienen necesidad de poseer dos superficies de lente opuestas de curvaturas idénticas o complementarias.

Un sistema de lente que comprenda un componente de lente birrefringente y al menos un componente de lente isotrópica, ya sea de geometría perfecta o ya sea de geometría no perfecta, es acromático en ambas potencias preseleccionadas si se satisface el sistema de ecuaciones que siguen (se ha estudiado el caso más general de una lente birrefringente y dos lentes individuales isotrópicas, cuyo caso incluye la realización de geometría perfecta):

$$D_{1-b1} + D_{2o.b1} + D_{3.b1} = D_{a.b1} \quad (31a)$$

$$D_{1.r} + D_{2o.r} + D_{3.r} = D_{a.r} \quad (31b)$$

$$D_{1.b1} + D_{2e.b1} + D_{3.b1} = D_{b.b1} \quad (31c)$$

$$D_{1.r} + D_{2e.r} + D_{3.r} = D_{b.r} \quad (31d)$$

con las condiciones

$$D_{a.b1} = D_{a.r} + D_a \quad (32)$$

y

$$D_{b.b1} = D_{b.r} = D_b \quad (33)$$

En el sistema de ecuaciones (31) a (33), $D_{1.b1}$ se refiere a la potencia de la lente isotrópica "1" para luz azul ("b1"), $D_{2o.b1}$ a la potencia de la lente birrefringente "2" para los rayos-o y para luz azul ("b1"), $D_{3.r}$ a la potencia de la lente isotrópica 3 para luz roja ("r"), y así sucesivamente.

Se hace notar que los subíndices "b1" y "r" están destinados simplemente a hacer referencia a dos longitudes de onda diferentes, y que la descripción que sigue no está limitada a dos longitudes de onda particulares correspondientes a la luz azul y a la luz roja.

Se hace uso ahora, y en lo que sigue, del hecho de que el factor de forma S de una lente, *supra*, viene dado con una estrecha aproximación por:

$$S = \frac{D}{n-1} \quad (9')$$

donde D es la potencia de una lente, y n es el índice de refracción asociado a esa potencia. Para mayor simplicidad, al valor $n - 1$ se le denominará en adelante n' , es decir que

$$n' = n - 1.$$

A modo de ejemplo, las potencias $D_{3.b1}$ y $D_{3.r}$ están por lo tanto interconectadas por la expresión:

$$D_{3.r} = D_{3.b1} \times \frac{n'_{3.r}}{n'_{3.b1}} \quad (34)$$

Si el sistema de lente de la ecuación (31) ha de ser acromático con ambas potencias, se debe satisfacer la siguiente condición:

$$D_{2o.b1} - D_{2e.b1} = D_{2o.r} - D_{2e.r} \quad (35)$$

lo cual da por resultado la limitación:

ES 2 106 720 T3

$$D_{2o.b1} - n_{2e.b1} = n_{2o.r} - n_{2e.r} \quad (36)$$

La diferencia entre el índice de refracción para las ondas-e y las ondas-o se denomina la “birrefringencia” del medio. Por consiguiente, un sistema de lente que incorpore un componente de lente birrefringente y al menos un componente de lente isotrópica, puede hacerse acromático para ambas potencias preseleccionadas en realizaciones tanto de geometría no perfecta como de geometría perfecta, si la birrefringencia del componente de lente birrefringente es idéntica en dos longitudes de onda fijadas como objetivo, por ejemplo, “b1” y “r”, tal como se indicó en lo que antecede.

Un sistema de lente capaz de producir dos potencias preseleccionadas y que incorpore una lente birrefringente y dos lentes isotrópicas puede hacerse en general acromático en una de las dos potencias preseleccionadas. A modo de ejemplo, se describe un sistema de lente en el cual la potencia correspondiente a los rayos-e es acromática. Entonces debe ser compatible el siguiente sistema de ecuaciones:

$$D_{1.b1} + D_{2e.b1} + D_{3.b1} = D_{a.b1} \quad (37a)$$

$$D_{1.r} + D_{2e.r} + D_{3.r} = D_{a.r} \quad (37b)$$

$$D_{1.b1} + D_{2o.b1} + D_{3.b1} = D_{b.b1} \quad (37c)$$

A la vista de las ecuaciones (9') y (34), este sistema de ecuaciones se transforma en:

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{n'_{2e.b1}}{n_{2o.b1}} & 1 \\ \frac{n'_{1.r}}{n'_{1.b1}} & \frac{n'_{2e.r}}{n_{2o.b1}} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{1.b1} \\ D_{2o.b1} \\ D_{3.b1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{a.b1} \\ D_{a.r} \\ D_{b.b1} \end{bmatrix} \quad (38)$$

Además, para una lente acromática, se debe satisfacer la condición:

$$D_{a.b1} = D_{a.r} \quad (39)$$

Se pueden asignar a $D_{a.b1}$ y a $D_{a.r}$ valores diferentes preseleccionados, como si la lente presentase una cierta aberración cromática en esa potencia.

La ecuación (38) puede resolverse en general dando por resultado la especificación de $D_{1.b1}$, $D_{2o.b1}$ y $D_{3.b1}$, y, a la vista de la ecuación (34), de todas las demás potencias.

Para una potencia dada de una lente, permanece un grado de libertad para la geometría de la lente. Por consiguiente, tres lentes en contacto presentan tres de tales grados de libertad, dos en compuesto (es decir, compartiendo una superficie común) con una tercera lente en contacto presentan dos grados de libertad, y tres lentes en compuesto presentan todavía un grado de libertad para la geometría de tal sistema de lente.

Si se desea que el sistema de lente de la ecuación (38) presente tanto acromatismo en una de las potencias preseleccionadas como también una geometría perfecta, ello puede conseguirse de diversos modos, como sigue:

- (1) Se puede situar el componente de lente birrefringente al frente, de modo que la luz incida primero sobre el mismo, y se hace que la primera superficie de la lente birrefringente sea un plano.
- (2) Se puede limitar la geometría del sistema de lente mediante la condición:

$$D_1 = -D_{2e.fs} \quad (40)$$

donde $D_{2e.fs}$ es la potencia de superficie de la primera superficie de la lente birrefringente adyacente a la primera lente isotrópica, y D_1 es la potencia de la primera lente, correspondiendo tanto D_1 como $D_{2e.fs}$ a cualquier longitud de onda visible.

- (3) Si los dos componentes de lente isotrópica están situados al frente del compuesto de lente birrefringente, se debe satisfacer la condición:

$$D_1 + D_3 = -D_{2e.fs} \quad (41)$$

siendo D_3 la potencia de la lente isotrópica restante.

Hablando en términos estrictos, solamente una geometría de acuerdo con (1) será de la clase de geometría perfecta para ambas longitudes de onda, la "b1" y la "r", y (2) y (3) producen geometrías perfectas para la longitud de onda elegida solamente en las ecuaciones (40) y (41). Pero, debido a la usualmente moderada dependencia de las longitudes de onda de los índices de refracción de los medios isotrópico y birrefringente, las limitaciones (2) y (3) dan por resultado geometrías que son esencialmente perfectas.

A continuación se describirá la acromatización de sistemas de lente birrefringente en dos potencias preseleccionadas.

En el caso de un sistema de lente, que incorpore dos componentes de lente birrefringente cruzados, pero ningún componente de lente isotrópica, debe ser compatible el siguiente sistema de ecuaciones:

$$D_{10.b1} + D_{2e.b1} = D_{a.b1} \quad (42a)$$

$$D_{1o.r} + D_{2e.r} = D_{a.r} \quad (42b)$$

$$D_{1e.b1} + D_{2o.b1} = D_{b.b1} \quad (42c)$$

$$D_{1e.r} + D_{2o.r} = D_{b.r} \quad (42d)$$

con las condiciones acromáticas:

$$D_{a.b1} - D_{a.r} = D_{b.b1} - D_{b.r} \quad (43)$$

Las ecuaciones (42) y (43) pueden resolverse con tal de que se satisfaga la siguiente condición:

$$(n_{1o.r} - n_{1e.r}) - (n_{2o.r} - n_{2e.r}) = (n_{1o.b1} - n_{1e.b1}) - (n_{2o.b1} - n_{2e.b1}) \quad (44)$$

Por consiguiente, la diferencia entre las birrefringencias de las dos lentes debe ser igual para las dos longitudes de onda consideradas. Esto, de nuevo, equivale a una limitación en los medios birrefringentes.

Finalmente, se describe un sistema de lente que incorpora dos componentes de lente birrefringente cruzados y dos componentes de lente isotrópica. Si tal sistema ha de ser acromático para ambas potencias preseleccionadas, deberá ser compatible el siguiente sistema de ecuaciones:

$$D_{1.b1} + D_{2o.b1} + D_{3e.b1} + D_{4.b1} = D_{a.b1} \quad (45a)$$

$$D_{1.r} + D_{2o.r} + D_{3e.r} + D_{4.r} = D_{a.r} \quad (45b)$$

$$D_{1.b1} + D_{2e.b1} + D_{3o.b1} + D_{4.b1} = D_{b.b1} \quad (45c)$$

$$D_{1.r} + D_{2e.r} + D_{3o.r} + D_{4.r} = D_{a.r} \quad (45d)$$

el cual se transforma en:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{n'_{3e.b1}}{n_{3o.b1}} & 1 \\ \frac{n'_{1.r}}{n'_{1.b1}} & \frac{n'_{2o.r}}{n'_{2o.b1}} & \frac{n'_{3e.r}}{n_{3o.b1}} & \frac{n'_{4.r}}{n_{4.b1}} \\ 1 & \frac{n'_{2e.b1}}{n_{2o.b1}} & 1 & 1 \\ \frac{n'_{1.r}}{n'_{1.b1}} & \frac{n'_{2e.r}}{n_{2o.b1}} & \frac{n'_{3o.r}}{n_{3o.b1}} & \frac{n'_{4.r}}{n_{4.b1}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{1.b1} \\ D_{2o.b1} \\ D_{3o.b1} \\ D_{4.b1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{a.b1} \\ D_{a.r} \\ D_{b.b1} \\ D_{b.r} \end{bmatrix} \quad (46)$$

Si las dos potencias preseleccionadas han de ser acromáticas, se debe también satisfacer la ecuación (43).

La ecuación (46) se puede resolver en general, pero solamente para el caso de dos medios birrefringentes diferentes.

Como ya se explicó en lo que antecede, para una lente de una potencia dada existe un grado de libertad para la geometría. Si las cuatro lentes de la ecuación (46) están en contacto, pero no formando un compuesto, hay como máximo cuatro grados de libertad para fines de diseño. Estos grados de libertad pueden usarse para producir sistemas de lente de geometría perfecta.

Si, por ejemplo, se desea asegurar que todos los rayos-e están esencialmente en ángulo recto con el eje óptico en el primer componente de lente birrefringente, este componente de lente debe estar situado detrás de un componente de lente isotrópica, presentando el componente de lente isotrópica una potencia D_1 que satisfaga la condición:

ES 2 106 720 T3

$$D_1 = -D_{2e.fs} \quad (47)$$

donde $D_{2e.fs}$ es la potencia de la superficie frontal del primer componente de lente birrefringente para una longitud de onda visible.

5 Si, tanto los rayos-e en el primer componente de lente birrefringente como los rayos-e en el segundo componente de lente birrefringente han de ser perpendiculares a su respectivo eje óptico, entonces se deben diseñar las superficies frontales de los dos componentes de lente birrefringente de tal modo que además de la ecuación (47) se satisfaga también la condición:

$$10 \quad D_1 + D_{2o} = -D_{3e.fs} \quad (48)$$

$D_{3e.fs}$ es la potencia de la superficie frontal de la segunda lente birrefringente para los rayos-e y para una longitud de onda visible. Puesto que solamente se requieren dos grados de libertad para satisfacer las ecuaciones (47) y (48), y puesto que se dispone de cuatro grados de libertad, se puede proporcionar 15 un sistema de lente de acuerdo con este invento que presente dos potencias acromáticas preseleccionadas independientemente y que presente también geometrías perfectas en ambos componentes de lente birrefringente.

20 Es de hacer notar que para los componentes de lente de alta birrefringencia, la dependencia del índice de refracción para los rayos-e en la dirección de los rayos-e dentro de la lente birrefringente puede ser más importante que la dependencia de dicho índice con respecto a la longitud de onda. Por consiguiente, las realizaciones de geometría perfecta pueden ser esenciales para la construcción de sistemas de lente birrefringente multifocal acromatizados.

25 Si los dos componentes de lente birrefringente no están cruzados, es decir, si el ángulo entre los dos ejes ópticos es distinto a 90° o a 0° , este sistema de lente presenta, en general, cuatro potencias, como se vio en lo que antecede. Puesto que los rayos-o en una lente birrefringente son comparables a los rayos de luz ordinaria en una lente isotrópica, el concepto de geometría perfecta no es de aplicación para los rayos-o. Por consiguiente, la potencia asociada con los rayos-o, tanto en la primera como en la segunda 30 de las lentes birrefringentes, está acromatizada con independencia de que el sistema de lente satisfaga, o no, la limitación de geometría perfecta para los rayos-e. Por consiguiente, las potencias asociadas con los rayos-o y con los rayos-e, y con los rayos-e y con los rayos-o, en la primera y en la segunda de las lentes birrefringentes, respectivamente, satisfacen las rigurosas limitaciones de geometría acromática y/o perfecta; solamente la combinación de la potencia de los rayos-e en la primera y de los rayos-e en la 35 segunda de las lentes birrefringentes no está asociada con una realización de geometría perfecta. Puesto que a tres de las cuatro potencias resultantes se les pueden atribuir valores preseleccionados, véase en lo que antecede, es ventajoso preseleccionar las potencias o-o-, o-e- y e-o-,

40 En todas las consideraciones anteriores se había supuesto que la luz incidente consistía en rayos de luz paralelos. Si se ha de usar cualquiera de los sistemas de lente estudiados para luz de vergencia no cero, se puede situar al frente del sistema de lente una lente colimadora que convierta la luz de vergencia no cero en luz de vergencia cero. Esta lente colimadora puede ser en sí misma una lente acromática conocida o usual. El cálculo de las potencias preseleccionables entonces disponibles de un sistema que incorpore uno o más componentes de lente isotrópica adicionales, puede ser llevado a cabo sobre la base de los 45 resultados descritos para luz paralela incidente, de acuerdo con los métodos normales de la óptica. Al hacerlo así, es generalmente posible sustituir cualquier número $j > 2$ de componentes de lente isotrópica subsiguientes por dos componentes de lente isotrópica de las potencias D_x y D_y , es decir, que se puede resolver:

$$50 \quad D_{1,b1} + D_{2,b1} + \dots D_{j,b1} = D_{x,b1} + D_{y,b1} \quad (49a)$$

$$D_{1,r} + D_{2,r} + \dots D_{j,r} = D_{x,r} + D_{y,r} \quad (49b)$$

con respecto a D_x y D_y .

55 De lo expuesto en lo que antecede resulta evidente que la adición de medios de polarización, así como la previsión de un grado de libertad para rotación de los componentes de lente birrefringente y de tales medios de polarización alrededor del eje de la lente, convierte los sistemas de lente del presente invento en sistemas de lente de potencia acromática variable.

60 Todas las consideraciones presentadas para lentes y sistemas de lente no acromatizados, véase en lo que antecede, son también de aplicación para lentes y sistemas de lente acromatizados.

ES 2 106 720 T3

Las combinaciones de los presentes sistemas de lente, ya sean acromatizados o ya sean no acromatizados, proporcionan dispositivos e instrumentos ópticos potentes: Puesto que la suma de lentes acromáticas es también acromática, los dispositivos de potencia variable son capaces de proporcionar potencias simples o múltiple acromáticas si se usan sistemas de lente acromática en combinación con otros sistemas de lente acromática. Se pueden seleccionar diferentes potencias mediante la apropiada rotación de los medios de polarización y/o mediante la rotación de los componentes de lente birrefringente o de los sistemas de lente birrefringente.

Además, se pueden combinar dos o más sistemas de lente birrefringente, ya sea acromatizados o ya sea no acromatizados, en un sistema en el cual uno o más de los sistemas de lente presente también un grado de libertad para traslación a lo largo del eje del sistema de lente. Tal sistema combinado puede ser usado como un dispositivo de potencia variable, como es conocido de la óptica normal. Grados adicionales de libertad para la rotación de los componentes de lente birrefringente y/o de los medios de polarización pueden añadir grados adicionales de libertad para la selección de las potencias deseadas.

Estas observaciones han de entenderse únicamente como una indicación del vasto campo de posibles aplicaciones de los sistemas de lente de acuerdo con el presente invento. Entre tales aplicaciones se incluyen, por ejemplo, las cámaras, los telescopios, los microscopios, las fotocopadoras, los bancos ópticos, los dispositivos ópticos para robots, etc.

Aunque se han descrito aquí realizaciones ilustrativas del presente invento con referencia a los dibujos que se acompañan, ha de entenderse que el invento no queda limitado a esas realizaciones precisas, y que se pueden efectuar otros diversos cambios y modificaciones en las mismas por quien sea experto en la técnica, sin rebasar el alcance del invento.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de lente birrefringente multifocal que comprende:

- a) un primer componente de lente que es un componente de lente birrefringente (20); y
- b) un segundo componente de lente adyacente a dicho primer componente de lente, siendo las curvaturas de las superficies opuestas de los componentes de lente primero y segundo sustancialmente de igual magnitud pero de signos opuestos, siendo dicho segundo componente de lente:
 - (i) un componente de lente birrefringente (21) que posee un eje óptico de birrefringencia de orientación diferente a la del eje óptico de birrefringencia del primer componente de lente birrefringente (a) o
 - (ii) un componente de lente isotrópica (10, 30) **caracterizado** porque el sistema de lente es una lente de contacto oftálmica o bien una lente intraocular.

2. Un sistema de lente según la Reivindicación 1, en el que el eje óptico de birrefringencia de al menos uno de los componentes de lente birrefringente (20, 21) está orientado perpendicularmente al eje óptico del sistema de lente.

3. Un sistema de lente según la Reivindicación 1 ó la Reivindicación 2, en el que uno o más de los componentes de lente birrefringente (20, 21) utilizados en el mismo está fabricado de un material birrefringente polímero.

4. Un sistema de lente según la Reivindicación 1, la Reivindicación 2 ó la Reivindicación 3, que comprende además al menos unos medios de polarizador (60, 80) distintos a una lente birrefringente, y/o al menos un filtro de polarización.

5. Un sistema de lente de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, en el cual ambos componentes de lente son birrefringentes y están dispuestos de tal modo que al menos las distancias focales asociadas con uno de los dos focos son esencialmente iguales para al menos dos longitudes de onda diferentes de la luz enfocada.

NOTA INFORMATIVA: Conforme a la reserva del art. 167.2 del Convenio de Patentes Europeas (CPE) y a la Disposición Transitoria del RD 2424/1986, de 10 de octubre, relativo a la aplicación del Convenio de Patente Europea, las patentes europeas que designen a España y solicitadas antes del 7-10-1992, no producirán ningún efecto en España en la medida en que confieran protección a productos químicos y farmacéuticos como tales.

Esta información no prejuzga que la patente esté o no incluida en la mencionada reserva.

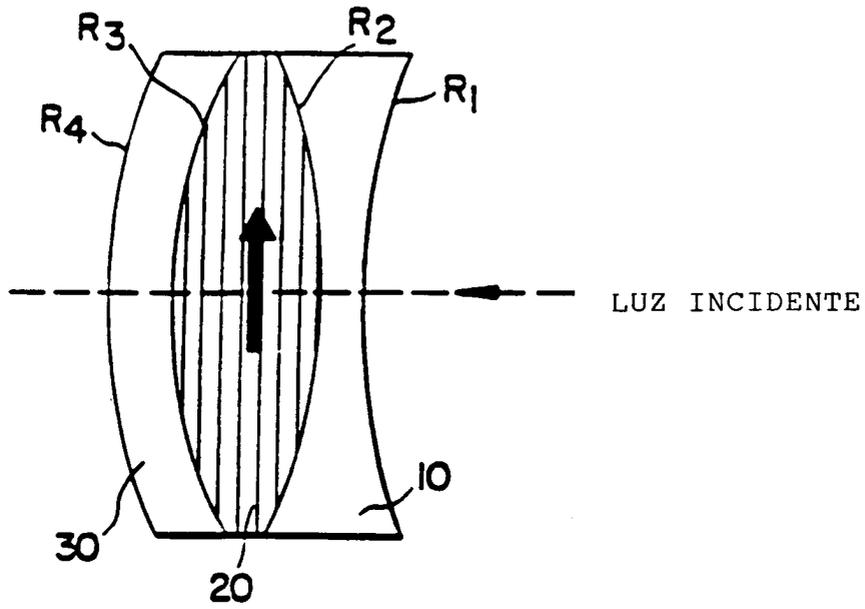


FIG. 1

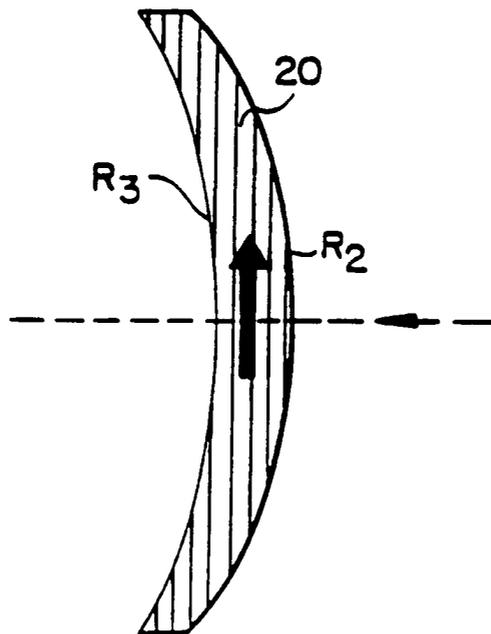


FIG. 2

FIG. 3A

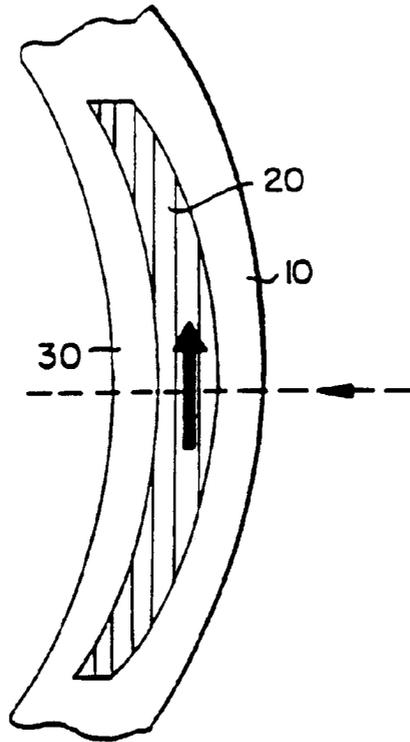


FIG. 3B

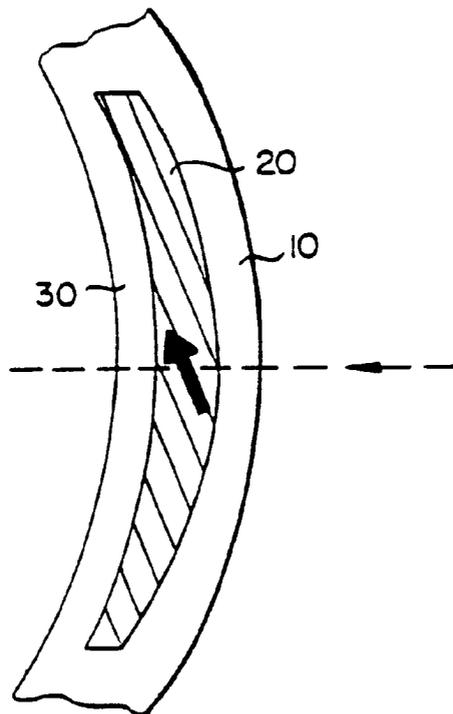


FIG. 4

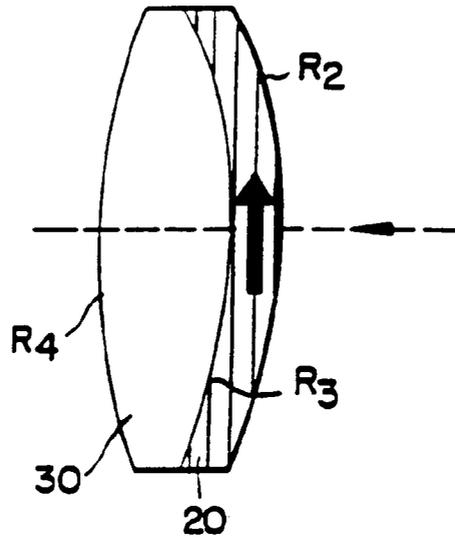


FIG. 5

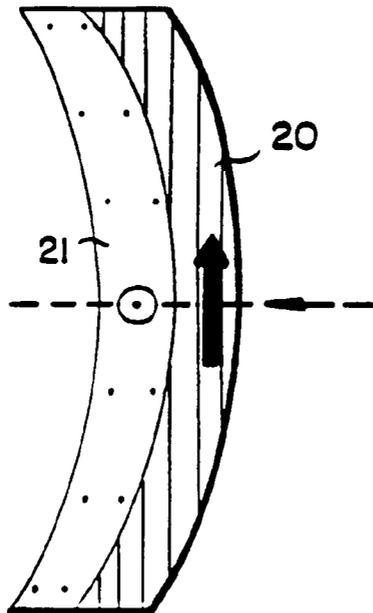


FIG. 6

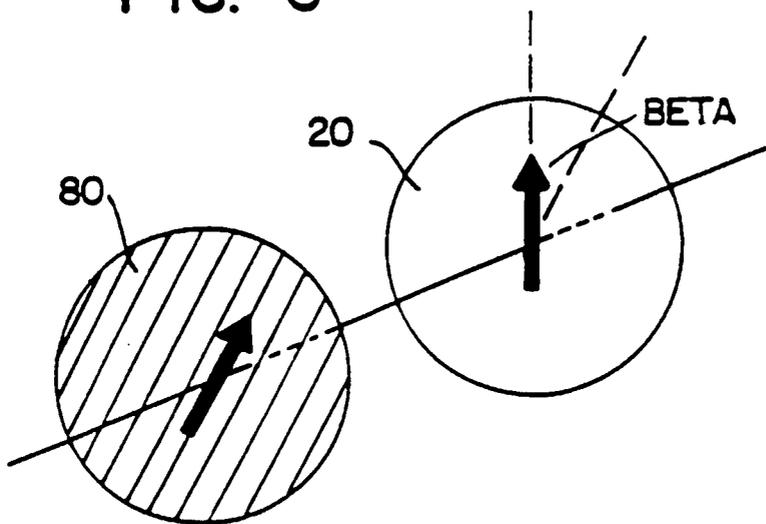


FIG. 7

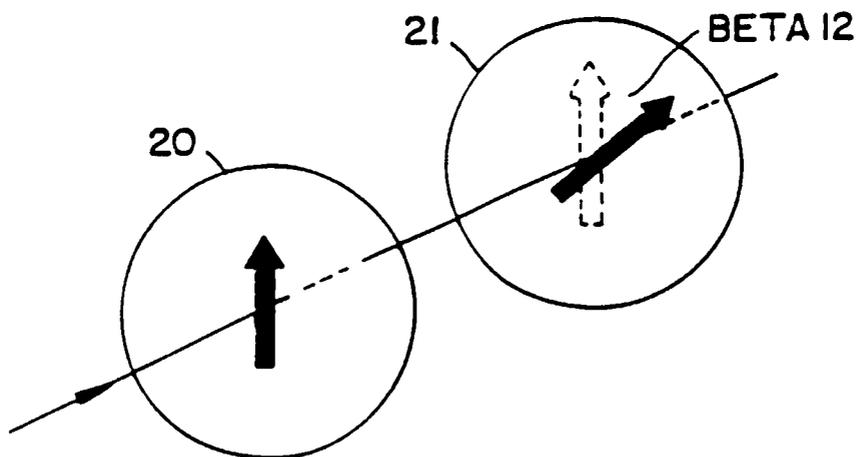


FIG. 8

