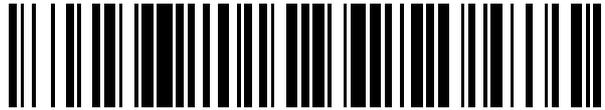


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 514**

51 Int. Cl.:

**G02C 7/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2011 E 11714790 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 2561398**

54 Título: **Método para optimizar una lente para gafas para las aberraciones de frente de onda de un ojo y lente**

30 Prioridad:

**28.06.2010 EP 10167544**  
**20.04.2010 US 763716**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.10.2015**

73 Titular/es:

**CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH**  
**(50.0%)**  
**Gartenstrasse 97**  
**73430 Aalen, DE y**  
**CARL ZEISS VISION, INC. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MEISTER, DARRYL;**  
**KRATZER, TIMO;**  
**CABEZA- GUILLÉN, JESÚS-MIGUEL;**  
**SPRATT, RAY STEVEN;**  
**WELSCHER, MARKUS;**  
**KELCH, GERHARD y**  
**WIETSCHORKE, HELMUT**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 549 514 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

Método para optimizar una lente para gafas para las aberraciones de frente de onda de un ojo y lente

5 El presente invento se refiere a un método de acuerdo con la reivindicación 1 para diseñar un elemento de lente oftálmica, comprendiendo el método las operaciones de determinar una aberración de frente de onda de un ojo que ha de ser minimizada en un plano de referencia, en el que la aberración de frente de onda del ojo puede ser descrita por una primera serie de polinomios de orden creciente hasta un primer orden específico y por primeros coeficientes correspondientes, y determinar una primera corrección de visión de un segundo orden específico para obtener un elemento de lente oftálmica adaptado.

10 Además, el presente invento se refiere a un método para fabricar un elemento de lente oftálmica que comprende las operaciones del método para diseñar un elemento de lente oftálmica.

Además, el presente invento está relacionado con un producto de programa informático para llevar a cabo las operaciones de los métodos antes mencionados.

15 Las lentes oftálmicas para corrección de visión son bien conocidas en el estado de la técnica desde hace centenares de años. Han sido utilizadas por ópticos, optometristas y oftalmólogos para corregir la miopía y la vista cansada utilizando lentes cóncavas y convexas, respectivamente, así como para corregir la presbicia utilizando lentes multifocales.

20 Las aberraciones de frente de onda son el resultado de diferencias en la longitud de la trayectoria óptica entre el frente de onda ideal que daría como resultado un foco perfecto a través de un sistema óptico, es decir unas gafas y el ojo, y el frente de onda con aberración que es producido por el sistema óptico real. Las aberraciones de frente de onda son a menudo categorizadas por su orden radial, que indica la dependencia de la aberración sobre el tamaño de la pupila. Los componentes ópticos del ojo humano sufren tanto de aberraciones de frente de la de "orden inferior" como de "alto elevado". Las aberraciones de orden inferior de interés para la corrección de visión son realmente un subconjunto de las aberraciones de orden inferior, denominado como las aberraciones de frente de onda de "segundo orden". Las aberraciones de segundo orden varían en función del cuadrado de la distancia desde el centro de la pupila o abertura. Estas aberraciones de frente de onda son corregidas típicamente con una prescripción de gafas que incluye un componente de potencia esférica, un componente de potencia cilíndrica y un componente de eje que describe la orientación de la potencia cilíndrica.

25 Las aberraciones de orden elevado representan aberraciones de frente de onda de los varían como una función cúbica o mayor de la distancia desde el centro de la pupila o abertura. Las aberraciones de orden elevado del ojo incluyen aberraciones tales como, por ejemplo, coma, aberración triangular y aberraciones esféricas. Aunque estas aberraciones son a menudo menores en magnitud que las aberraciones de orden inferior, las aberraciones de orden elevado del ojo pueden también degradar la calidad de visión y limitar el crecimiento o prestaciones visuales. Es posible mejorar la calidad de visión corrigiendo las aberraciones de orden elevado en el ojo además de las aberraciones de orden bajo. El procedimiento de examen del ojo para prescripciones tradicionales de gafas, sin embargo, sólo produce una corrección que minimiza la aberración de orden inferior del ojo. Corregir las aberraciones de orden elevado del ojo no es práctico con lentes oftálmicas, debido a que las aberraciones de frente de onda de orden inferior más significativas son introducidas cuando el ojo gira detrás de la lente.

30 Además, lentes oftálmicas con perfiles de frente de onda refractados que salen de una sección de una esfera perfecta o de una superficie toroidal también producen distintas aberraciones de frente de onda de orden elevado. Las aberraciones de orden elevado pueden ser producidas bajo ciertas circunstancias por la refracción de la luz a través de ciertas regiones de lentes con superficies esféricas o toroidales, incluyendo sistemas ópticos simétricos que sufren de la clásica aberración esférica de Seidel o coma. Además, las aberraciones de orden elevado pueden ser producidas rutinariamente por la lente cuando al menos una superficie de la lente tiene terceras derivadas parciales distintas de cero. Esto incluye cualquier lente con una superficie que varía uniformemente en curvatura, incluyendo pero no estando limitado a lentes de visión única, lentes esféricas y lentes adicionales progresivas. En particular, las lentes adicionales progresivas producen coma y aberración triangular significativas dentro del corredor progresivo y en los límites entre las zonas de visión centrales de la lente y las regiones periféricas. Tanto las aberraciones de orden inferior como las de orden elevado son inevitables en ciertas áreas de lentes adicionales progresivas debido al uso de regiones combinadas o mezcladas que proporcionan un cambio suave en la potencia de adición sin líneas de demarcación visibles.

35 Las aberraciones de frente de onda producidas por una lente oftálmica interactúan con las aberraciones de frente de onda del ojo. Ocurre un acoplamiento de aberraciones que puede o bien mejorar o bien degradar la calidad de visión a través de diferentes regiones de la lente, dependiendo de las aberraciones de orden inferior y de orden elevado presentes en el ojo y a través de la lente oftálmica. Tradicionalmente, sin embargo, las lentes oftálmicas han sido diseñadas para minimizar solamente la magnitud de las aberraciones de orden inferior producidas tanto por el ojo como por la lente oftálmica. Esto es debido a la incapacidad hasta el presente de medir las aberraciones de frente de onda de orden elevado del ojo, antes de la llegada de sensores de frente de onda comercialmente disponibles; la incapacidad de corregir las aberraciones de orden elevado del ojo con una lente oftálmica sin introducir más aberraciones de frente de onda de orden inferior significativas, y a la incapacidad hasta ahora de mecanizar superficies de lente oftálmica de

complejidad adecuada, antes de la llegada de modernas técnicas de acabado superficial de forma libre.

Aunque las lentes oftálmicas no pueden eliminar las aberraciones de frente de onda de orden elevado sin introducir aberraciones adicionales, es no obstante posible mejorar la calidad de visión con lentes oftálmicas minimizando el efecto neto sobre la visión de la interacción óptica combinada entre las aberraciones de orden inferior y las de orden elevado del ojo cuando se determina la corrección de gafas de orden inferior. Hay actualmente disponibles lentes oftálmicas con correcciones de gafas de orden inferior que han sido manipuladas para tener en cuenta los efectos de las aberraciones de orden elevado del ojo. Por ejemplo, métodos similares están descritos en la solicitud de patente Norteamericana 2007/0279586 A1 y en la solicitud de patente Norteamericana 2009/0015787 A1. Estas lentes oftálmicas proporcionan al usuario una corrección de visión "optimizada en frente de onda" que han tenido el componente de potencia esférica, el componente de potencia cilíndrica y el eje cilíndrico manipulados con el fin de mejorar la calidad de visión basado sobre mediciones de aberración de frente de onda desde un sensor de frente de onda.

Recientemente, se han introducido lentes oftálmicas que buscan minimizar las aberraciones de orden elevado producidas sólo por la lente al menos dentro de las restricciones matemáticas de superficies de adición progresiva, aunque esto no mejorará la calidad de visión potencial máxima del usuario. Un método similar está por ejemplo descrito en las patente Norteamericana nº 7.063.421.

Las aberraciones de frente de onda de orden elevado del ojo humano varían significativamente con la población. Además, las aberraciones de frente de onda de orden elevado a través de lentes oftálmicas con cambios significativas en la potencia, tales como lentes de adición progresiva, también varían significativamente sobre la abertura de la lente. Es posible, sin embargo, manipular las ópticas de una lente oftálmica para un usuario de gafas dado mediante un proceso de optimización matemática adecuado antes de la fabricación utilizando un método de producción de forma libre que es, por ejemplo, sugerido en la patente Norteamericana nº 6.089.713. Además, es posible estimar la calidad de visión evaluando aberraciones de frente de onda. Por ello, es posible optimizar el rendimiento visual a través de diferentes zonas de una lente oftálmica cuando las aberraciones de frente de onda del ojo y el diseño de la lente oftálmica original son ambos conocidos.

El documento EP 1.262.815 A2 muestra un nuevo método para el diseño y construcción de una lente de gafas para la corrección de la visión humana, incluyendo la corrección de aberraciones de orden elevado. La lente permite la previsión de una visión superior a la normal utilizando gafas. Se han descrito diferentes lentes para utilizar en un campo parcial o en un campo más completo de visión. El método aplica medidas correctivas basado en los datos obtenidos a partir de las mediciones de frente de onda de orden elevado del ojo del sujeto. De acuerdo con un método, la Función de Transferencia de Modulación (MTF) del ojo y sistema óptico de lente total es optimizada. De acuerdo con otro método, la optimización es realizada sobre el frente de onda del ojo y del sistema óptico de lente completo. Ambos métodos utilizan funciones ponderadas en el procedimiento de optimización. Este método de corrección de aberración de orden elevado es también aplicable para el diseño del lentes de contacto y lentes intraoculares, y para la ejecución de cirugía refractiva del ojo.

El documento US 2006/0119791 A1 muestra una lente para gafas y un método de fabricación utilizando un medidor de aberración de epoxi que incluye dos lentes con un material de índice variable, tal como epoxi, emparedado entre ellas. La resina epoxi es a continuación curada a diferentes índices de refracción que proporcionan correcciones precisas para las aberraciones de frente de onda del paciente. El presente invento proporciona además un método para producir una gafa que corrige aberraciones de orden más elevado, tal como las que ocurren cuando el tejido retiniano es dañado debido al glaucoma o a la degeneración macular. El método de fabricación permite muchas aplicaciones diferentes incluyendo, pero no estando limitado, a lentes de supervisión y transición.

El documento WO 2007/137100 A2 muestra un método para la optimización de la función visual humana corrigiendo y/o optimizando aberraciones ópticas de orden elevado en dispositivos ópticos de elevadas prestaciones. La optimización es particularmente útil para dispositivos de prestaciones elevadas utilizadas bajo condiciones de luz bajas tales como binoculares, miras de rifle, telescopios, microscopios, gafas de visión nocturna y dispositivos de protección del ojo a los láser.

El documento WO 2009/135058 A2 muestra un método para producir una lente para gafas con corrección óptima a través de toda la lente teniendo en cuenta el frente de onda completo medido del paciente. Realizaciones específicas pueden también tener en cuenta uno o más factores adicionales tales como la distancia al vértice, la altura de ajuste segmentario, la inclinación pantoscópica, y las condiciones de uso. El frente de onda de lente puede ser conseguido optimizando un frente de onda corregido, en que el frente de onda corregido es el efecto combinado del frente de onda medido del paciente y del frente de onda de la lente. La optimización del frente de onda corregido puede implicar representar el frente de onda medido y el frente de onda de la lente en una cuadrícula o rejilla. En una realización, la cuadrícula puede encontrarse en un plano. Durante la optimización, puede utilizarse un subconjunto de la cuadrícula para la representación del frente de onda medido en un punto de la cuadrícula de modo que tenga en cuenta las porciones del frente de onda medido que contribuyen al frente de onda corregido en ese punto en la cuadrícula.

El documento WO 01/92948 A1 muestra un método para diseñar una superficie de un elemento óptico que incluye las operaciones de prescribir frentes de onda iniciales, seleccionar una representación a base de parámetros inicial de la

superficie, elegir una función de coste en los parámetros, y optimizar la función de coste con respecto a los parámetros. La operación de optimización incluye las operaciones de calcular un frente de onda refractado para cada uno de los frentes de onda iniciales y calcular de forma analítica derivadas de la función de coste. El método puede también incluir las operaciones de calcular previamente funciones eikoniales entre puntos en la proximidad de los frentes de onda iniciales. A continuación los frentes de onda refractados son calculados a partir de las funciones eikoniales previamente calculadas.

El documento WO 2004/034129 proporciona una corrección parcial de aberraciones de orden elevado.

La potencia refractaria de orden inferior de un elemento de lente oftálmica varía normalmente en función del ángulo de visión tanto como resultado de cambios a través de una o más superficies de lente como debido al resultado del astigmatismo introducido por la refracción oblicua de la luz incidente. Un proceso de diseño óptico típico busca preservar tan estrechamente como sea posible la corrección de gafas de orden inferior pretendida para el usuario como las miradas del usuario sobre la abertura de la lente al menos dentro de las limitaciones inherentes matemáticas del diseño de la lente. En particular, los elementos de lente de adición progresiva poseen regiones sobre la abertura de la lente en las que no es posible proporcionar la corrección de gafas de orden inferior pretendida debido a la presencia de aberraciones significativas en las regiones combinadas de la superficie.

Los elementos de lente oftálmica pueden producir aberraciones de orden elevado a través de la abertura de la lente también, lo que puede dar como resultado de la refracción de la luz en ángulos de campo amplios o a partir de variaciones en la curvatura a través de una o más de las superficies de la lente. Por ejemplo, debido a que los elementos de lente progresiva se basan en terceras derivadas distintas de cero con el fin de producir un cambio uniforme en la potencia de adición sobre la abertura de la lente, las aberraciones de orden elevado de un elemento de lente progresiva varían en función de las derivadas parciales mezcladas de la superficie progresiva. Además, las aberraciones de orden elevado producidas por una lente progresiva están restringidas fundamentalmente por la distribución de potencia y astigmatismo sobre la superficie de la lente, lo que representa una característica fundamental del diseño de lente. Las aberraciones de orden elevado denominadas como "coma" ( $Z_6$  y  $Z_9$ ) y "aberración triangular" ( $Z_7$  y  $Z_8$ ) en la representación de Zernike de aberraciones de orden elevado están influenciadas directamente por las derivadas parciales mezcladas de una superficie de lente oftálmica descrita por una función Z de altura de superficie. La expansión de los polinomios de Zernike puede, por ejemplo, ser derivada a partir de Gross y col., "Manual de sistemas ópticos", Vol. 1 a 6, WILEY-VCH Publishing, Weinheim, 2007, ISBN: 978-3-527-40382-0".

En el diseño de lente oftálmica, la distribución pretendida u "objetivo" de aberraciones de frente de onda de orden inferior es especificada típicamente. Esta distribución representa generalmente el rendimiento óptico ideal del diseño de lente para una combinación particular de potencias de prescripción de gafas y parámetros de ajuste. Un proceso de optimización típico busca conseguir la distribución deseada de potencias ópticas tan estrechamente como sea posible manipulando una o más superficies uniformes continuamente de un elemento de lente oftálmica. En múltiples puntos a través de la abertura de la lente, son evaluadas diferencias en el rendimiento óptico entre el elemento de lente oftálmica modelado y la distribución objetiva utilizando un trazado de rayos por ordenador para una posición supuesta de uso, que representa la posición de la lente ajustada sobre el usuario. Durante un procedimiento de trazado de rayos típico, es calculada la refracción a través del elemento de lente de una cantidad de rayos desde un punto objeto especificado, suficiente para caracterizar las aberraciones de frente de onda de la lente hasta el orden elegido. Idealmente, estos rayos deberían converger todos en el plano focal ideal del ojo asociado con la distancia objeto, aunque esto frecuentemente no es matemáticamente posible en todos los puntos a través de la abertura de la lente.

Típicamente, soluciones de "funciones de mérito" o de los mínimos cuadrados que representan la magnitud total de aberraciones ópticas en estos puntos son minimizadas en cada uno de los puntos especificados a través de la abertura de la lente utilizando técnicas de optimización y modelado matemáticas, tales como análisis de elementos finitos. Además, estas funciones de mérito o los términos individuales de estas funciones de mérito pueden también ser ponderadas de manera diferente sobre la abertura de la lente con el fin de maximizar el rendimiento visual en ciertas regiones de la lente, en las que la calidad de visión es más crítica, o de minimizar la optimización en regiones de la lente en las que ciertas aberraciones ópticas son inevitables debido a la naturaleza del diseño de la lente. También pueden ser derivadas técnicas de optimización común de Gross y col., antes citado.

En el estado actual de la técnica, estas funciones de mérito buscan solamente mejorar el rendimiento del elemento de lente oftálmica utilizando una corrección de visión única de orden inferior (segundo orden), o prescripción de gafas, originalmente especificadas por el profesional de cuidado ocular. Las diferencias desde esta corrección de visión única de orden inferior son por ello minimizadas sobre regiones críticas de la lente. Pueden incorporarse términos de optimización adicionales en la función de mérito para minimizar gradientes de potencia (o astigmatismo) u otros atributos ópticos con el fin de reducir el deslizamiento de la imagen o mejorar el rendimiento visual de otro modo. Aunque se ha probado que las aberraciones de orden elevado del ojo no pueden ser corregidas sin introducir aberraciones de orden inferior significativas de mayor magnitud, el rendimiento visual puede ser mejorado teniendo en cuenta estas aberraciones cuando se determina la corrección de visión tradicional de orden inferior o la prescripción de gafas. Además, cuando un elemento de lente oftálmica introduce aberraciones de orden elevado que varían a través de la abertura de la lente, la corrección ideal de la visión de orden inferior varía también en función de la posición sobre la lente.

Por ello, es un objeto del presente invento minimizar el impacto de las aberraciones combinadas de orden elevado producidas tanto por el ojo como por el elemento de lente oftálmica sobre la abertura de la lente teniendo en cuenta la interacción entre las aberraciones del ojo de orden elevado, como derivadas a partir de las mediciones por un "aberrómetro" (medidor de aberración) o sensor de frente de orden, y las aberraciones de orden elevado del elemento de lente oftálmica sobre la abertura de la lente.

Es otro objeto del presente invento minimizar las aberraciones de frente de onda de orden inferior del elemento de lente oftálmica sobre regiones específicas de la abertura de la lente además de las aberraciones de orden inferior del ojo, tradicionalmente eliminadas por los elementos de lente oftálmica que proporcionan las correcciones de visión esférica o esférico-cilíndrica deseada.

Adicionalmente, es un objeto del presente invento maximizar la calidad de visión sobre un rango de condiciones de visión, incluyendo niveles de luz ambiente o tamaños de pupila variables, modificando la corrección de visión de orden inferior para mejorar además la calidad de visión en presencia de aberraciones de frente de onda de orden elevado dentro del ojo y, más específicamente, mejorar la calidad de visión neta obtenida por el sistema óptico lente-ojo completo teniendo en cuenta la interacción óptica entre las aberraciones de frente de onda de orden elevado del ojo y las aberraciones de orden elevado producidas por el elemento de lente oftálmica sobre la abertura de la lente.

Para resolver los anteriores objetivos, de acuerdo con un primer aspecto del invento, se ha proporcionado un método de acuerdo con la reivindicación 1.

El presente invento describe un método de optimización óptica que pretende mejorar adicionalmente el rendimiento visual minimizando el efecto de la convolución de las distintas aberraciones de frente de onda de orden elevado del ojo y las aberraciones de orden elevado comparables del elemento de lente además de las aberraciones de orden inferior actualmente corregidas por el elemento de lente oftálmica. Además, debido a que las aberraciones de orden elevado de un elemento de lente oftálmica variarán de manera típica significativamente sobre la abertura de la lente, las aberraciones de orden elevado del elemento de lente oftálmica son calculadas en uno o más puntos sobre la abertura de la lente en el presente invento con el fin de proporcionar un rendimiento visual mejorado para diferentes ángulos de visión. Cuando es utilizado en conjunción con los coeficientes de los polinomios de aberración de orden inferior derivados a partir de la primera corrección de visión de orden inferior, los coeficientes combinados de orden elevado de la lente y del ojo permiten ahora una descripción sustancialmente completa de las aberraciones de frente de onda totales del sistema lente-ojo en cada punto sobre la abertura de la lente, hasta el número total deseado de polinomios de aberración del primer orden específico. Utilizando métodos métricos de calidad de visión, por ejemplo como se ha descrito en Gross y col., como se ha citado antes, que pueden ser empleados para predecir el rendimiento visual basado en las aberraciones de frente de onda, es determinada entonces una corrección de visión optimizada de orden inferior en cada punto especificado utilizando los coeficientes de orden elevado nuevamente combinados y los coeficientes de orden inferior originales de la primera corrección de visión.

Esta nueva corrección de visión de orden inferior optimizada en frente de onda comprende un componente de potencia esférica, un componente de potencia cilíndrica y un eje cilíndrico que han sido calculados para maximizar la calidad de visión minimizando el efecto neto de las aberraciones de frente de onda combinadas del sistema lente-ojo en cada uno de los puntos especificados sobre la abertura de la lente. Por ello se determina una nueva distribución de las potencias ópticas deseadas, que representa la distribución ideal de correcciones de visión de orden inferior optimizadas en frente de onda de la abertura de la lente. Esta distribución sirve como la distribución objetivo para utilizar dentro del proceso de optimización óptica del elemento de lente oftálmica real.

De acuerdo con un segundo aspecto del invento, se ha proporcionado un método identificado inicialmente para fabricar un elemento de lente oftálmica que comprende las operaciones de método antes mencionadas y, además, la operación de producir el elemento de lente oftálmica.

De acuerdo con un tercer aspecto del invento, se ha proporcionado un producto de programa informático que comprende medios de código de programa para realizar las operaciones de los métodos de acuerdo con el primer y el segundo aspecto del presente invento, en particular cuando dicho producto del programa informático es ejecutado sobre un ordenador.

En otras palabras, en uno o más puntos especificados sobre la abertura de la lente, los coeficientes de los polinomios de aberración de frente de onda del elemento de lente oftálmica  $L_j$  son combinados matemáticamente con los coeficientes de los polinomios equivalentes del ojo  $E_j$ , en coordenadas  $x$  e  $y$  correspondientes sobre un plano de referencia común, mediante una simple adición con el fin de determinar el coeficiente de aberración combinada del sistema óptico de lente-ojo  $S_j$  para cada polinomio de aberración especificado por un índice  $j$  hasta un polinomio de aberración incluido con un índice máximo especificado  $n$ :

$$S_j(x,y) = L_j(x,y) + E_j(x,y), j \leq n$$

en el que cada índice  $j$  corresponde a una función polinómica particular a partir del conjunto de, por ejemplo, los polinomios de Zernike enumerados utilizando el esquema de indexación único estándar de la Sociedad Óptica de

América y el índice máximo  $n$  corresponde al polinomio de Zernike con el mayor orden radial y frecuencia angular elegidos para la optimización.

5 Preferiblemente, el índice máximo  $n$  es elegido para incluir polinomios de aberración de orden inferior ( $j \leq 5$ ) y al menos uno o más polinomios de aberración de orden elevado ( $j \geq 6$ ); idealmente, el índice máximo  $n$  debería ser elegido de tal modo que las series especificadas de funciones polinómicas de Zernike hasta el índice máximo  $n$  incluido caracterizan suficientemente la aberración de frente de onda del sistema lente-ojo a un nivel de exactitud adecuado.

10 Además, si un coeficiente de aberración dado del elemento de lente oftálmica o bien es generalmente despreciable para ciertos elementos de lente oftálmica o bien es ignorado de otro modo con el propósito de eficiencia de optimización, el coeficiente de aberración combinada del sistema de lente-ojo  $S_j$  para ese polinomio de aberración particular se simplifica a:

$$S_j(x,y) = E_j(x,y)$$

Los objetos inicialmente especificados del presente invento, son, por ello, resueltos completamente.

15 En el método de acuerdo con el primer aspecto del invento, la operación de determinar una primera corrección de visión comprende las operaciones de determinar una aberración de frente de onda del elemento de lente oftálmica en el plano de referencia como una primera distribución objetivo de modo que corrija la aberración de frente de onda del ojo, en el que la aberración de frente de onda del elemento de lente oftálmica puede ser descrita por una segunda serie de polinomios de orden creciente hasta un segundo orden específico y segundos coeficientes correspondientes, en que el segundo orden específico es igual o inferior que el primer orden específico y adaptando el elemento de lente oftálmica de modo que corresponda con la primera distribución objetivo tan estrechamente como sea posible.

20 Por esto, puede conseguirse una primera corrección de visión suficiente que forma la base para el proceso de optimización utilizando los primeros y terceros coeficientes combinados para describir aberraciones de frente de onda de orden elevado.

25 Además, la operación de determinar una segunda corrección de visión comprende la operación de determinar una aberración de frente de onda de orden elevado combinada de un sistema combinado de lente-ojo en el plano de referencia para cada punto especificado, en el que la aberración de frente de onda de orden elevado combinada puede ser descrita por una cuarta serie de polinomios de orden creciente por encima del segundo orden específico y hasta el primer orden específico incluido y los cuartos coeficientes correspondientes, en el que los cuartos coeficientes son iguales a la suma de los primeros y terceros coeficientes correspondientes.

30 En uno o más puntos especificados sobre la abertura de la lente, los coeficientes de los polinomios de aberración de orden elevado del elemento de lente oftálmica  $L_j$  pueden ser combinados matemáticamente con los coeficientes de los polinomios de aberración de orden elevado equivalentes del ojo  $E_j$ , en coordenadas  $x$  e  $y$  correspondientes sobre un plano de referencia común, mediante simple adición con el fin de determinar los coeficientes de aberración de orden elevado combinados del sistema óptico de lente-ojo  $S_j$  para cada polinomio de aberración especificado por un índice  $j$  y hasta un polinomio de aberración incluido con un índice máximo especificado (o primer orden específico  $n$ ):

35  $S_j(x,y) = L_j(x,y) + E_j(x,y), 6 \leq j \leq n,$

en el que se ha supuesto que los primeros seis polinomios ( $0 \leq j \leq 5$ ) de aberración de frente de onda representan aberraciones de orden inferior. Sin embargo, puede ser elegido un número arbitrario para  $n$ .

40 Además, la segunda corrección de visión comprende preferiblemente las operaciones de determinación para cada punto especificado de una aberración de frente de onda combinada que comprende la aberración de frente de onda de orden elevado combinada y una aberración de frente de onda de orden inferior combinada, determinando una aberración final de frente de onda para cada punto especificado del elemento de lente oftálmica en el plano de referencia como una segunda distribución objetivo de modo que corrija la aberración de frente de onda combinada del punto especificado respectivo, en el que la aberración final de frente de onda puede ser descrita por una quinta serie de polinomios de orden creciente hasta el segundo orden específico, y optimizando el elemento de lente oftálmica de modo que corresponda con la segunda distribución objetivo tan estrechamente como sea posible.

45 Por esto, puede conseguirse un elemento de lente oftálmica optimizado que proporciona una corrección de visión de segundo orden específico. Desde luego, podría no ser posible hacer corresponder la segunda distribución objetivo exactamente en cada uno de los puntos especificados. Sin embargo, utilizando una de las técnicas de optimización conocidas tales como soluciones de mínimos cuadrados, por ejemplo, podrían ser ponderados debido a su posición sobre la abertura de la lente para tener en cuenta el campo de visión natural.

50 Preferiblemente, la aberración de frente de onda de orden inferior combinada corresponde a los resultados de la primera corrección de visión para cada uno de los puntos especificados.

Generalmente, la corrección de visión de orden inferior original combinada con el coeficiente de orden elevado del

sistema de lente-ojo añadido proporciona una descripción suficientemente completa de la aberración de frente de onda en cada punto especificado sobre la abertura de la lente.

Preferiblemente, el segundo orden específico es el segundo orden.

5 En particular, la primera corrección de visión puede ser llevada a cabo utilizando una corrección de visión única de segundo orden.

Mediante esto, la primera corrección de adición puede ser llevada a cabo como es comúnmente conocido en oftalmología. Una prescripción de gafas común es aplicada en primer lugar al elemento de lente oftálmica y a continuación optimizada de acuerdo a las operaciones del presente invento para tener en cuenta aberraciones de frente de onda de orden elevado.

10 Las aberraciones de frente de onda pueden ser descritas por cualesquiera funciones de ajuste matemático adecuadas, incluyendo pero no están limitadas a una del grupo que consiste de una serie de polinomios de Zernike, una serie de polinomios de Taylor, y una serie de polinomios de Chebyshev.

15 Generalmente, las aberraciones de frente de onda del ojo y del elemento de lente oftálmica pueden estar caracterizadas por una medición arbitraria del error de frente de onda incluyendo pero no estando limitada a las funciones de ajuste común antes mencionadas.

La operación de determinar la segunda distribución objetivo puede implicar cualesquiera funciones matemáticas adecuadas, incluyendo pero no estando limitadas a una del grupo que consiste de una métrica del plano de la pupila, una métrica de función de dispersión puntual y una métrica de transferencia óptica.

20 Generalmente, la optimización óptica puede implicar cualquier medición arbitraria de calidad de visión para llegar a una corrección de visión de orden inferior optimizada en frente de onda utilizada en cada punto especificado incluyendo pero no estando limitada a las métricas antes mencionadas.

La aberración de frente de onda del ojo puede ser determinada utilizando un sensor de frente de onda o un aberrómetro, por ejemplo un sensor de Shack-Hartmann.

25 La aberración de frente de onda de orden elevado combinada en el plano de referencia para cada punto especificado del elemento de lente oftálmica adaptada puede ser determinada por trazado de rayos o trazado de onda de un modelo del ojo y del elemento de lente oftálmica.

30 Debido a que el método descrito por el presente invento pretende minimizar el efecto de la interacción combinada de las aberraciones de frente de onda de orden bajo y alto del ojo y del elemento de lente oftálmica, ambas aberraciones deben ser determinadas. Las aberraciones de orden bajo y alto del ojo son medidas utilizando un sensor de frente de onda o aberrómetro. Las aberraciones de orden bajo y alto del elemento del lente oftálmica son determinadas típicamente mediante el trazado de rayos de un modelo del ojo y del elemento de lente en su posición pretendida de uso con el fin de calcular la diferencia entre el foco de la luz incidente a través del elemento de lente oftálmica y el plano focal ideal del ojo en los puntos especificados sobre la abertura de la lente.

35 Durante el proceso de optimización, es también posible la compensación de aberraciones cromáticas del ojo y de otros factores fisiológicos, tales como el efecto de Stiles Crawford.

Cualquier número de puntos arbitrario puede ser especificado y determinado. Por ejemplo, el número de puntos especificados puede ser 5, 10, 25, 100, 1000 ó 10.000. Alternativamente, los puntos pueden ser determinados a partir de una o más funciones de posición superficial.

40 El método del presente invento puede ser aplicado a cualquier forma de lente oftálmica, incluyendo pero no estando limitado a elementos de lente de visión única, elementos de lente multifocales, y elementos de lente progresiva.

45 Además, es igualmente posible hacer pequeñas modificaciones en la nueva corrección de visión de orden inferior optimizada en frente de onda con el fin de reconciliar diferencias de la prescripción de gafas original que puede haber llegado con el fin de mejorar la función de visión binocular. Para regiones sobre la abertura de lente asociadas con la visión a distancias próximas, las aberraciones de orden bajo y alto no simétricas del ojo puede ser modificadas para tener en cuenta la rotación cíclica o rotación de Listing del ojo.

El método para fabricar un elemento del ente oftálmica de acuerdo con el segundo aspecto del presente invento puede estar caracterizado preferiblemente además porque el elemento de lente oftálmica es producido utilizando un acabado superficial de forma libre.

50 Debido a que la superficie o superficies optimizadas carecen generalmente de simetría de punto y axial, el elemento de lente oftálmica puede ser mecanizado y unido utilizando un acabado superficial de forma libre o un método de producción similar que permita la producción inmediata de superficies de lente complejas que carecen de simetría de punto o axial.

Ha de comprenderse que las características del invento mencionadas anteriormente y aquellas que aún han de ser explicadas más adelante pueden ser utilizadas no solamente en las combinaciones respectivas indicadas, sino también en otras combinaciones o en aislamiento, sin salir del marco del presente invento.

5 Realizaciones ejemplares del invento como han sido definidas en las reivindicaciones adjuntas y están representadas en el dibujo, serán explicadas con más detalle en la descripción siguiente. En los dibujos:

La fig. 1 es un ejemplo de un sistema para poner en práctica del presente invento.

La fig. 2 es un método para diseñar y producir un elemento de lente de acuerdo con la técnica anterior.

La fig. 3 es un ejemplo de un método de trazado de rayos.

10 La fig. 4 es un método de diseño de acuerdo con un primer aspecto del presente invento y un método para producir un elemento de lente oftálmica de acuerdo con un segundo aspecto del presente invento.

La fig. 5 es una asignación de muestras de puntos especificados sobre una abertura de lente.

Con referencia a la fig. 1, se ha mostrado un sistema 10 para llevar a cabo los métodos de acuerdo con el presente invento. El sistema 10 puede ser utilizado para diseñar un elemento de lente oftálmica o para diseñar y producir un elemento de lente oftálmica.

15 El sistema 10 comprende un dispositivo de medición 11 utilizado para determinar una aberración de frente de onda de un ojo de una persona para la que ha de ser producida unas gafas. El dispositivo de medición puede ser un sensor de frente de onda o aberrómetro comúnmente conocido, tal como un sensor de frente de onda de acuerdo a Stack-Hartmann.

20 Los datos obtenidos por el dispositivo de medición son a continuación transferidos a una unidad 13 de tratamiento de datos que está adaptada para llevar a cabo un método para un diseño de un elemento de lente oftálmica de acuerdo con el presente invento, por ejemplo aplicando un producto de programa informático de acuerdo al presente invento. Generalmente, la unidad 13 de tratamiento de datos puede ser un sistema informático conocido comúnmente.

25 El dispositivo de medición 11 y la unidad 13 de tratamiento de datos pueden estar conectados directamente mediante un cable de conexión pero también puede aplicarse una conexión inalámbrica. Los datos obtenidos por el dispositivo de medición 11 pueden ser transferidos a la unidad 13 de tratamiento de datos mediante la conexión de red, por ejemplo a través de Internet o pueden ser transferidos desde el dispositivo de medición a la unidad de tratamiento de datos mediante un medio legible por ordenador, de manera que en este caso no ha de establecerse conexión física entre el dispositivo de medición 11 y la unidad 13 de tratamiento de datos.

30 Además, hay prevista una línea de producción 15 para producir el elemento de lente oftálmica una vez diseñado. La unidad 13 de tratamiento de datos puede ser conectada directamente a la línea de producción 15 para controlar la línea de producción 15 para producir el elemento de lente oftálmica de acuerdo al proceso de diseño llevado a cabo por la unidad 13 de tratamiento de datos. Desde luego, la unidad 13 de tratamiento de datos y la línea de producción 15 pueden también estar conectadas inalámbricamente y los datos del elemento de lente oftálmica diseñado pueden ser también transferidos a la línea de producción, por ejemplo, almacenados en un medio legible por ordenador.

Con referencia a hora a la fig. 2, se ha mostrado un método de fabricación 16 de acuerdo con la técnica anterior.

35 El método de fabricación 16 comprende un método de diseño 18 de acuerdo con la técnica anterior. El método de diseño 18 comprende tres operaciones llevadas a cabo en el siguiente orden cronológico.

40 En primer lugar, en una operación 19 de medición se determina la aberración de frente de onda de un ojo que ha de ser corregida. En la técnica anterior, solo se medían aberraciones de frente de onda hasta del segundo orden, es decir distorsión y astigmatismo. Expandiendo la aberración de frente de onda a una serie de polinomios de Zernike, solo se determinan los primeros seis coeficientes de Zernike para las aberraciones de imagen de fase, distorsión, desfocalización y astigmatismo constantes.

A continuación es llevada a cabo una primera corrección de visión 20, en la que se determina una corrección de visión única de segundo orden, la así denominada prescripción de gafas, para la abertura de lente total. Esta prescripción de gafas comprende un componente de potencia esférica, un componente de potencia cilíndrica y un eje cilíndrico.

45 Esta prescripción de gafas sirve como una distribución objetivo que ha de ser aplicada sobre la abertura de la lente completa. En una operación 21 de optimización se determina la forma del elemento de lente oftálmica real o de al menos una superficie del elemento de lente oftálmica para que corresponda a la distribución objetivo tan estrechamente como sea posible. Sin embargo, en particular en las regiones periféricas de la lente, dependiendo de la forma real del elemento de lente oftálmica, no será posible hacer coincidir la distribución objetivo exactamente sobre la abertura de la lente completa. Por ello, se aplicarán funciones de mérito o funciones de mínimos cuadrados para minimizar la desviación desde la distribución objetivo. Además, ciertos términos de las funciones respectivas podrían ser ponderados

50

de acuerdo con características de visión.

Después de que se ha determinado la forma real del elemento de lente oftálmica en la operación 21, se lleva a cabo una operación 24 para producir el elemento de lente oftálmica en la que el elemento de lente oftálmica real final es fabricado.

5 Las operaciones 19, 20 y 21 forman el método del diseño 18. Las operaciones 19, 20 y 21 junto con la operación 22 forman el método de fabricación 16 de acuerdo con la técnica anterior.

Con referencia ahora a la fig. 3 se ha mostrado un ejemplo 23 de trazado de rayos.

Un elemento 24 de lente oftálmica está inclinado en un ángulo 25. Además, un ojo 26 que ha de ser corregido está inclinado en un ángulo 27. En el ojo 26, es ajustado un plano de referencia 28, preferiblemente en un plano focal del ojo 26.

10 Los ángulos 25, 27 pueden ser medidos en un plano perpendicular a un plano horizontal 29, en el propio plano horizontal o de manera arbitraria. Sin embargo, los ángulos 25, 27 deberían reflejar la posición real del ojo 26 y del elemento de lente 24 en una posición de uso.

15 Para un punto objeto 30, se calcula una trayectoria de luz de una multitud de rayos 31 a través del elemento 24 de lente oftálmica y del ojo 26. Mediante esto, pueden medirse aberraciones desde un punto 32 de imagen ideal en el plano de referencia 28 para cada rayo individual. El cálculo correspondiente puede ser llevado a cabo para una multitud de puntos objeto 30. Por esto, para puntos específicos en el elemento 24 de lente oftálmica, puede ser determinada la aberración fuera de ángulos de visión diferentes.

En lugar de rayos 31, también puede ser calculada una onda que consiste de multitud de rayos paralelos 31, para realizar el así llamado trazado de onda.

20 Mediante esta técnica, es posible sin embargo calcular aberraciones de frente de onda de un elemento 24 de lente oftálmica diseñado.

Con referencia ahora a la fig. 4, se ha mostrado una realización ejemplar de un método de fabricación 34 de acuerdo con el presente invento y de un método de diseño 36 de acuerdo con el presente invento.

25 El método de diseño 36 está mostrado como un diagrama de flujo que comienza con una operación 38 de medición de la aberración de frente de onda del ojo 26 que ha de ser corregida hasta un primer orden específico. El primer orden específico puede ser por ejemplo el tercer orden.

Las aberraciones correspondientes del ojo 26 son determinadas y la aberración puede ser expandida como una serie polinómica de Zernike con términos de polinomios correspondientes a las aberraciones de imagen, en que cada término polinómico comprende un coeficiente respectivo determinado por la operación de medición 38.

30 Subsiguientemente, se determina una primera corrección de visión 40 de un segundo orden específico como una primera distribución objetivo. El método aplicado en esta operación corresponde al de la técnica anterior en el que se determinan un componente de potencia esférica, un componente de potencia cilíndrica y un eje cilíndrico como una descripción de gafas para corregir las aberraciones de frente de onda hasta el segundo orden específico determinado en la operación 38. Por tanto, en la realización ejemplar, el segundo orden específico es el segundo orden. Por ello, en la operación 40 se determina una única descripción de gafas de segundo orden para corregir las aberraciones de frente de onda hasta el segundo orden como es determinado en la operación 38.

35 A continuación, la forma del elemento 24 de lente oftálmica es adaptada virtualmente para corresponder con la primera distribución objetivo determinada en la operación 40 tan estrechamente como sea posible en la operación 42.

40 En la operación 44 se determina una multitud de puntos especificados de la abertura de la lente. Los puntos pueden ser especificados manualmente por un óptico o ser ajustados automáticamente por la unidad 13 de tratamiento de datos después de una distribución predeterminada.

45 Con referencia ahora a la fig. 5, se ha mostrado una asignación de muestra 46. Una abertura 48 de lente puede ser descrita por un círculo. En la abertura 48 de lente, se especifica una multitud de puntos 50. Sin embargo, los puntos 50 no están necesariamente equiespaciados sobre la abertura 48 de lente sino que pueden estar basados en características del campo humano de visión. Además, la distribución de los puntos 50 puede depender del tipo de lente, es decir, si la lente es una única lente de visión, una lente bifocal o una lente progresiva, por ejemplo.

50 Con referencia de nuevo a la fig. 4, después de que han sido determinados los puntos especificados 50 en la operación 44, se determina virtualmente una aberración de frente de onda del elemento 24 de lente oftálmica adaptado en la operación 42 aplicando un método de trazado de rayos, por ejemplo, como se ha mostrado en la fig. 3. Las aberraciones correspondientes pueden ser expandidas a polinomios de Zernike correspondientes con coeficientes correspondientes.

Ahora, los coeficientes de orden elevado son añadidos en la operación 54. En el ejemplo actual, los coeficientes de orden

elevado son coeficientes de los polinomios de tercer orden. En la operación 54, los coeficientes determinados en la operación 52 y en la operación 48 son añadidos para obtener los coeficientes de orden elevado del sistema lente-ojo combinado. Consecuentemente, puede ahora determinarse una distribución objetivo de aberraciones para optimizar la prescripción de gafas teniendo en cuenta estas aberraciones de orden elevado combinadas.

- 5 En la operación 55, los coeficientes de orden elevado obtenidos a partir de la operación 54 son combinados con los coeficientes de orden inferior obtenidos por la primera corrección de visión para cada punto especificado 50.

Los coeficientes pueden ser los determinados en la operación 40 como la primera distribución objetivo. En este caso los coeficientes de orden inferior combinados para cada punto especificado corresponden a los de la prescripción de gafas y son, así, los mismos en cada punto especificado 50.

- 10 Sin embargo, en una realización alternativa, se utilizan los coeficientes de orden inferior correspondientes del elemento de la lente oftálmica obtenidos por la operación de adaptación 42. En este caso, como la forma superficial del elemento 24 de lente oftálmica obtenida en la operación 42 no corresponde con la primera distribución objetivo exactamente y cada punto especificado 50 podría tener entonces un coeficiente de orden inferior combinado ligeramente diferente como se ha determinado en la operación 42.

- 15 Después de esto, se obtiene una descripción suficiente de la aberración de frente de onda del sistema lente-ojo combinado.

En la operación 56, se determina una segunda corrección de visión de segundo orden en cada punto especificado como una segunda distribución objetivo. Esto significa, en cada punto especificado que la corrección de visión de segundo orden como es calculada en las operaciones 40 y 42 es optimizada de modo que minimice las aberraciones de frente de onda de acuerdo con el ejemplo actual no solamente hasta el segundo orden sino hasta un tercer orden basado en los coeficientes combinados del sistema lente-ojo. Mediante esto, para cada punto especificado se determina una corrección de visión ideal de segundo orden que comprende un componente de potencia esférico, un componente de potencia cilíndrico, y un eje cilíndrico. En otras palabras, la corrección de visión obtenida en las operaciones 40, 42 es alterada en puntos específicos 50 para minimizar las aberraciones de frente de onda de orden elevado de sistema lente-ojo combinado.

- 20  
25 Después en la operación 58, la forma actual de al menos una superficie del elemento 24 de lente oftálmica es optimizada en cada punto especificado 50 para corresponder con la segunda distribución objetivo determinada en la operación 56 tanto estrechamente como sea posible.

El método 36 para diseñar un elemento 24 de lente es ahora concluido.

- 30 Subsiguientemente, ha de ser llevada a cabo una operación 60 de producción del elemento de lente de acuerdo con la forma determinada en la operación 56 para concluir el método de fabricación 34 del presente invento.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método (36) implementado en ordenador para diseñar un elemento (24) de lente oftálmica, comprendiendo el método (36) las operaciones de:

5 determinar (38) una aberración del frente de onda de un ojo (26) de una persona en un plano de referencia (28), en el que la aberración de frente de onda del ojo (26) puede ser descrita mediante una serie de polinomios de orden creciente hasta un primer orden especificado y mediante primeros coeficientes correspondientes; y estando caracterizado el método por las operaciones de:

10 determinar (40; 42) una primera corrección de visión de un segundo orden específico para obtener un elemento (24) de lente oftálmica adaptado, en el que la operación de determinar una primera corrección de visión (40; 42) comprende la operación de:

15 determinar (40) una aberración de frente de onda del elemento (24) de lente oftálmica en el plano de referencia (28) como una primera distribución objetivo de modo que corrija la aberración de frente de onda del ojo (26), en el que la aberración de frente de onda del elemento (24) de lente oftálmica puede ser descrita por una segunda serie de polinomios de orden creciente hasta el segundo orden específico y por segundos coeficientes correspondientes, en que el segundo orden específico es menor que el primer orden específico y el segundo orden específico es el segundo orden; y

adaptar (42) el elemento (24) de lente oftálmica de modo que corresponda con la primera distribución objetivo tan estrechamente como sea posible;

20 determinar (44) al menos dos puntos especificados (50) sobre una abertura (48) del elemento (24) de lente oftálmica adaptado;

determinar (52) una aberración de frente de onda de orden elevado en el plano de referencia (28) para cada punto especificado (50) del elemento (24) de lente oftálmica adaptado, en el que la aberración de frente de onda de orden elevado puede ser descrita por una tercera serie de polinomios de orden creciente por encima de un segundo orden hasta el primer orden específico incluido y por terceros coeficientes correspondientes,

25 determinar (54; 56; 58) una segunda corrección de visión de segundo orden para cada uno de los puntos especificados para obtener un elemento (24) de lente oftálmica optimizado basado en la primera corrección de visión (40) hasta el segundo orden incluido y basado en los primeros y terceros coeficientes combinados por encima del segundo orden y hasta el primer orden específico incluido, en el que la operación de determinar una segunda corrección de visión (54; 56; 58) comprende la operación de:

30 determinar (54) una aberración de frente de onda de orden elevado combinada de un sistema de lente-ojo (26) combinado en el plano de referencia (28) para cada punto especificado (50), en el que la aberración de frente de onda de orden elevado combinada puede ser descrita por una cuarta serie de polinomios de orden creciente por encima del segundo orden y hasta el primer orden específico incluido y por cuartos coeficientes correspondientes, en que los cuartos coeficientes son iguales a la suma de los primeros y terceros coeficientes correspondientes;

en que las aberraciones de frente de onda están descritas cada una por la misma serie de polinomios.

2. El método implementado en ordenador según la reivindicación 1, en el que la operación de determinar una segunda corrección de visión (54; 56; 58) comprende además las operaciones de:

40 determinar (55) para cada punto especificado una aberración de frente de onda combinada que comprende la aberración de frente de onda de orden elevado combinada y una aberración de frente de onda de orden inferior combinada;

45 determinar (56) una aberración de frente de onda final para cada punto especificado del elemento (24) de lente oftálmica en el plano de referencia (28) como una segunda distribución objetivo de modo que corrija la aberración de frente de onda combinada del punto especificado respectivo (50), en que la aberración de frente de onda final puede ser descrita por una quinta serie de polinomios de orden creciente hasta el segundo orden específico; y

optimizar (58) el elemento (24) de lente oftálmica de modo que coincida con la segunda distribución objetivo tan estrechamente como sea posible.

3. El método implementado en ordenador según la reivindicación 2, en el que la aberración de frente de onda de orden inferior combinada corresponde a resultados de la primera corrección de visión (40) para cada uno de los puntos especificados (50).

4. El método implementado en ordenador según la reivindicación 1, en el que la primera corrección de visión (40) es

llevada a cabo utilizando una corrección de visión única de segundo orden.

5. El método implementado en ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las aberraciones de frente de onda son descritas por uno de los siguientes elementos: una serie de polinomios de Zernike, una serie de polinomios de Taylor y una serie de polinomios de Chebyshev.
- 5 6. El método implementado en ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que en la operación (56) de determinar la segunda distribución objetivo implica uno de los siguientes elementos: una métrica de plano de la pupila, una métrica de función de dispersión del punto y una métrica de transferencia óptica.
7. El método implementado en ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la aberración de frente de onda del ojo (26) es determinada (38) utilizando un sensor de frente de onda y un medidor de aberraciones.
- 10 8. El método implementado en ordenador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la aberración de frente de onda de orden elevado combinada en el plano de referencia (28) para cada punto especificado (50) del elemento (24) de lente oftálmica adaptado es determinada mediante trazado de rayos (23) o trazado de onda de un modelo del ojo (26) y del elemento (24) de lente oftálmica.
9. Un método (34) para fabricar un elemento (24) de lente oftálmica que comprende las operaciones de:
- 15 diseñar (36) el elemento (24) de lente oftálmica según una de las reivindicaciones 1 a 8;  
producir (60) el elemento (24) de la lente oftálmica.
10. El método según la reivindicación 9, en el que el elemento (24) de lente oftálmica es producido utilizando un acabado superficial de forma libre.
- 20 11. Un producto de programa informático que comprende medios de código de programa para realizar las operaciones del método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 cuando dicho producto del programa informático es ejecutado sobre un ordenador.

Fig. 1

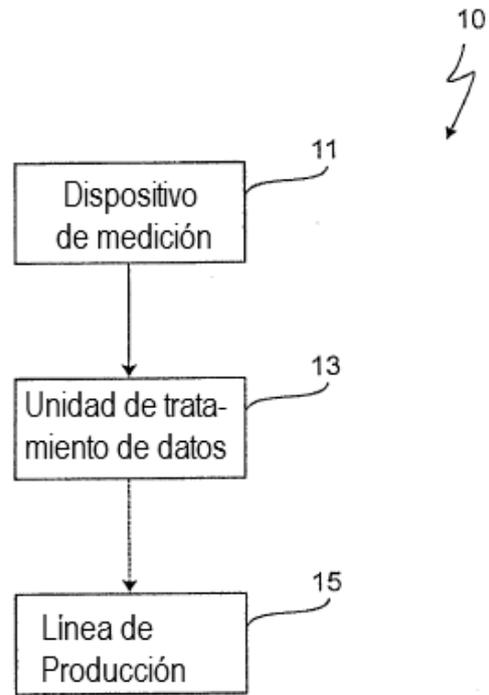


Fig. 2

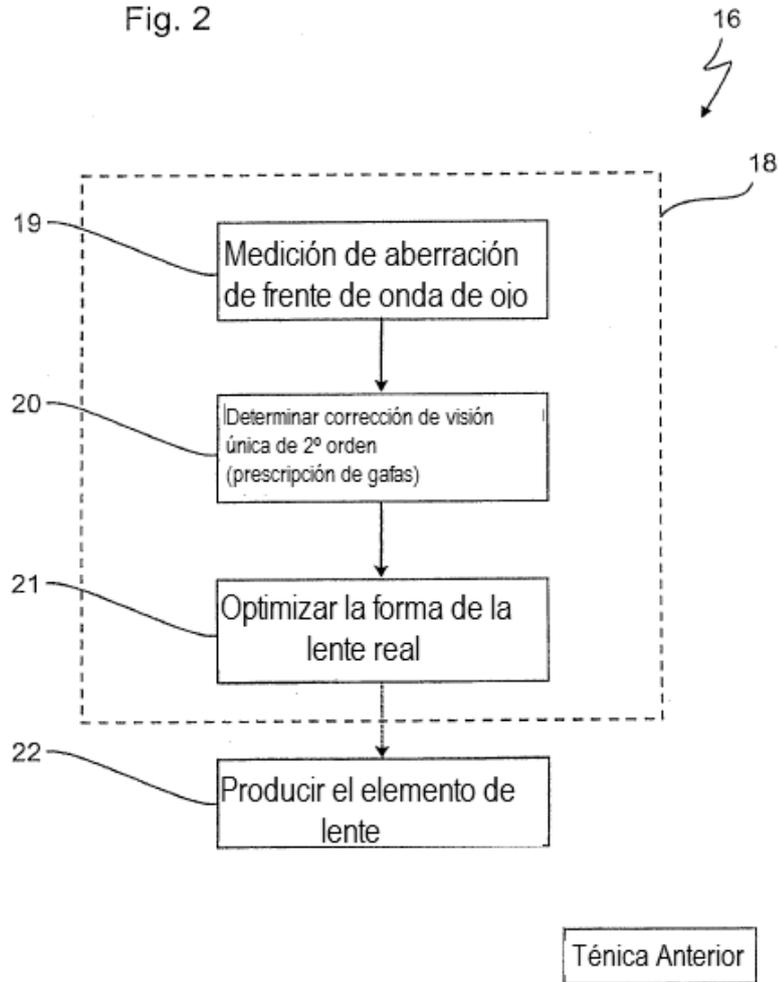


Fig. 3

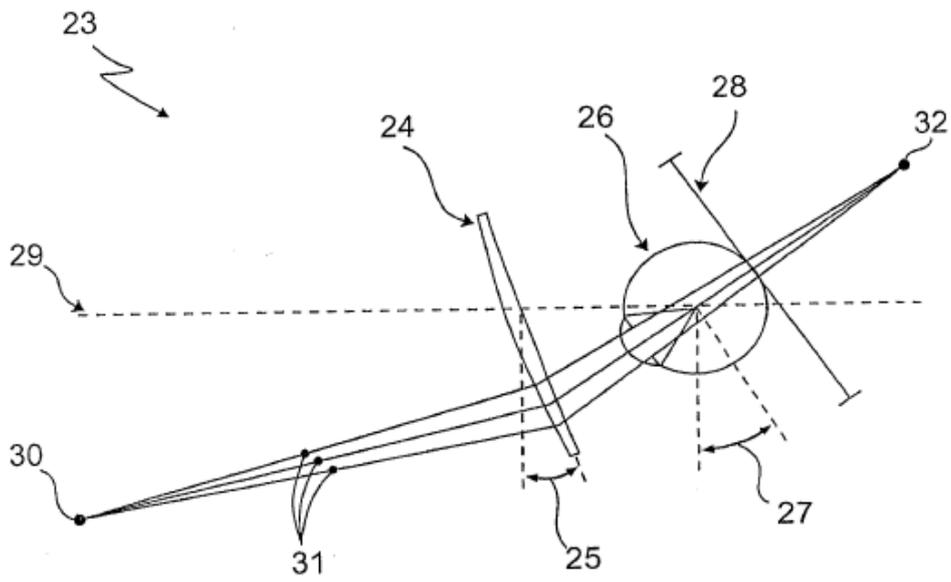


Fig. 4

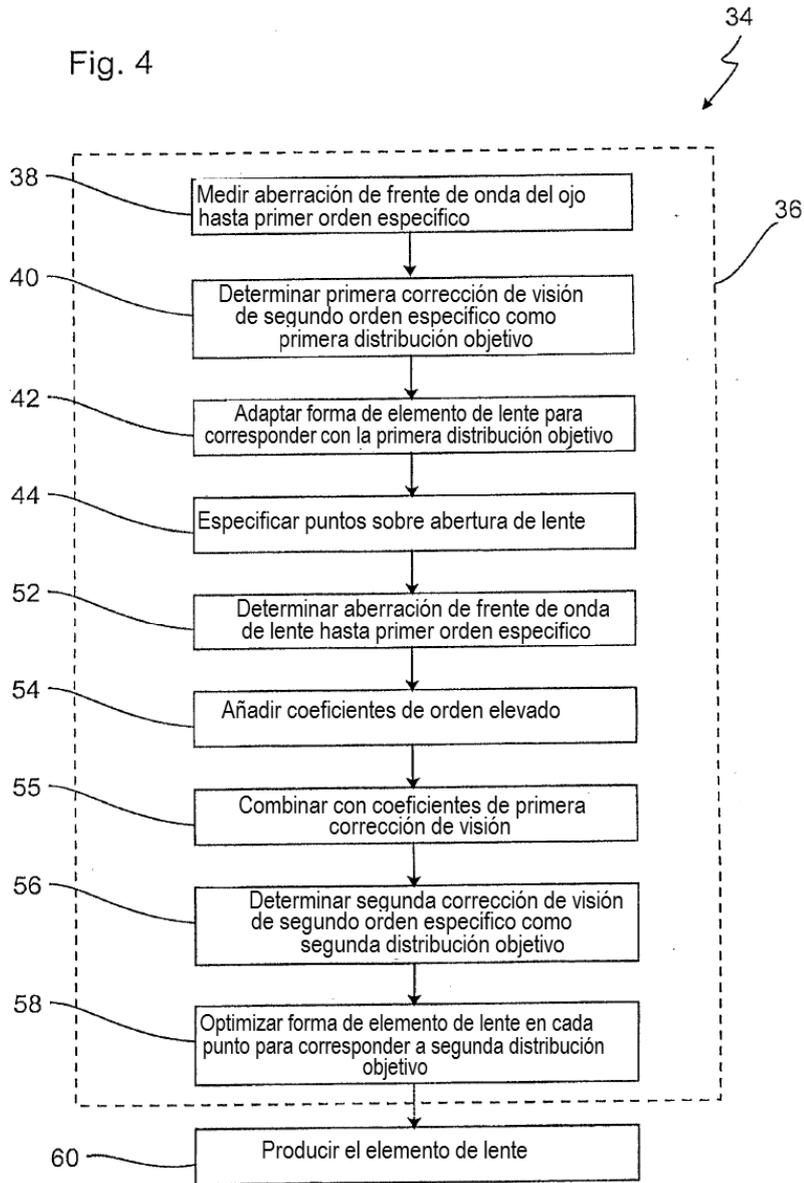


Fig. 5

