

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 967 252**

51 Int. Cl.:

G02C 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2019** **PCT/EP2019/057820**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2019** **WO19185770**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2019** **E 19715434 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2023** **EP 3776068**

54 Título: **Ajuste de las refracciones subjetiva y objetiva**

30 Prioridad:

29.03.2018 DE 102018002630

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

29.04.2024

73 Titular/es:

RODENSTOCK GMBH (100.0%)
Elsenheimerstrasse 33
80687 München, DE

72 Inventor/es:

MUSCHIELOK, ADAM;
ALTHEIMER, HELMUT;
BECKEN, WOLFGANG;
ESSER, GREGOR y
UTTENWEILER, DIETMAR

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 967 252 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

Ajuste de las refracciones subjetiva y objetiva

La presente invención se refiere a procedimientos para determinar el error de refracción de un usuario de gafas, correspondiente producto de programa de ordenador, procedimiento y dispositivos de fabricación de lentes para gafas. Además, la presente invención se refiere a un lente para gafas o una vidriería para gafas.

Un procedimiento ampliamente difundido para determinar una refracción (que comprende al menos un componente de refracción) es la denominada determinación de refracción subjetiva, que en general se ha impuesto entre los optómetras. Durante la determinación de refracción subjetiva, tradicionalmente se presentan al usuario de un lente para gafas diferentes lentes para refracción, en donde el usuario del lente para gafas comunica al especialista un mejoramiento o un deterioro de la impresión óptica, ante el cambio de las propiedades ópticas del lente de refracción presentado. La refracción subjetiva requiere con ello de una información del examinado respecto a la impresión óptica y puede considerar también la influencia de otras magnitudes sobre la impresión óptica.

La determinación de refracción subjetiva puede basarse por ejemplo en valores de una determinación de refracción objetiva o en valores de unas gafas ya usadas. La exactitud de la determinación de refracción subjetiva depende sin embargo críticamente de la destreza del especialista, por ejemplo de un optómetra y/o de un oftalmólogo, que ejecuta la determinación de refracción subjetiva. Así mismo, la determinación de refracción subjetiva depende críticamente de la persona que va a ser investigada, en particular de la capacidad de la persona que va a ser investigada para evaluar y/o enunciar la agudeza de la impresión visual.

Otro procedimiento para determinar una refracción es la denominada refracción objetiva: la refracción objetiva es ejecutada mediante un arreglo instrumental y es determinada mediante las propiedades de refracción así como la geometría del globo ocular. La refracción objetiva puede ser ejecutada mediante diferentes aparatos, como por ejemplo refractómetro. Frecuentemente se diferencian significativamente sin embargo los valores determinados mediante una refracción objetiva de un usuario de gafas, de los valores determinados mediante una refracción subjetiva. Esto complica considerablemente el hallazgo de valores esperados adecuados para el lente para gafas, que deberían corregir el error de refracción del usuario de gafas.

El documento impreso WO 2009/007136 A1 describe un procedimiento para determinar de valores esperados para un lente para gafas, en el cual al menos una cantidad parcial de los datos de refracción subjetiva es ajustada a los datos de refracción objetiva, debido a una comparación de los datos subjetivos y objetivos. En particular, la cantidad parcial de los datos de refracción subjetiva se ajustan a los datos de la refracción objetiva, cuando el resultado de la comparación satisface al menos una condición predeterminada de comparación, de otro modo se mantiene la cantidad parcial de los datos de la refracción subjetiva.

El documento impreso US 2012/069297 describe un procedimiento para determinar los valores de refracción de un usuario, en el cual se consideran tanto mediciones de frente de ondas de al menos un ojo del usuario, como también valores de refracción subjetiva.

Los documentos impresos US 2014/368795 A1 y US 2014/368795 A1 describen en cada caso procedimientos para determinar valores de refracción de un usuario mediante refracción objetiva y subjetiva.

Es un objetivo de la presente invención, mejorar la determinación del error de refracción de un usuario de gafas. Este objetivo es logrado mediante los procedimientos, dispositivos, productos de programa de ordenador, lentes para gafas y lentes para vidrierías para gafas, de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Las variantes o formas preferidas de realización son objetivo de las reivindicaciones dependientes.

La presente invención se basa en el reconocimiento de que diferentes mediciones o procedimientos de medición y/o aparatos de medición entregan básicamente diferentes valores de refracción. La invención propone considerar, en el cálculo del error de refracción de un usuario de gafas, inexactitudes de medición o desviaciones de medición de las diferentes mediciones.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se describe un procedimiento implementado por ordenador o soportado por ordenador, definido en la reivindicación 1, para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas, en donde el procedimiento comprende:

suministrar valores medidos de una primera y de una segunda mediciones del error de refracción del ojo del usuario de gafas;

calcular un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, mediante el valor medido de la primera y de la segunda mediciones, en donde para el cálculo del valor estimado del error de refracción se consideran inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda mediciones del error de refracción o en el cálculo del valor estimado del error de refracción se incorporan inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición del error de refracción.

"Suministrar" comprende en el sentido de la presente invención "tomar de un banco de datos, de una tabla o de otro soporte de datos", "introducir en una interfaz de usuario, como por ejemplo una interfaz gráfica de usuario", "transmitir", "medir" o "estimar".

5 La primera y la segunda mediciones pueden ocurrir mediante dispositivos de medición de diferente tipo para medir el error de refracción, por ejemplo mediante diferentes aparatos, de modo subjetivo/objetivo, etc..

Los valores medidos pueden comprender valores medidos de al menos un componente, preferiblemente varios componentes. Expresado de otro modo, los valores medidos pueden estar presentes en forma vectorial con varios componentes. Los componentes pueden ser por ejemplo

10 los componentes de una representación polar (esfera, cilindro y eje),
los componentes de una representación de matriz de curvatura,
los componentes de una representación de vector de potencia (M, J0 y J45),
los componentes de una representación de vector de Harris,
los componentes de una solución de polinomio de Zernike (coeficientes de Zernike), o
el componente de otra caracterización adecuada del error de refracción de un usuario de gafas.

15 Las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda mediciones

pueden ser determinadas previamente (por ejemplo de acuerdo con un procedimiento descrito a continuación) y almacenadas de una forma adecuada (por ejemplo como tabla, en un archivo, en un banco de datos, como un modelo matemático, como una función, etc.). De modo correspondiente, el procedimiento puede comprender el suministro de datos o informaciones sobre las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda mediciones del error de refracción. Además, el procedimiento puede comprender el suministro de datos sobre el tipo de medición, el aparato usado en cada caso, datos individuales del usuario de gafas (como por ejemplo edad, preferencias, hábitos visuales, uso del lente para gafas, parámetros de la posición de uso del lente para gafas, etc.).

De acuerdo con un segundo aspecto, se propone un procedimiento para determinar el efecto esperado de un lente para gafas para corregir un error de refracción de un usuario de gafas, en donde el procedimiento comprende:

25 determinar el error de refracción de un ojo del usuario de gafas de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con el primer aspecto; y
establecer el efecto esperado mediante el error de refracción determinado, de modo que el efecto esperado corrige al menos parcialmente, preferiblemente de modo esencial completamente, el error de refracción determinado en al menos un punto de referencia.

30 El punto de referencia puede ser el punto de referencia remoto, el punto de referencia de prisma, el punto de centro o la cruz de centro, el punto de referencia próximo u otro punto de referencia adecuado.

De acuerdo con un tercer aspecto, se propone un procedimiento para la fabricación de un lente para gafas, en donde el procedimiento comprende:

35 determinar el error de refracción de un ojo del usuario de gafas de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con el segundo aspecto;
establecer el efecto esperado en al menos un punto de referencia del lente para gafas mediante el error de refracción determinado, de modo que el efecto esperado del lente para gafas corrige el error de refracción determinado en el al menos un punto de referencia, al menos parcialmente, preferiblemente de modo esencial completamente; y
40 manufacturar el lente para gafas, de modo que se alcanza el efecto esperado en el al menos un punto de referencia del lente para gafas, preferiblemente en una posición preestablecida de uso del lente para gafas.

De acuerdo con un cuarto aspecto, se propone un procedimiento para ordenar lentes para gafas, que comprende:

Suministrar valores medidos de una primera medición y de una segunda medición del error de refracción del ojo del usuario de gafas;
45 calcular un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas mediante el valor medido de la primera medición y de la segunda medición, en donde durante el cálculo del valor estimado del error de refracción se consideran inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición del error de refracción.

De acuerdo con un quinto aspecto se propone un producto de programa de ordenador que, cuando es cargado en la memoria de un ordenador y es realizado en un ordenador, causa que el ordenador ejecute un procedimiento de acuerdo con uno de los aspectos anteriores.

50 De acuerdo con un sexto aspecto de la invención se propone un dispositivo para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas con un dispositivo de cálculo, en particular un ordenador o sistema de ordenador, que está diseñado para ejecutar el procedimiento de acuerdo con uno de los aspectos anteriores.

De acuerdo con un séptimo aspecto de la invención se propone un dispositivo para la fabricación de un lente para gafas, en donde el dispositivo comprende:

- 5 un dispositivo para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas de acuerdo con el sexto aspecto; un dispositivo para establecer el efecto esperado en un punto de referencia del lente para gafas, en virtud del error de refracción determinado, de modo que el efecto esperado del lente para gafas corrige el error de refracción determinado en el al menos un punto de referencia, al menos parcialmente, preferiblemente de modo esencialmente completo y un dispositivo de manufactura para manufacturar el lente para gafas, de modo que se alcanza el efecto esperado en al menos un punto de referencia preestablecido del lente para gafas, preferiblemente en una posición preestablecida de uso del lente para gafas.

- 10 De acuerdo con un octavo aspecto de la invención, se propone un dispositivo para ordenar lentes para gafas, que está diseñado para ejecutar el procedimiento para ordenar de lentes para gafas. En particular, el dispositivo para ordenar de lentes para gafas comprende:

- un dispositivo para suministrar valores medidos de una primera medición y de una segunda medición del error de refracción del ojo del usuario de gafas, y
- 15 un dispositivo de cálculo que está diseñado para calcular un valor estimado para el para el error de refracción del ojo del usuario de gafas en virtud del valor medido de la primera medición y de la segunda medición, en donde en el cálculo del valor estimado del error de refracción se incorporan inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición del error de refracción. El valor estimado puede ser determinado de acuerdo con uno de los procedimientos descritos anteriormente.

- 20 Los dispositivos mencionados anteriormente para suministrar, determinar o establecer o calcular datos y/o valores medidos pueden ser realizados mediante dispositivos de procesamiento de datos adecuados configurados o programados (en particular módulos especializados de hardware, ordenador o sistemas de ordenador) con correspondientes unidades de cálculo, interfaces electrónicas, memorias y unidades de transferencia de datos. Además, los dispositivos pueden comprender al menos una interfaz gráfica de usuario preferiblemente interactiva (GUI), que hace posible que un usuario introduzca y/o modifique datos.

- El positivo de manufactura puede comprender por ejemplo al menos una máquina controlada por NC para el procesamiento directo de un blanco, de acuerdo con los lineamientos de optimización determinados. Alternativamente, el lente para gafas puede ser manufacturado mediante un procedimiento de vertido. Preferiblemente el lente para gafas procesado listo exhibe una superficie esférica simple o esférica con simetría de rotación y una superficie calculada u optimizada de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, así como de acuerdo con parámetros individuales del usuario de gafas. Preferiblemente, la superficie esférica simple o esférica con simetría de rotación es la superficie frontal (es decir la superficie lateral del objeto) del lente para gafas. Sin embargo, evidentemente es posible designar la superficie optimizada como superficie frontal del lente para gafas. También pueden optimizarse ambas superficies del lente para gafas.

- 35 Además, la invención ofrece un uso de un lente para gafas fabricado de acuerdo con el procedimiento de fabricación de acuerdo con la invención, en una posición de uso del lente para gafas preestablecida promedio o ideal delante de los ojos de un usuario de gafas determinado, para la corrección de un error de refracción determinado del usuario de gafas, en donde el error de refracción se caracteriza por un valor medido determinante mediante un primer dispositivo de medición y un valor medido determinado mediante un segundo dispositivo de medición.

- 40 Los procedimientos, dispositivos y productos de programa de ordenador de acuerdo con uno de los aspectos anteriores pueden disminuir la probabilidad de reclamación de lentes para gafas, en cuyo cálculo se usa tanto la refracción subjetiva como también la objetiva. Esto se refiere especialmente a zonas de acción, en las cuales los aparatos miden la refracción objetiva de modo sistemáticamente diferente a la refracción subjetiva.

Ejemplos preferidos

- 45 Las inexactitudes de medición comprenden una desviación sistemática entre los valores medidos de la primera medición de los valores medidos de la segunda medición.

Si por ejemplo no se calcula la desviación sistemática de la primera y segunda mediciones, pueden ocurrir considerables desviaciones en los valores de refracción determinados, por ejemplo como promedio, de acuerdo con el estado de la técnica, de los valores óptimos para los usuarios de gafas.

- 50 De acuerdo con un Ejemplo preferido, las inexactitudes de medición o desviaciones de medición comprenden tanto una desviación aleatoria como también una sistemática de la primera medición frente a la segunda medición. Las desviaciones sistemática y aleatoria pueden ser consideradas en una etapa única del procedimiento, o también en varias etapas del procedimiento sucesivamente, en un orden cualquiera.

- 55 De acuerdo con la invención, en primera instancia se calcula un primer valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, mediante la primera y la segunda mediciones, en donde durante el cálculo del primer valor estimado del error de refracción se consideran desviaciones sistemáticas entre los valores medidos de la primera

medición y la segunda medición del error de refracción. En un segundo paso, mediante el primer valor estimado y las inexactitudes de medición o desviaciones de medición aleatorias de la primera y de la segunda mediciones, se determina un segundo valor estimado del error de refracción, que es entregado o ajustado adicionalmente como valor estimado final.

- 5 La determinación del primer valor estimado puede comprender una determinación de un término de corrección para el valor medido de la primera y/o de la segunda medición y una corrección o ajuste del valor medido de la primera o de la segunda medición mediante el término de corrección (por ejemplo por una adición del respectivo valor medido con el término de corrección).

- 10 El primer valor estimado puede ser corregido para tener en cuenta las desviaciones aleatorias de la primera medición de la segunda medición. Esto puede ocurrir por ejemplo mediante una combinación del, dado el caso, valor medido corregido de la primera y de la segunda medición, como se describe en detalle a continuación.

La combinación del valor medido de la primera y de la segunda medición y la corrección o ajuste del valor medido de la primera y de la segunda medición pueden ocurrir así mismo en orden inverso.

- 15 De acuerdo con un Ejemplo preferido, la primera medición del error de refracción del ojo es una refracción objetiva y/o la segunda medición del error de refracción del ojo es una refracción subjetiva. El valor medido comprende valores correspondientes de al menos un componente o componente de refracción. Este al menos un componente del valor medido puede ser un componente de una representación de frente de ondas del error de refracción, su combinación lineal o magnitudes derivadas de ella. El al menos un componente puede ser por ejemplo:

- 20 el componente de una representación polar (esfera, cilindro y eje),
el componente de una representación de matriz de curvatura,
el componente de una representación de vector de potencia (M, J0 y J45),
el componente de una representación de vector de Harris,
el componente de una solución de polinomio de Zernike (coeficiente de Zernike), o
el componente de otra caracterización adecuada del error de refracción de un usuario de gafas.

- 25 El procedimiento puede comprender además el suministro de datos sobre las exactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda medición del error de refracción. Los datos pueden ser almacenados en forma electrónica (por ejemplo almacenados en un banco de datos) o de otra forma (por ejemplo en papel). Los datos pueden presentarse en forma tabular (por ejemplo como "Look-up Table" (LUT)) o como un modelo matemático, por ejemplo como función paramétrica con parámetros preestablecidos.

- 30 El procedimiento comprende la determinación de las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda medición mediante análisis estadístico de los datos o valor medido (valores medidos de referencia) contenidos en un conjunto de datos (conjunto de datos de referencia) de mediciones anteriores (por ejemplo primera y segunda mediciones anteriores o mediciones con dispositivos de medición del primer y del segundo tipo) de diferentes usuarios de gafas. El conjunto de datos (conjunto de datos de referencia) puede comprender además también otras mediciones en virtud de las cuales se determinan las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda medición.

Los valores medidos brutos pueden ser filtrados antes del análisis, por ejemplo mediante los siguientes criterios:

- 40 La magnitud de una diferencia de una adición y de una distancia recíproca del objeto por medición (subjetiva) de refracción próxima (por convención de signo positiva) es igual a o menor que un valor umbral predeterminado, opcionalmente igual a o menor que 0 Dpt, 0,25 Dpt o 0,5 Dpt;
la agudeza visual del respectivo usuario de gafas (cuyo valor de refracción está contenido en el conjunto de datos) es igual a o mayor que un valor umbral preestablecido, opcionalmente igual a o mayor que 1,25 o 1,5 o 1,6;
la resolución del lente de refracción usado para la refracción subjetiva de un usuario de gafas es igual a o más elevada que un valor umbral preestablecido, opcionalmente igual a o mayor que 0,5 Dpt o 0,25 Dpt o 0,125 Dpt.

- 45 Así mismo son posibles otros criterios, como por ejemplo densidad de los datos en un intervalo determinado de valor medido.

La determinación de las inexactitudes de medición o de las desviaciones de medición de la primera y de la segunda mediciones comprende por ejemplo los siguientes pasos:

- 50 establecer un modelo para el valor medido de la segunda medición, como una suma de un valor medido predicho y de una variable estadística, en donde el valor medido predicho es modelado como una función paramétrica del valor medido de la primera medición y opcionalmente de una parte del valor medido de la segunda medición;
determinar los parámetros de la función paramétrica mediante ajuste del modelo a las mediciones de referencia contenidas en el conjunto de datos, maximizando la distribución de probabilidad de las variables estadísticas en el espacio de parámetro del modelo;
55 determinar una desviación sistemática de la primera medición de la segunda medición, mediante la medición predicha.

El modelo puede ser descrito por ejemplo mediante la siguiente ecuación o el siguiente sistema de ecuación:

$$\tilde{P}_2 = P_{pred}[\tilde{P}_1, \dots] + \varepsilon,$$

en donde:

- 5 P_1 indica el valor medido de la primera medición (en forma vectorial);
 P_2 indica el valor medido de la segunda medición (en forma vectorial);
 P_{pred} indica el valor medido predicho (en forma vectorial);
 ε indica la variable estadística (en forma vectorial).

10 La ecuación anterior o el sistema de ecuación anterior es considerado separadamente para cada valor medido en el conjunto de datos de referencia, es decir, es válido para cada medición "i". Para la i-ésima medición es válido en consecuencia:

$$\tilde{P}_2^i = P_{pred}[\tilde{P}_1^i, \dots] + \varepsilon^i$$

En consecuencia, a cada medición puede asignarse una variable estadística ε^i (qué puede ser una magnitud vectorial). Todas las variables ε^i estadísticas provienen de la misma distribución o se refieren a la misma distribución.

15 Si opcionalmente la función paramétrica es una función del valor medido de la primera medición y de una parte del valor medido de la segunda medición, preferiblemente no incorpora en la función paramétrica el componente de la segunda medición que es modelado. De otro modo existe una solución trivial, es decir que la variable estadística es siempre 0, y la función paramétrica es idéntica al componente de la segunda medición que va a ser modelado.

20 La medición predicha puede ser modelada mediante una función paramétrica cualquiera, por ejemplo mediante una función polinómica. La medición predicha puede ser por ejemplo una refracción predicha, que puede ser modelada mediante una de las siguientes funciones paramétricas:

Modelo 1:

$$M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{J0,1}^M \tilde{J}0_{obj} + a_{J45,1}^M \tilde{J}45_{obj}$$

$$J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J0,i}^{J0} \tilde{J}0_{obj}^i + a_{J45,1}^{J0} \tilde{J}45_{obj}$$

$$J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{J0,1}^{J45} \tilde{J}0_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J45,i}^{J45} \tilde{J}45_{obj}^i$$

o

Modelo 2:

$$M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}, \tilde{J}0_{sub}, \tilde{J}45_{sub}) = \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{J0,1}^M \tilde{J}0_{obj} + a_{J45,1}^M \tilde{J}45_{obj} + b_{J0,1}^M \tilde{J}0_{sub} + b_{J45,1}^M \tilde{J}45_{sub}$$

$$J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}, \tilde{J}0_{sub}, \tilde{J}45_{sub}) = a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J0,i}^{J0} \tilde{J}0_{obj}^i + a_{J45,1}^{J0} \tilde{J}45_{obj} + b_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{sub} + b_{J45,1}^{J0} \tilde{J}45_{sub}$$

$$J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}, \tilde{J}0_{sub}, \tilde{J}45_{sub}) = a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{J0,1}^{J45} \tilde{J}0_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J45,i}^{J45} \tilde{J}45_{obj}^i + b_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{sub} + b_{J0,1}^{J45} \tilde{J}0_{sub}$$

en donde:

35 $(M_{pred}, J0_{pred}, J45_{pred})$ indica el vector de potencia de la refracción predicha;

$(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}_{obj}, \tilde{J}_{45_{obj}})$ indica el vector de potencia del valor medido de la refracción objetiva;

$(\tilde{M}_{sub}, \tilde{J}_{sub}, \tilde{J}_{45_{sub}})$ indica el vector de potencia del valor medido de la refracción subjetiva;

$a_{x,i}^y$ indica los parámetros de la respectiva función paramétrica,

Y representa un componente de vector de potencia del vector de potencia de la refracción predicha;

5 X representa un componente de vector de potencia del vector de potencia de la refracción objetiva medida.

Los parámetros $a_{x,i}^y$ determinados pueden ser almacenados en forma adecuada por ejemplo como LUT) y ser considerados durante el cálculo del valor estimado para el error de refracción.

10 Mediante la medición predicha de acuerdo con el modelo y los valores medidos subjetivo y objetivo suministrados, puede determinarse la desviación sistemática de la primera medición de la segunda medición y los correspondientes términos de corrección. Al respecto, pueden corregirse el valor medido objetivo, el valor medido subjetivo o ambos valores medidos (por ejemplo mediante adición del respectivo valor medido con el término de corrección determinado).

15 Además, se propone minimizar el error aleatorio de medición o inexactitudes de medición, mediante una combinación del valor medido de la primera medición y de la segunda medición (por ejemplo los valores de refracciones subjetiva y objetiva). Ha probado ser particularmente ventajoso, calcular el valor estimado del error de refracción del ojo mediante formación de un valor medio ponderado del valor medido de la primera y de la segunda medición, en donde la primera medición o los componentes del valor medido de la primera medición se ponderan con primeros pesos y la segunda medición o los componentes del valor medido de la segunda medición con segundos pesos y la suma del primero y del segundo peso para el respectivo componente es igual a 1. Puesto que los valores medidos son en principio magnitudes vectoriales (es decir, son magnitudes con varios componentes), los componentes individuales
20 (por ejemplo componentes de vector de potencia) son ponderados en general con diferentes pesos. Cuando el respectivo valor medido exhibe solamente un componente (por ejemplo el equivalente esférico), el componente de la primera medición es ponderado con un primer peso y el componente de la segunda medición es ponderado con un segundo peso.

25 Preferiblemente, entre la primera medición y la segunda medición, la medición con la inexactitud de medición más baja es ponderada con pesos más elevados. Preferiblemente, se enmiendan o corrigen previamente el valor medido de la primera medición y/o el valor medido de la segunda medición, para reducir las desviaciones aleatorias entre la primera y la segunda medición.

30 Los pesos son preferiblemente función de los valores medidos del error de refracción. Los valores medidos pueden comprender por ejemplo una adición y/o un equivalente esférico y los pesos pueden depender de la adición y/o la diferencia entre el valor medido del equivalente esférico de la primera medición y el valor medido del equivalente esférico de la segunda medición. De acuerdo con un aspecto, se propone una ponderación novedosa, para minimizar las inexactitudes o desviaciones aleatorias de medición o de una medición objetiva y una subjetiva del error de refracción.

35 Si por ejemplo la adición es igual a o mayor que un valor predeterminado (por ejemplo 1,75 Dpt o 2,0 Dpt o 2,25 Dpt o 2,5 Dpt) o equivalente, el poder de acomodación es igual a o menor que un valor predeterminado (por ejemplo 0,75 Dpt o 0,5 Dpt o 0,25 Dpt o 0 Dpt), y si la brecha o la diferencia ΔM entre el equivalente esférico objetivo y el equivalente esférico subjetivo no es grande (por ejemplo está en el intervalo $-0,75 \text{ Dpt} < \Delta M < +0,75 \text{ Dpt}$ o $-0,5 \text{ Dpt} < \Delta M < +0,5 \text{ Dpt}$), el peso del equivalente esférico subjetivo está entre 0,3 y 0,7.

40 Si la adición es igual a o mayor que un valor predeterminado (por ejemplo 1,75 Dpt o 2,0 Dpt o 2,25 Dpt o 2,5 Dpt) o equivalente, el poder de acomodación es igual a o menor que un valor predeterminado (por ejemplo 0,75 Dpt o 0,5 Dpt o 0,25 Dpt o 0 Dpt), y si la magnitud de la diferencia entre el equivalente esférico objetivo y el equivalente esférico subjetivo es grande (por ejemplo mayor que 1,5 Dpt o 1,0 Dpt o 0,5 Dpt) el peso del equivalente esférico subjetivo es mayor que o igual a 0,8 o 0,9 o 0,95 o 0,99. Incluso, el valor puede ser 1.

45 Si la adición es igual a o menor que un valor predeterminado (por ejemplo igual a o menor que 1,5 Dpt o 1,25 Dpt o 1,0 Dpt o 0,75 Dpt o 0,5 Dpt) o equivalente, el poder de acomodación es igual a o mayor que un valor predeterminado (por ejemplo igual a o mayor que 1,0 Dpt o 1,25 Dpt o 1,5 Dpt o 1,75 Dpt o 2,0 Dpt), y si la brecha ΔM entre el equivalente esférico objetivo y el equivalente esférico subjetivo es negativa y menor que un valor predeterminado, (por ejemplo menor que $-0,5 \text{ Dpt}$ o $-1,0 \text{ Dpt}$ o $-1,5 \text{ Dpt}$), el peso del equivalente esférico objetivo es pequeño, por ejemplo 0,5 o 0,4 o 0,3 o 0,2 o 0,1 o 0,05 o 0,01. El valor puede ser incluso 0.

50 Si la adición es más pequeña que un valor predeterminado, y la brecha ΔM entre el equivalente esférico objetivo y el equivalente esférico subjetivo no es grande (por ejemplo está en el intervalo $-0,75 \text{ Dpt} < \Delta M < +0,75 \text{ Dpt}$ o $-0,5 \text{ Dpt} < \Delta M < +0,5 \text{ Dpt}$), el equivalente esférico subjetivo y el objetivo son ponderados de modo equivalente a la presencia de una presbicia (relativamente) elevada. El peso del equivalente esférico subjetivo puede estar por ejemplo entre 0,3 y 0,7 o entre 0,4 y 0,6.

Los pesos pueden depender además también de otros componentes de la refracción (componentes de refracción), como por ejemplo los componentes J0 y J45 en la representación del vector de potencia.

Las mediciones del error de refracción pueden comprender además al menos un componente astigmático (por ejemplo los componentes J0 y J45 del vector de potencia), en donde los componentes astigmáticos subjetivos y objetivos pueden ser ponderados con pesos constantes. Por ejemplo, el peso para el componente astigmático subjetivo puede ser 0,7 y el peso para el correspondiente componente astigmático objetivo puede ser 0,3. También son posibles otros valores y pueden expresar que ambas mediciones poseen esta misma inexactitud aleatoria (ambos pesos 0,5) o que los componentes astigmáticos determinados de manera subjetiva poseen una menor inexactitud aleatoria (por ejemplo peso objetivo: 0,7, peso subjetivo: 0,3).

- 10 Preferiblemente las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda medición son determinadas o cuantificadas para la misma distancia del objeto, como por ejemplo distancia infinita del objeto. Además, las inexactitudes de medición o desviaciones de medición preferiblemente son determinadas o cuantificadas para una distancia idéntica al ojo para todos los datos. El procedimiento puede comprender de manera correspondiente conversiones de valores brutos de refracción objetiva y/o subjetiva a una distancia común al ojo o a un plano o
- 15 superficie común, en donde la distancia puede ser por ejemplo la distancia del vértice de la córnea o de la pupila de entrada del ojo.

Además, preferiblemente las inexactitudes de medición o las desviaciones de medición de la primera y de la segunda medición son determinadas o cuantificadas separadamente para diferentes aparatos, para determinar valores de refracción objetiva.

- 20 El procedimiento anterior puede ser ejecutado mediante un dispositivo diseñado de manera correspondiente. El dispositivo puede comprender un dispositivo de cálculo o de procesamiento de datos (en particular un ordenador o sistema de ordenador), que es programado para ejecutar el procedimiento y en particular para calcular el valor estimado. Además, el dispositivo puede exhibir interfaces adecuadas, que hacen posible una transmisión o ingreso o lectura de valores medidos de una primera y una segunda medición. Así mismo, el dispositivo puede comprender una
- 25 unidad de almacenamiento, que almacena (por ejemplo en forma tabular o en forma de un modelo) el valor medido de la primera y de la segunda medición y, dado el caso, inexactitudes de medición o desviaciones de medición determinadas anteriormente.

- El dispositivo para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas puede comprender además al menos un dispositivo de medición de un primer tipo para ejecutar la primera medición, en particular un dispositivo de
- 30 medición para ejecutar una medición de refracción objetiva. Preferiblemente el dispositivo de cálculo está diseñado, como se describió anteriormente, para compensar al menos parcialmente las desviaciones sistemáticas del valor medido obtenido con el dispositivo de medición para ejecutar una medición de refracción objetiva (dispositivo de medición objetiva) del valor medido obtenido con una medición subjetiva.

- El dispositivo puede comprender además un segundo dispositivo de medición de un segundo tipo para ejecutar la
- 35 segunda medición, en particular un dispositivo de medición para ejecutar una medición de refracción subjetiva.

- El procedimiento para determinar el error de refracción de un usuario de gafas puede ser componente de un procedimiento para ordenar y/o fabricar un lente para gafas. De acuerdo con ello, el dispositivo para determinar el error de refracción de un usuario de gafas puede ser componente de un dispositivo para ordenar y/o fabricar un lente para gafas. El procedimiento para ordenar y/o fabricar un lente para gafas puede comprender además el establecer
- 40 un efecto esperado del lente para gafas, en virtud del error de refracción determinado. El efecto esperado del lente para gafas es establecido de modo que el error de refracción determinado en al menos un punto de referencia del lente para gafas (como por ejemplo en el punto de referencia remoto o en el punto de referencia de prisma o en la cruz de centro y opcionalmente en el punto de referencia próximo) es corregido al menos parcialmente, preferiblemente esencialmente. El procedimiento puede comprender además el cálculo y manufactura del lente para gafas, en donde
- 45 el lente para gafas es calculado y manufacturado de modo que su efecto en el al menos un punto de referencia es esencialmente igual al efecto esperado. Preferiblemente, el cálculo ocurre en una posición de uso determinada previamente de modo individual para el usuario de gafas o una posición promedio de uso. La posición de uso puede ser caracterizada mediante parámetros como distancia del vértice de la córnea, distancia del punto de giro de los ojos, inclinación frontal, ángulo del lente, distancia de las pupilas, diámetro de la pupila, etc..

- Otro aspecto de la invención se refiere a un lente para gafas o un conjunto de un lente para gafas y una especificación del error de refracción, que debería corregir el lente para gafas, en donde el lente para gafas puede ser fabricado de acuerdo con el procedimiento anterior. así mismo, se propone una serie de lentes para gafas o conjuntos de lentes para gafas con especificaciones asignadas al error de refracción. La especificación del error de refracción, que debiera ser corregido mediante un lente para gafas determinado, puede ser considerada como componente del lente para
- 50 gafas.
- 55

El lente para gafas exhibe un primer efecto P_A en un punto de referencia del lente para gafas. El punto de referencia puede ser por ejemplo el punto de referencia remoto, el punto de referencia de prisma, el centro de cruz, el punto de

referencia próximo u otro punto de referencia adecuado. El efecto puede exhibir, como se describió anteriormente, varios componentes, como por ejemplo un componente esférico y/o uno astigmático.

5 El error de refracción (qué puede ser componente de la especificación para el lente para gafas) puede ser caracterizado mediante un primer valor P_A1 medido y un segundo valor P_A2 medido, en donde los valores medidos pueden comprender varios componentes (como por ejemplo un componente esférico, uno astigmático, etc.). Los componentes del valor medido del error de refracción corresponden en general a los componentes del efecto en el punto de referencia del lente para gafas.

10 El primer valor P_A1 medido y el segundo valor P_A2 medido son obtenidos mediante diferentes mediciones. En particular el primer valor P_A1 medido es obtenido mediante un dispositivo de medición del primer tipo para la medición del error de refracción y el segundo valor P_A2 medido es obtenido mediante un dispositivo de medición del segundo tipo para la medición del error de refracción. Por regla general, el primer valor P_A1 medido y el segundo valor P_A2 medido se diferencian en al menos un componente X.

15 El componente X del efecto P_A presente en el punto de referencia del lente para gafas está más cerca del componente X del valor medido bajo los valores P_A1 o P_A2 medidos, que es obtenido por el dispositivo de medición con la inexactitud más baja durante la medición del componente X. Como se presentó anteriormente, los componentes de los valores P_A1 y P_A2 medidos pueden ser componentes de una representación de frente de ondas del error de refracción, de su combinación lineal o magnitudes derivadas de ella. Preferiblemente, los componentes X del efecto P_A presente en el punto de referencia del primer lente para gafas y los componentes X del primer valor medido del primer ojo P_A1, son esencialmente iguales.

20 El lente para gafas puede ser un lente de visión simple para gafas (con o sin efecto astigmático) o un lente progresivo para gafas.

Los lentes anteriores para gafas pueden formar una serie de lentes para gafas con diferentes efectos en el al menos un punto de referencia, en donde los lentes para gafas corrigen diferentes errores de refracción. Una serie tal puede comprender por ejemplo al menos tres lentes para gafas con diferentes efectos en el punto de referencia:

25 un primer lente A para gafas para corregir un primer error de refracción,
un segundo lente B para gafas para corregir un segundo error de refracción; y
un tercer lente C para gafas para corregir un tercer error de refracción.

30 Los primero, segundo y tercer errores de refracción pueden ser caracterizados en cada caso mediante dos diferentes valores medidos, en donde los dos valores medidos son obtenidos mediante diferentes dispositivos de medición para la medición del error de refracción. El dispositivo de medición o dispositivos de medición del primer tipo (primer(os) dispositivo(s) de medición) puede(n) ser un dispositivo de medición o dispositivos de medición para la medición de la refracción subjetiva. El dispositivo de medición o dispositivos de medición segundo tipo (segundo(s) dispositivo(s) de medición) puede(n) ser un dispositivo de medición o dispositivos de medición para la medición de la refracción objetiva. Cada valor medido puede comprender varios componentes (por ejemplo un componente esférico, uno astigmático, etc.). Los valores medidos obtenidos con el o los primero(s) dispositivo(s) de medición se diferencian de los valores medidos obtenidos con el o los segundo(s) dispositivo(s) de medición, en al menos un componente.

40 En el al menos un punto de referencia, el lente A para gafas exhibe un primer efecto P_A, el lente B para gafas exhibe un segundo efecto P_B y el lente C para gafas exhibe un tercer efecto P_C. El primer error de refracción se caracteriza por un primer valor P_A1 medido y un segundo valor P_A2 medido. El segundo error de refracción se caracteriza por un primer valor P_B1 medido y un segundo valor P_B2 medido. El tercer error de refracción se caracteriza por un primer valor P_C1 medido y un segundo valor P_C2 medido.

45 El primer punto de referencia puede ser el punto de referencia remoto, el punto de referencia de prisma, el punto de centro o el centro de cruz, el punto de referencia próximo o u otro punto de referencia adecuado. El primer punto de referencia puede ser marcado o caracterizado mediante una marcación permanente o no permanente en el o en los lente(s) para gafas.

50 Los primeros valores P_A1, P_B1 y P_C1 determinados medidos con el o los dispositivo(s) de medición del primer tipo son idénticos en términos de los componentes. Los componentes X de los segundos valores P_A2, P_B2 y P_C2 medidos determinados con el o los dispositivos de medición del segundo tipo son todos diferentes en términos de pares. El componente X del primer efecto P_A y el componente X del primer valor P_A1 medido son casi idénticos. Para el componente X del efecto del i-ésimo lente para gafas presente en el punto de referencia, X_i, en donde i = A, B o C, y para el componente X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_i2, son válidas preferiblemente las siguientes correlaciones:

$$(X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) \text{ diferente de } (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2});$$

55
$$\text{abs}(X_{B2} - X_{A2}) < \text{abs}(X_{C2} - X_{A2});$$

y

$$\text{signo} (X_{B2} - X_{A2}) = \text{signo} (X_{C2} - X_{A2}),$$

- 5 en donde la función $\text{abs}(x)$ indica el valor absoluto del argumento x y la función $\text{signo}(x)$ es la función signo algebraico, que asigna su signo algebraico al argumento x .

Los lentes para gafas pueden ser lentes de visión simple para gafas ($A_d = 0$ Dpt) o lentes progresivos para gafas (lentes progresivos) ($A_d \neq 0$ Dpt), en donde todos los lentes progresivos para gafas en la serie exhiben estas mismas adiciones.

- 10 Preferiblemente, para lentes de visión simple para gafas y lentes progresivos que tienen esta misma adición A_d con una adición $A_d \leq 1,5$, opcionalmente $1,25$ Dpt, son válidas las siguientes correlaciones para los componentes X del efecto del i -ésimo lente para gafas presente en el punto de referencia, X_i , y para los componentes X del segundo valor medido del i -ésimo ojo, X_{i2} :

$$\begin{aligned} (X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) < (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso } X_{B2} - X_{A2} > 0, \\ \text{de que } X_{C2} - X_{A2} > 0, \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned} (X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso } X_{B2} - X_{A2} < 0, \\ \text{de que } X_{C2} - X_{A2} < 0. \end{aligned}$$

15

Preferiblemente para lentes progresivos con una adición $A_d \geq 2$ Dpt son válidas las siguientes correlaciones para los componentes X del efecto del i -ésimo lente para gafas presente en el punto de referencia, X_i , y para los componentes X del segundo valor medido de i -ésimo ojo, X_{i2} :

$$\begin{aligned} (X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso } X_{B2} - X_{A2} > 0, \\ \text{de que } X_{C2} - X_{A2} > 0, \end{aligned}$$

20

y

$$\begin{aligned} (X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso } X_{B2} - X_{A2} < 0, \\ \text{de que } X_{C2} - X_{A2} < 0. \end{aligned}$$

El componente X puede ser por ejemplo el equivalente esférico.

- 25 La serie de lentes para gafas puede comprender un cuarto lente D para gafas para corregir un cuarto error de refracción y un quinto lente E para gafas para corregir un quinto error de refracción. El lente D para gafas exhibe en el punto de referencia un cuarto efecto P_D . El lente E para gafas exhibe en el punto de referencia un quinto efecto P_E . El cuarto error de refracción está caracterizado por al menos un primer valor P_{D1} medido y un segundo valor P_{D2} medido.

El quinto error de refracción está caracterizado por al menos un primer valor P_{E1} medido y un segundo valor P_{E2} medido.

- 30 Los valores P_{D1} y P_{E1} medidos son obtenidos mediante el o los dispositivo(s) de medición del primer tipo para la medición del error de refracción. Los valores P_{D2} y P_{E2} medidos son obtenidos mediante el o los dispositivos de medición del segundo tipo para la medición del error de refracción.

- 35 Los valores P_{D1} , P_{D2} , P_{E1} y P_{E2} medidos consisten en cada caso preferiblemente en varios componentes. El primer valor P_{D1} medido y el segundo valor P_{D2} medido pueden diferenciarse en al menos un componente X . Así mismo, el primer valor P_{E1} medido y el segundo valor P_{E2} medido pueden diferenciarse en al menos un componente X .

Además, preferiblemente se satisfacen las siguientes condiciones:

- 40 los valores P_{A1} , P_{D1} y P_{E1} son idénticos en términos de componentes:
los componentes X de los segundos valores P_{A2} , P_{D2} y P_{E2} medidos determinados con los dispositivos de medición del segundo tipo, de los primeros, cuarto y quinto ojos se diferencian todos en términos de pares,
el componente X del primer efecto P_A presente en el punto de referencia del primer lente para gafas y el componente X del primer valor medido del primer ojo, P_{A1} , son casi idénticos, y

para los componentes X del i-ésimo lente para gafas presente en el punto de referencia, X_{i1} , y para los componentes X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_{i2} , son válidas las siguientes correlaciones:

$$X_{D2} - X_{A2} > 0,$$

$$X_{E2} - X_{A2} < 0,$$

$$X_D - X_A > 0$$

y

$$X_E - X_A < 0.$$

La serie puede comprender también otros lentes con diferente efecto, para corregir diferentes errores de refracción.

A continuación se describen a modo de ejemplo formas preferidas de realización de la presente invención mediante figuras acompañantes. Los elementos individuales de las formas de realización descritas no son limitantes para la respectiva forma de realización. Más bien, elementos de las formas de realización pueden ser combinados mutuamente de cualquier manera y mediante ello pueden prepararse nuevas formas de realización. Se muestra(n):

Figura 1, las desviaciones sistemáticas de frentes de ondas objetivos y subjetivos para dos aberrómetros diferentes (modelo 1);

Figura 2, desviaciones sistemáticas de frentes de ondas objetivos y subjetivos para dos aberrómetros diferentes (modelo 2);

Figura 3, los pesos del equivalente esférico subjetivo g_{sub} de acuerdo con un primer ejemplo;

Figura 4, los pesos del equivalente esférico subjetivo g_{sub} de acuerdo con un tercer segundo ejemplo (Fig. 4A) y un tercer ejemplo (Fig. 4B);

Figura 5, el cambio del valor estimado del error de refracción obtenido de acuerdo con dos procedimientos diferentes para un primer aberrómetro, como diferencia de los valores que son obtenidos de acuerdo con los procedimientos diferentes;

Figura 6, el cambio del valor estimado del error de refracción obtenido de acuerdo con dos procedimientos diferentes para un segundo aberrómetro, como diferencia de los valores que son obtenidos de acuerdo con los dos procedimientos diferentes;

Figuras 7 a 10, lentes ejemplares para gafas;

Figuras 11 a 19, la diferencia entre un valor estimado del equivalente esférico y un equivalente esférico subjetivo medido, como función de la diferencia entre un equivalente esférico objetivo medido y un equivalente esférico subjetivo medido, para diferentes adiciones.

En el marco de la presente solicitud se hace referencia a la siguiente terminología especializada:

La medición del error de refracción de un ojo comprende en particular una determinación de refracción subjetiva, una determinación de refracción objetiva (por ejemplo con un refractómetro o autorrefractómetro) o una medición de frente de ondas. La determinación de refracción objetiva o la medición de frente de ondas son ejemplos de una refracción objetiva.

Se entiende por una representación de frente de ondas, una parametrización de un frente de ondas bidimensional en el espacio tridimensional. Entre ellas se cuentan en particular las siguientes parametrizaciones:

representación polar (con los componentes esfera, cilindro y eje), representación de matriz de curvatura, representación de vector de potencia (con los componentes M, J0 y J45), representación de vector de Harris, solución de polinomio de Zernike (los componentes son en este caso los coeficientes de Zernike).

Se entiende por una refracción objetiva, una determinación o el valor medido del error de refracción de un ojo obtenido mediante la determinación, en donde la persona investigada con un aparato de medición usado durante la refracción objetiva, no tiene que evaluar la calidad de visión de la imagen considerada. Las refracciones objetivas o valores medidos objetivos pueden ser medidos por ejemplo con ayuda de escáneres de frentes de ondas o autorrefractómetros.

Se entiende por una refracción subjetiva la determinación o el valor medido del error de refracción de un ojo, en donde la persona que tiene refracción tiene que evaluar la calidad de visión de la imagen en consideración o tiene que resolver una tarea de visión, por ejemplo el reconocimiento de optotipos, y tiene que comunicar la solución. Las

refracciones subjetivas pueden ser usadas por ejemplo por expertos con ayuda de gafas de refracción, en las cuales se colocan lentes de refracción, o con ayuda de forópteros. Una refracción subjetiva también puede comprender un suplemento de cercanía subjetivo determinado, la denominada adición.

5 El punto de referencia es el punto de perspectiva de un lente para gafas, en el cual se especifica el efecto del lente para gafas, mediante la posición y orientación del lente para gafas delante del ojo y mediante el error de refracción del ojo, para el cual debiera usarse el lente para gafas. Este puede ser el punto de referencia remoto, el punto de referencia de prisma, el punto de centro, el centro de cruz, el punto de referencia próximo, etc.. Respecto a la definición del punto de referencia, se remite a las normas DIN EN ISO 21987 (en particular los puntos 3.5 a 3.11) y DIN EN ISO 13666 (en particular los puntos 5.12 a 5.17).

10 Respecto a la terminología especializada usada, se remite en particular al documento WO 2009/007136 A1, la publicación de L. Thibos et al., Journal of Vision abril de 2004, vol.4, 9. doi:10.1167/4.4.9 y la publicación Iskander et al., Ophthal. Physiol. Opt. 2007 27:245-255, cuyas correspondientes realizaciones representan a este respecto un componente integral de divulgación de la presente solicitud.

15 Un primer ejemplo se refiere a un procedimiento para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas, que comprende:

suministrar valores medidos de una primera y de una segunda mediciones del error de refracción del ojo del usuario de gafas;
calcular un estimado o un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, mediante el valor medido de la primera y de la segunda mediciones, en donde para el cálculo del valor estimado del error de refracción se consideran inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera y de la segunda mediciones del error de refracción.

Si se conocen varias mediciones del error de refracción de un ojo, entonces pueden ser usadas de acuerdo con un ejemplo de la invención, en función de sus inexactitudes de medición, para calcular un estimado del error de refracción. Al respecto, preferiblemente el estimador está más cerca de la medición que tiene la menor inexactitud de medición.

25 Básicamente pueden diferenciarse en primera instancia dos tipos de la inexactitud de medición: se conoce que existen desviaciones sistemáticas que no se modifican por la repetición de una medición. Así mismo, se sabe que existen desviaciones estadísticas o aleatorias del valor medido, que pueden adoptar diferentes valores durante la repetición de una medición y no se dejan predecir.

30 El cálculo del estimador o del valor estimado del error de refracción consiste por ello en considerar las desviaciones sistemáticas de las mediciones durante la determinación del estimador o del valor estimado del error de refracción. En este caso, puede corregirse el valor medido afectado con la desviación sistemática, alrededor de esta desviación sistemática en dirección de la otra medición. Después de ello se calcula el estimador del error de refracción a partir del valor medido corregido de la medición afectada con errores sistemáticos y el valor medido corregido de la medición no afectada por errores sistemáticos, por ejemplo con ayuda de un valor medio, entonces el estimador está más cerca del valor medido no afectado por errores sistemáticos.

35 Otra posibilidad para el cálculo del estimador del error de refracción consiste en considerar las desviaciones aleatorias de las mediciones durante la determinación del estimador del error de refracción. Esto puede ocurrir preferiblemente con ayuda de un valor medio ponderado. Al respecto, se eligen los pesos preferiblemente de modo que la medición menos inexacta obtiene el mayor peso. De este modo, para magnitudes con distribución normal pueden elegirse los pesos proporcionalmente a la varianza recíproca de la magnitud medida. En los casos en que no se presente una distribución normal, puede ser necesaria una elección de los pesos en virtud de la experiencia. La medición menos exacta puede recibir por ejemplo pesos de 0,3, 0,2, 0,1, 0,05, 0,01 o menos, hasta un peso de 0. La medición más exacta puede recibir un peso de 0,7, 0,8, 0,9, 0,95, 0,99 o más, hasta un peso de 1. Si ambas mediciones tienen la misma exactitud, entonces pueden tener en cada caso un peso de 0,5. Los pesos pueden ser elegidos de modo que su suma es 1. En este caso ya no es necesaria la división por la suma de los durante la formación del valor medio ponderado.

40 Puesto que durante la medición del error de refracción pueden ocurrir también desviaciones estadísticas grandes, por ejemplo por acomodación, fluctuaciones del estado de acomodación, opacidad de los lentes, agudeza de visión pero también otras magnitudes, puede ser ventajoso elegir los pesos en función de la diferencia del valor medido del error de refracción. Por ejemplo como para personas que escasamente pueden acomodar y por ello se les ha prescrito una adición de 1,75 Dpt, 2,0 Dpt, 2,25 Dpt, 2,5 Dpt o más, deberían diferenciarse escasamente los valores subjetivo y objetivo medidos del equivalente esférico. Si se presenta una pequeña diferencia, entonces pueden adicionarse en forma ponderada los equivalentes esféricos de las mediciones subjetiva y objetiva, en donde tienen sentido posibles pesos del equivalente esférico subjetivo y objetivo entre 0,3 y 0,7. Sin embargo, si la diferencia es mayor, entonces es mejor confiar en la refracción subjetiva, puesto que durante la refracción subjetiva la persona ya podría hacerse una imagen de la calidad de visión a través de un lente así. En este caso, para la refracción subjetiva se eligen pesos mayores (por ejemplo 0,8, 0,9, 0,95, 0,99, o más, o incluso 1).

Para personas con presbicia, que aún pueden acomodar relativamente mucho, es decir personas a las que se ha prescrito una adición de 1,5 dpt, 1,25 Dpt, 1,0 Dpt, 0,75 Dpt, 0,5 Dpt o menor, o también personas que no tienen presbicia, es decir tienen efectivamente una adición de 0, puede ocurrir por ejemplo miopía de dispositivo reforzada. En este caso para un menor equivalente esférico de la refracción objetiva más miope, en comparación con el equivalente esférico de la refracción subjetiva, este último es ponderado, por ejemplo con pesos de 0,3, 0,2, 0,1, 0,05, 0,01 o menos hasta un peso de 0. Sin embargo, si los equivalentes esféricos de la refracción subjetiva son similares, se ofrece elegir una ponderación como la de personas con presbicia, con mayores adiciones. Si el equivalente esférico subjetivo es más miope que el equivalente esférico objetivo, por ejemplo alrededor de 0,5 Dpt, la persona podría acomodar a la refracción subjetiva. Típicamente, en este caso tendría que elegirse de nuevo un menor peso para el equivalente esférico subjetivo, puesto que sin embargo para la refracción objetiva puede ocurrir frecuentemente miopía de dispositivo, puede elegirse el peso del equivalente esférico subjetivo también ligeramente mayor, por ejemplo entre 0,4 y 0,6.

En la práctica ocurren desviaciones sistemáticas y también aleatorias de valores medidos del error de refracción. En este caso, preferiblemente se corrigen en primera instancia las desviaciones sistemáticas, y después de ello se combinan los valores medidos corregidos, de manera ponderada mediante la seguridad estadística de medición.

También en este caso el estimador calculado de este modo o valor estimado del error de refracción está más cerca del valor medido, cuya inexactitud de medición es menor.

Un procedimiento ejemplar para determinar un error de refracción de un usuario de gafas comprende los siguientes pasos:

- 1) ajuste de las refracciones subjetivas y/u objetivas, para eliminar diferencias sistemáticas de ambos procedimientos de medición;
- 2) combinación de las refracciones así ajustadas mutuamente mediante la formación de un valor medio ponderado.

Paso 1 - Ajuste de refracciones subjetivas y objetivas

Quantificación de las diferencias sistemáticas entre refracciones subjetiva y objetiva

Para ajustar mutuamente las refracciones subjetiva y objetiva, o compensar las diferencias sistemáticas entre refracciones subjetiva y objetiva, primero se cuantifican éstas. Para ello, en primera instancia tiene que estar presente y ser procesado un conjunto de datos suficientemente grande, como se describe a continuación.

Las diferencias sistemáticas entre refracciones subjetiva y objetiva son cuantificadas preferiblemente para la distancia infinita del objeto, es decir, para la denominada prescripción remota, da diese puesto que respecto al equivalente esférico ésta es esencialmente más exacta que la refracción próxima.

Además, típicamente se diferencian las diferencias sistemáticas para diferentes modelos de aparato (por ejemplo modelos de aberrómetro) de diferentes fabricantes. Por ello, es ventajoso considerar la información sobre el modelo de aparato, ya durante la adquisición de los datos y ejecutar separadamente la determinación de las diferencias sistemáticas para cada modelo de aberrómetro.

Para calcular una refracción objetiva a partir del frente de ondas medido con un aparato (como por ejemplo un aberrómetro, un escáner de frente de ondas, etc.), se determina, preferiblemente mediante una denominada métrica, el frente de ondas de segundo orden. por ejemplo en L. Thibos et al., Journal of Vision abril de 2004, vol.4, 9. doi:10.1167/4.4.9 se describen métricas posibles. Sin embargo son imaginables, y conocidas por un experto, también otras métricas.

Los datos de refracción objetiva pueden ser calculados por ejemplo con ayuda de la métrica de Iskander et al. (Iskander et al., Ophthal. Physiol. Opt. 2007 27:245-255) a partir de los frentes de ondas hasta el 7º orden radial, después de lo cual se elevaría la escala del frente de ondas de Zernike centralmente en la pupila fotópica, que sería medida con la medición de topografía del aparato usado (como por ejemplo aberrómetro).

Es ventajoso conocer el diámetro de la pupila para el cual se ejecuta la refracción subjetiva, en donde esto puede ocurrir por medición directa, estimación a partir de otros parámetros de medición o por estimación en base a la experiencia. Si el diámetro de la pupila es conocido, entonces puede elevarse la escala del frente de ondas medido objetivamente, en primera instancia hasta este diámetro de pupila, y después de ello se calcula el vector de potencia correspondiente a la pupila. Así mismo es ventajoso, considerar la posición de la pupila durante la elevación de la escala del frente de ondas, el caso de que ésta sea diferente para la medición del frente de ondas y de la refracción subjetiva.

Si para la refracción subjetiva es desconocido el diámetro de la pupila, entonces puede ser determinado, como valor estimado, por ejemplo a partir de la potencia de iluminación que incide sobre el ojo durante la refracción subjetiva y - en caso de estar presentes - también de otras magnitudes como el diámetro de pupila determinado más grande (para iluminación más débil) y más pequeño (para iluminación más fuerte) de la persona de la refracción.

Las refracciones subjetiva y objetiva son comparadas preferiblemente para una distancia al ojo idéntica para todos los datos. Esta distancia puede ser cualquiera. Sin embargo ha probado ser ventajoso, convertir la refracción subjetiva en primera instancia a la distancia al ojo en la cual se encuentran también los frentes de ondas medidos, respecto al aberrómetro, escáner de frente de ondas, etc.. De esta manera se ahorra la propagación compleja de los frentes de onda objetivos que contienen frecuentemente aberraciones de orden superior. Son distancias al ojo útiles posibles por ejemplo el vértice de la córnea o la pupila de entrada. Los datos representados en las figuras están indicados para frentes de ondas o refracciones en el vértice de la córnea.

En principio también es posible sin embargo convertir la refracción objetiva a otra distancia del ojo, en donde también tienen que propagarse correctamente frentes de ondas que contienen aberración(es) de orden superior.

Para poder analizar tantos datos como sea posible con un modelo único, pueden reflejarse verticalmente tanto refracciones subjetivas como también objetivas de los ojos izquierdos. Si se usan vectores de potencia, entonces para ello tiene que invertirse el signo algebraico del componente J_{45} del vector de potencia. Puesto que las distribuciones de las aberraciones de orden superior de los ojos izquierdo y derecho tienen simetría especular, de esta manera pueden analizarse juntas las refracciones de los ojos derechos y de los ojos izquierdos reflejados.

Sin embargo, también puede ser ventajoso no realizar esta reflexión, por ejemplo si el aberrómetro no mide correctamente un frente de ondas reflejado. En este caso se evalúan y se realizan separadamente las correcciones para ojos izquierdos y derechos.

Así mismo, para la cuantificación de las diferencias sistemáticas entre la refracciones subjetiva y objetiva es ventajoso evaluar sólo la parte de los conjuntos de datos, que no tiene o tiene solo pocos artefactos. Son artefactos posibles por ejemplo miopía de dispositivos o enfermedades de los ojos debidas a la edad. De este modo, puede usarse por ejemplo sólo la parte de los datos, en la cual se diferencia solo poco la adición prescrita de la distancia recíproca del objeto para la refracción próxima, es decir, no se permite que la magnitud de la diferencia de adición y distancia recíproca del objeto (para la convención de signo algebraico positivo) sea mayor que un valor umbral predeterminado. El valor umbral puede ser por ejemplo 0 Dpt, 0,25 Dpt o 0,5 Dpt. Esto reduce el número y la extensión de la miopía de dispositivo en el conjunto de datos.

Otra limitación es la agudeza visual a una altura, que evita artefactos por refracción de personas con ambliopía u otras anomalías de la visión central. De este modo, puede usarse solo la parte de los datos en la cual la agudeza visual es mayor que un valor umbral predeterminado. En este caso los límites posibles son por ejemplo 1,25 o 1,6 o más para una agudeza visual decimal monocular. Preferiblemente esta condición satisface a ambos ojos.

Así mismo, es ventajoso usar sólo datos de personas con refracción, que para la refracción subjetiva usan lentes de refracción con resolución suficientemente elevada (por ejemplo 0,25 Dpt o preferiblemente 0,125 Dpt para lentes esféricos de refracción, y 0,5 Dpt o aún mejor 0,25 Dpt para lentes cilíndricos). Esto puede ser determinado a partir de la distribución de los pedidos de lentes de la respectiva persona con refracción.

Para ajustar los datos se establece en primera instancia preferiblemente un modelo de la refracción subjetiva, con el cual puede calcularse una refracción predicha a partir de la refracción objetiva medida y dado el caso otras magnitudes de medición, y con las cuales pueden cuantificarse estadísticamente desviaciones de la refracción subjetiva verdadera medida, respecto a la refracción objetiva predicha. Este modelo es ajustado a los datos en un en un paso subsiguiente.

Es ventajoso realizar el ajuste del modelo a la refracción subjetiva en el espacio de vector de potencia (véase L. Thibos et al.: Power Vectors: An Application of Fourier Analysis to the Description and Statistical Analysis of Refractive Error, Optometry and Vision Science 74, 6, 367-375), y para ello indicar las refracciones subjetiva y objetiva medidas y que se diferencian sistemáticamente, como vectores de potencia de la refracción subjetiva $\vec{P}_{sub} = (\vec{M}_{sub}, \vec{J}_{0sub}, \vec{J}_{45sub})$

y la refracción objetiva $\vec{P}_{obj} = (\vec{M}_{obj}, \vec{J}_{0obj}, \vec{J}_{45obj})$. La tilde en la notación se refiere al respecto a los datos no corregidos (brutos) en el conjunto de datos.

En el marco del modelo, la refracción subjetiva verdadera medida es descrita en virtud de la refracción predicha, $P_{pred} = (M_{pred}, J_{0pred}, J_{45pred})$, y de las variables ϵ_M , ϵ_{J0} y ϵ_{J45} aleatorias, en donde estas últimas modelan tanto la inexactitud de medición del aparato como también la persona que tiene refracción:

$$\begin{aligned}\vec{M}_{sub} &= M_{pred} + \epsilon_M \\ \vec{J}_{0sub} &= J_{0pred} + \epsilon_{J0} \\ \vec{J}_{45sub} &= J_{45pred} + \epsilon_{J45}.\end{aligned}\tag{1}$$

Como forma abreviada para este sistema de ecuaciones en lo sucesivo se usa

$$\tilde{P}_{sub} = P_{pred}[\tilde{P}_{obj}, \dots] + \varepsilon \quad (1a)$$

en donde ε es el vector de potencia ($\varepsilon_M, \varepsilon_{J0}, \varepsilon_{J45}$). La ecuación 1a es válida para cada medición del conjunto de datos, de modo que para la i -ésima medición puede escribirse

$$\tilde{P}_{sub}^i = P_{pred}[\tilde{P}_{obj}^i, \dots] + \varepsilon^i \quad (1b)$$

El vector de potencia de la refracción P_{pred} predicha depende de la refracción objetiva. Dado el caso, puede depender también de magnitudes adicionales, como por ejemplo de la refracción subjetiva, o por ejemplo de diámetros de pupila u otras magnitudes de medición, que surgen durante una refracción o una medición objetiva (por ejemplo una medición con aberrómetro).

Un criterio en virtud del cual puede ajustarse el modelo a los datos, es la maximización de la (densidad) de probabilidad de las magnitudes $\varepsilon_M, \varepsilon_{J0}$ y ε_{J45} aleatorias en el espacio de parámetro del modelo para el conjunto de datos usados, que es nombrado en lo sucesivo también "*Fit*". Los procedimientos adecuados son por ejemplo procedimientos de "*maximum Likelihood*", que para generar la probabilidad del conjunto de datos que va a ajustarse, maximizan la denominada *Likelihood*. en los modelos divulgados en el presente documento, la *Likelihood* está dada por la siguiente ecuación

$$\text{prob}(\{\varepsilon_X\}; \text{Parámetro}) = \prod_i \text{prob}(\varepsilon_X^i; \text{Parámetro}), \quad (2)$$

en donde $\text{prob}(\{\varepsilon_X\}; \text{parámetro})$ es la densidad de probabilidad de la totalidad del conjunto de datos para los parámetros presentes del modelo, y $\text{prob}(\varepsilon_X^i; \text{Parámetro})$ es la densidad de probabilidad de una medición i individual del conjunto de datos.

Como una alternativa posible para el procedimiento de *Maximum Likelihood* puede usarse el procedimiento de los mínimos cuadrados, que puede ser visto también como equivalente al procedimiento de "*maximum likelihood*" con una *Likelihood* con distribución normal. En los modelos puede además también incorporarse conocimiento previo sobre los parámetros usados, lo cual es posible en el sentido del análisis de datos de Bayes.

La variable ε_X aleatoria de la inexactitud de medición del componente X de vector de potencia (en donde X representa M, J_0 o J_{45}) puede ser descrita por ejemplo mediante una superposición de una distribución uniforme, denominada también distribución igual, (por ejemplo en el intervalo -20 a $+20$ Dpt o en otro intervalo adecuado de efecto) y una distribución de Voigt con la amplitud σ^X de Gauss (como desviación estándar) y la amplitud γ^X de Lorentz (como amplitud de medio valor). La distribución uniforme puede describir "valores atípicos" grandes en los datos, que ocurren

con la probabilidad p_0^X . La distribución de Voigt que ocurre con la probabilidad $1 - p_0^X$, describe una medición exitosa, que sin embargo puede generar también valores atípicos. En suma, las variables ε_X aleatorias pueden estar distribuidas por consiguiente de la siguiente manera:

$$\text{prob}(\varepsilon_X^i; \text{Parámetro}) = \text{prob}(\varepsilon_X^i; p_0^X, \sigma^X, \gamma^X) = p_0^X \text{unif}(\varepsilon_X^i; \min = -20, \max = 20) + (1 - p_0^X) \text{Voigt}(\varepsilon_X^i; \sigma^X, \gamma^X). \quad (3)$$

Alternativamente a la distribución de Voigt puede elegirse también la distribución normal, con la cual sin embargo se alcanzan peores resultados. Sobre todo es importante el término con la distribución uniforme, puesto que está en capacidad de capturar valores atípicos grandes.

Para calcular la refracción predicha pueden usarse por ejemplo como magnitudes de entrada solo los componentes de vector de potencia de la refracción objetiva. Al respecto, el cálculo puede tener lugar mediante una función parametrizable cualquiera, como por ejemplo con ayuda de polinomios. Un modelo ejemplar es el modelo descrito mediante el sistema (2) hoja de ecuaciones (**modelo 1**):

$$\begin{aligned}
 M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}) &= \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{f0,1}^M \tilde{f0}_{obj} + a_{f45,1}^M \tilde{f45}_{obj} \\
 J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}) &= a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{f0,i}^{J0} \tilde{f0}_{obj}^i + a_{f45,1}^{J0} \tilde{f45}_{obj} \\
 J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}) &= a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{f0,1}^{J45} \tilde{f45}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{f45,i}^{J45} \tilde{f45}_{obj}^i
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Al respecto, los parámetros $a_{X,i}^Y$ del modelo para el *Fit* son el componente Y de vector de potencia de la refracción subjetiva, que interactúan con los componentes objetivos del vector X de potencia de la refracción objetiva. En este caso Y representa M_{pred} , $J0_{pred}$ o $J45_{pred}$ y X representa $\tilde{M}_{obj}$, $\tilde{f0}_{obj}$, $\tilde{f45}_{obj}$.

- 5 Los componentes individuales de vector de potencia M_{pred} , $J0_{pred}$ o $J45_{pred}$ de la refracción predicha son preferiblemente funciones de todos los tres componentes del vector de potencia de la refracción objetiva (bruta) medida.

10 En un modelo alternativo, adicionalmente se usa todavía la información de los componentes no ajustados del vector subjetivo de potencia, para calcular la refracción predicha. Al respecto, el cálculo puede tener lugar mediante una función parametrizable cualquiera, como por ejemplo con ayuda de polinomios. un modelo ejemplar es el modelo descrito mediante el sistema (3) de ecuaciones (5):

$$\begin{aligned}
 M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub}) &= \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{f0,1}^M \tilde{f0}_{obj} + a_{f45,1}^M \tilde{f45}_{obj} + b_{f0,1}^M \tilde{f0}_{sub} + b_{f45,1}^M \tilde{f45}_{sub} \\
 J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub}) &= a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{f0,i}^{J0} \tilde{f0}_{obj}^i + a_{f45,1}^{J0} \tilde{f45}_{obj} + b_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{sub} + b_{f45,1}^{J0} \tilde{f45}_{sub} \\
 J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub}) &= a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{f0,1}^{J45} \tilde{f45}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{f45,i}^{J45} \tilde{f45}_{obj}^i + b_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{sub} + b_{f0,1}^{J45} \tilde{f0}_{sub}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

- 15 Mediante la interacción posible de componentes subjetivo y objetivo de vector de potencia pueden modelarse o considerarse también errores durante la determinación de refracción subjetiva. De este modo pueden modelarse errores que surgen en la práctica de la refracción, como por ejemplo el cambio del cilindro por esfera permanente, que pueden surgir de la falta de resolución en los lentes de refracción o de falta de conocimiento del oftalmólogo.

20 Alternativamente al modelo de "*maximum Likelihood*" descrito anteriormente, pueden calcularse también por ejemplo estimadores de la refracción subjetiva como la mediana corriente del vector de potencia de la refracción subjetiva. Una descripción parametrizable del vector de potencia predicho, como por ejemplo mediante los sistemas 2 o 3 de ecuaciones, puede ser ajustada mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados al estimador calculado de la refracción subjetiva. Naturalmente, pueden usarse también otros estimadores diferentes al promedio o la mediana, en tanto sus errores tengan distribución aproximadamente normal, antes de usar el procedimiento de los mínimos cuadrados. Por el contrario, el uso del promedio puro o del ajuste directo de datos con el procedimiento de mínimos cuadrados no es ventajoso debido a posibles valores atípicos en los datos.

30 En las tablas 1 y 2 se representan los ejemplos de los conjuntos de parámetros relevantes para los modelos 1 y 2. Las tablas 1 y 2 muestran los resultados de *Fit* para dos diferentes aberrómetros (aberrómetro 1 y aberrómetro 2). Los parámetros $a_{Y,i}^X$ cuantifican las desviaciones sistemáticas, los otros parámetros cuantifican las incertidumbres de medición del aberrómetro. El símbolo "*" en las tablas 1 y 2 significa que la variable correspondiente es la variable dependiente, que debería ser predicha, por consiguiente no hay parámetros correspondientes. En particular, los

asteriscos se refieren a que no hay parámetros correspondientes, de otro modo la solución de la ecuación 1a sería satisfecha de modo trivial con los parámetros faltantes = 1 y todos los otros =0).

La tabla 1 contiene los resultados de *Fit* del modelo, sin influencia adicional de componentes subjetivos de vector de potencia (modelo 1). La tabla 2 contiene los resultados de *Fit* del modelo con influencia adicional de componentes subjetivos de vector de potencia (modelo 2).

5

Tabla 1

	Aberrómetro 1			Aberrómetro 2		
X	M	J0	J45	M	J0	J45
$\ln(p_0^x)$	-5,988559e+00	-14,683359254	-1,030284e+01	-8,260018e+00	-9,102539677	-1,849467e+01
$\ln(\sigma X)$	-1,473851e+00	-2,260253864	-2,399429e+00	-1,484472e+00	-2,257872473	-2,412253e+00
$\ln(\gamma X)$	-3,708547e+00	-4,014985072	-4,173024e+00	-3,429828e+00	-3,995043504	-4,137689e+00
$a_{X,0}^x$	2,597766e-02	-0,005823866	1,167734e-03	-8,455234e-02	-0,002214542	-1,396330e-03
$a_{M,1}^x$	9,553421e-0 1	0,003854467	3,013793e-04	9,448156e-01	0,003801166	8,891828e-04
$a_{J0,1}^x$	-1,089862e-02	0,884505067	-2,097478e-02	-2,125544e-02	0,880071958	-1,653286e-02
$a_{J45,1}^x$	-2,055721e-02	0,018582216	8,162184e-01	-1,948651e-02	0,012354087	8,022532e-0 1
$a_{X,2}^x$	-7,955925e-03	0,033536394	8,674891e-03	-9,785492e-03	0,029741058	4,053460e-02
$a_{X,3}^x$	-7,773469e-05	0,010410193	4,275422e-02	4,552031e-05	0,016098649	3,814216e-02
$a_{X,4}^x$	7,617699e-05	-0,006240530	-5,976109e-03	1,110717e-04	-0,00325121 1	-1,156952e-02

Tabla 2

	Aberrómetro 1			Aberrómetro 2		
X	M	J0	J45	M	J0	J45
$\ln(p_0^x)$	-1,158685e+01	-23,634670622	-1,801281e+01	-9,917428e+00	-13,824630577	-14,15287304
$\ln(\sigma X)$	-1,478691e+00	-2,255383300	-2,397918e+00	-1,490140e+00	-2,257999967	-2,41899596
$\ln(\gamma X)$	-3,645794e+00	-4,058939935	-4,179863e+00	-3,451811e+00	-4,0312991 12	-4,12621854

	Aberrómetro 1			Aberrómetro 2		
X	M	J0	J45	M	J0	J45
$a_{X,0}^X$	3,849776e-02	-0,005832360	1,195480e-03	-9,787282e-02	-0,010296598	0,00105432
$a_{M,1}^X$	9,530755e-01	0,049540280	7,342407e-04	9,492652e-01	0,057330004	-0,01627960
$a_{J0,1}^X$	2,150168e-01	0,884831027	-3,017279e-02	2,295930e-01	0,878258986	-0,03860188
$a_{J45,1}^X$	-3,884270e-03	-0,004837432	8,160447e-01	-1,549439e-01	0,008366583	0,80318242
$b_{M,1}^X$	*	-0,047771141	-4,900606e-04	*	-0,056451915	0,01814338
$b_{J0,1}^X$	-2,406537e-01	*	1,039228e-02	-2,730474e-01	*	0,02477013
$b_{J45,1}^X$	-8,299017e-03	0,027505589	*	1,467214e-01	0,003420205	*
$a_{X,2}^X$	-8,175954e-03	0,031644005	8,539891e-03	-9,243794e-03	0,032050577	0,03769131
$a_{X,3}^X$	3,245316e-05	0,009592653	4,276131e-02	-2,466715e-05	0,016408827	0,03787041
$a_{X,4}^X$	7,550834e-05	-0,005829236	-5,949418e-03	1,072269e-04	-0,003381591	-0,01119501

Con los modelos así parametrizados pueden corregirse las desviaciones sistemáticas de la refracciones subjetiva y objetiva para diferentes modelos de aparato (como por ejemplo dos modelos diferentes de aberrómetro). El curso de los respectivos componentes X de vector de potencia para componentes $Y \neq X$ de vector objetivos de potencia fijados en 0, es representado en las **figuras 1 y 2**.

Las **figuras 1 y 2** muestran las desviaciones sistemáticas de frentes subjetivo y objetivo de ondas para dos diferentes aberrómetros (aberrómetro 1: línea continua, aberrómetro 2: línea punteada). Cada componente de vector de potencia fue cuantificado con dos modelos diferentes. El modelo 1 (figuras 1A a 1C) no contiene ninguna influencia de la refracción subjetiva, para el modelo 2 (figuras 2A a 2B) está presente la influencia de la refracción subjetiva.

Las **Fig. 1A y 2A** muestra la diferencia entre el valor (M_{sbj} predicho) predicho del equivalente M esférico determinado mediante refracción subjetiva y el valor ($M_{\text{obj_raw}}$) del equivalente esférico medido por refracción objetiva, como función del valor ($M_{\text{obj_raw}}$) del equivalente M esférico medido por refracción objetiva.

Las **Fig. 1B y 2B** muestran la diferencia entre el valor ($J0_{\text{sbj}}$ predicho) predicho del componente $J0$ del vector de potencia de la refracción subjetiva y el valor ($J0_{\text{obj_raw}}$) medido determinado por refracción objetiva del componente $J0$, como función del valor ($J0_{\text{obj_raw}}$) medido del componente $J0$ determinado por refracción objetiva.

Las **Fig. 1C y 2C** muestran la diferencia entre el valor ($J0_{\text{sbj}}$ predicho) predicho del componente $J45$ del vector de potencia de la refracción subjetiva y el valor ($J45_{\text{obj_raw}}$) medido del componente $J0$ determinado mediante refracción objetiva, como función del valor ($J45_{\text{obj_raw}}$) medido del componente $J0$ determinado mediante refracción objetiva.

Con las líneas L1 (modelo 1) y L2 (modelo 2) verticales se caracterizan los intervalos en los cuales se encuentran en el conjunto de datos una densidad suficientemente alta de datos, en este caso aproximadamente de 50 ojos (izquierdos + derechos) por cada dioptría del respectivo componente de vector de potencia.

- 5 Como es evidente a partir de las figuras 1 y 2, para ambos modelos de aberrómetro tanto para el primero como también para el segundo modelo, el equivalente esférico de los hipermetropes es menor en el caso del subjetivo, comparado con el objetivo. Para los miopes es a la inversa, y no muy fuertemente pronunciado. Por consiguiente, en suma para la refracción subjetiva se ve una corrección más débil en términos de la magnitud. Este es el caso también para los componentes astigmáticos de vector de potencia.

Corrección de las desviaciones sistemáticas de la refracción objetiva

- 10 Si se asume que la refracción objetiva es sistemáticamente falsa, por ejemplo mediante el modelo 1 o el modelo 2 puede ajustarse la refracción objetiva en virtud del modelo, en promedio a la refracción subjetiva. Esto ocurre añadiendo la diferencia del vector de potencia entre la refracción subjetiva y la objetiva, ΔP , determinada durante el ajuste del modelo a una multiplicidad de datos, al vector de potencia de la refracción $\tilde{P}_{obj}$ objetiva. Si los datos se ajustasen a un modelo de escrito en el sistema 1 de ecuaciones, entonces es

$$\Delta P[\tilde{P}_{obj}] = P_{pred}[\tilde{P}_{obj}] - \tilde{P}_{obj}. \quad (6)$$

La diferencia entre la refracción subjetiva y la objetiva depende durante el uso del modelo 1, sólo de la refracción objetiva:

$$P_{obj} = \tilde{P}_{obj} + \Delta P[\tilde{P}_{obj}] \quad (7)$$

- 20 Para evitar ir muy lejos con el modelo y con ello una corrección errónea, se prefiere limitar las correcciones ΔP a un intervalo en el cual hay suficientes datos:

$$P_{obj} = \tilde{P}_{obj} + \Delta P[B(\tilde{P}_{obj})] \quad (8)$$

Al respecto, la función $B(\cdot)$ limita el vector $\tilde{P}_{obj}$ de potencia al intervalo en el cual hay suficientes datos. $B(\cdot)$ puede ser implementado por ejemplo como una proyección perpendicular sobre la superficie lateral de una caja simple. Por fuera del intervalo B puede ajustarse el cambio ΔP a un valor constante.

- 25 La tabla 3 muestra posibles fronteras del intervalo de significancia del modelo. El componente X de vector de potencia X es representado por la función $B(\cdot)$ de frontera a $\max(\min(X, \text{Max}_X), \text{Min}_X)$. Las fronteras están determinadas por una densidad de datos de 50 mediciones por dioptría, del respectivo componente de vector de potencia. Dentro del intervalo representado en la tabla 3, el paso 1 corrige relativamente bien la diferencia sistemática. Por fuera del intervalo se mantiene constante el cambio ΔP .

- 30 Alternativamente pueden usarse otros criterios como por ejemplo, referido a la densidad de datos, dividido por el determinante de la matriz de Jacobi de la corrección $\Delta P[\tilde{P}_{obj}]$ respecto al vector objetivo de potencia, es decir densidad de datos / $\det[\partial \Delta P[\tilde{P}_{obj}] / \partial \tilde{P}_{obj}]$.

Tabla 3

	Ejemplo 1			Ejemplo 2		
Componente X de vector de potencia	M / Dpt	J0 / Dpt	J45 / Dpt	M / Dpt	J0 / Dpt	J45 / Dpt
Min_X	-7,04	-1,87	-1,23	-5,72	-1,44	-1,06
Max_X	5,89	2,02	1,31	4,76	1,47	1,19

- 35 Son imaginables también otras funciones de frontera, como por ejemplo la proyección de un punto cualquiera en el intervalo sin o con sólo un pequeño número de datos, en el borde de una superficie de densidad de isoprobabilidad de los datos en el espacio del vector de potencia objetivo no corregido. Es ventajoso si la proyección es ejecutada a lo largo del gradiente de la densidad de probabilidad de los datos. Las líneas de proyección surgen como resultado en este caso por la solución de una ecuación diferencial lineal, y se extienden por el vector de potencia que va a ser proyectado, lo cual representa un problema clásico de valor de inicio. Si la densidad de los datos debiese ser descrita
- 40

por una distribución multidimensional (por ejemplo tridimensional), entonces la solución de la ecuación diferencial puede ocurrir incluso analíticamente. Para otras funciones de densidad de probabilidad puede ser necesaria una solución numérica. Si primero se encuentra una línea de proyección, entonces se ejecuta numéricamente su punto de corte con la superficie de isoprobabilidad relevante para la densidad deseada de datos, con ayuda de una búsqueda unidimensional a lo largo de la línea de proyección.

Son posibles también otros tipos de fronteras de la corrección. Por ejemplo, sería imaginable no mantener constante el cambio ΔP por fuera del intervalo limitado sino dejar cambiar linealmente, dependiendo de la distancia del vector $\tilde{P}_{obj}$ de potencia objetivo no corregido al borde de la frontera. Esto corresponde efectivamente a un modelo definido en piezas, que dentro de la frontera es un polinomio de orden superior, y se extiende linealmente por fuera de la frontera. Al respecto, se elige la transición en la frontera de modo que el modelo es derivable de manera continua respecto a $\tilde{P}_{obj}$.

En el caso más simple no se corrige la refracción subjetiva, y - como se representó anteriormente - se ajusta solo la refracción objetiva de la refracción subjetiva, para compensar la diferencia sistemática cuantificada entre ambos procedimientos de refracción.

Corrección de las desviaciones sistemáticas de la refracción subjetiva

Sin embargo, también es posible ajustar la refracción subjetiva a la refracción objetiva. en este caso, para el cálculo del vector de potencia de una refracción subjetiva corregida, P_{sub} , se sustrae la diferencia sistemática determinada con ayuda del modelo, del vector de potencia de la refracción $\tilde{P}_{sub}$ subjetiva original:

$$P_{sub} = \tilde{P}_{sub} - \Delta P[\tilde{P}_{obj}]. \quad (9)$$

Esto puede ser necesario por ejemplo cuando la diferencia sistemática surge por técnicas de refracción dudosas, por ejemplo por omisión o cambio de la fuerza del lente de refracción de cilindro, sin ajustar la esfera correspondiente a la mitad del cambio de la fuerza del lente de refracción de cilindro, para mantener constante el equivalente esférico.

Corrección de las desviaciones sistemáticas de la refracción objetiva y subjetiva

En general puede ser ventajoso escindir el vector de potencia de la diferencia sistemática entre vectores de potencia subjetivo y objetivo, en dos partes, de las cuales una, ΔP_{obj} , es usada para la corrección del vector de potencia de la refracción objetiva, y la otra, ΔP_{sub} , es usada para la corrección de la refracción subjetiva:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_{sub}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}] + \Delta P_{obj}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}] \\ P_{obj} &= \tilde{P}_{obj} + \Delta P_{obj}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}] \\ P_{sub} &= \tilde{P}_{sub} - \Delta P_{sub}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}]. \end{aligned} \quad (10)$$

Las diferencias ΔP_{obj} y ΔP_{sub} pueden depender al respecto tanto de la refracción objetiva, $\tilde{P}_{obj}$, no corregida como también de la refracción subjetiva, $\tilde{P}_{sub}$ no corregida. al respecto, P_{obj} es la refracción objetiva corregida, y P_{sub} es la refracción subjetiva corregida.

Las partes de la diferencia sistemática pueden ser divididas de manera ventajosa de modo que los términos del modelo, que contienen diferencias de componentes de vector de potencia subjetivo y objetivo no corregidos (por ejemplo términos proporcionales a $\tilde{J}_{sub} - \tilde{J}_{obj}$ o una potencia de ellos, que ocurren en el modelo del equivalente esférico), son usados para la corrección de la refracción subjetiva, puesto que con alta probabilidad se trata del efecto de un procedimiento dudoso de refracción, como el mencionado por ejemplo anteriormente. Los términos remanentes (por ejemplo aquellos que dependen puramente de los componentes del vector de potencia de la refracción objetiva no corregida) pueden ser usados para la corrección de la refracción objetiva.

También es posible dividir las correcciones con un factor α común real para todos los componentes de vector de potencia, o también con factores α, β, γ diferentes para cada componente de vector de potencia, en las diferencias ΔP_{obj} y ΔP_{sub} objetivas y subjetivas:

$$\begin{aligned} P_{obj} &= \tilde{P}_{obj} + \alpha \Delta P_{obj}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}] \\ P_{sub} &= \tilde{P}_{sub} - (1 - \alpha) \Delta P_{sub}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}], \end{aligned}$$

$$P_{obj} = \tilde{P}_{obj} + \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \Delta P_{obj}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}]$$

$$P_{sub} = \tilde{P}_{sub} - \left(1 - \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \right) \Delta P_{sub}[\tilde{P}_{sub}, \tilde{P}_{obj}]$$

(11)

Esto sería útil sin embargo sólo si se supiese que un tercer procedimiento de refracción no exhibe o simplemente exhibe solo menos errores sistemáticos que la refracción subjetiva y la refracción objetiva, cuya desviación sistemática fue ya cuantificada una de otra. Además, la desviación sistemática de la refracción subjetiva y de la refracción objetiva del tercer procedimiento de refracción tendría que ser proporcional a las desviaciones sistemáticas entre la refracción subjetiva y la objetiva.

El cálculo de las refracciones objetiva y subjetiva corregidas puede ser combinado naturalmente también con una limitación de la corrección.

Si se indican los valores objetivos corregidos de la persona que tiene refracción, por ejemplo en el aberrómetro o autorrefractómetro, entonces es posible que la refracción subjetiva esté influida por el resultado objetivo de medición. Por ello puede ser ventajoso también ejecutar varias veces el procedimiento descrito anteriormente para la determinación de la corrección de la diferencia sistemática entre refracciones subjetiva y objetiva, por ejemplo con conjuntos de datos de en cada caso ordenes de medio año. De este modo se disminuye gradualmente la influencia de la refracción subjetiva por la presentación de la refracción objetiva.

Alternativamente a ello puede elegirse también un modelo para determinar la diferencia sistemática, que cuantifique la fracción y la magnitud de la influencia. Tales modelos pueden ser establecidos por ejemplo mediante valores estimados, o también mediante evaluación de estudios con un número relativamente bajo de personas que tienen refracción y que ejecutan refracción, de las cuales una parte tiene que generar una refracción objetiva antes de la refracción subjetiva, y la otra parte no debe ejecutar ninguna refracción objetiva. También es posible que una y la misma persona que realiza refracción ejecute refracciones subjetivas de diferentes personas, con y sin una refracción objetiva precedente. En este caso, es posible y también complementario comparar dos distribuciones de una gran cantidad de datos de refracción (por ejemplo como vectores de potencia), que fueron generados por personas que ejecutan refracción, que no tenían ninguna posibilidad de medir una refracción objetiva (primera distribución), o de aquellas que han generado obligatoriamente una refracción objetiva (segunda distribución). Tales conjuntos de datos surgen en gran cantidad durante el proceso de pedido de lentes para gafas y pueden ser obtenidos y estudiados de manera relativamente fácil, sin que se requieran estudios especiales. Si se usa un modelo así, entonces no es obligatoriamente necesaria una repetición del procedimiento para determinar la corrección.

En lugar de ajustar uno con otro los errores sistemáticos de las refracciones subjetiva y objetiva como vectores de potencia, evidentemente pueden usarse también otras representaciones de errores de refracción, como por ejemplo esfera, cilindro, eje o la partición de Zernike de frentes de ondas.

Para una representación como frente de ondas se convierte la refracción subjetiva, preferiblemente para el diámetro de pupila presente durante la refracción, en un frente de ondas (frente subjetivo de ondas). Los procedimientos para la conversión en un frente de ondas son conocidos a partir del estado de la técnica. Al respecto, podrían considerarse también las aberraciones de orden superior generadas por los lentes de refracción, incluso si éstas son en general pequeñas. Después de ello puede ajustarse a los datos presentes, es decir de los frentes subjetivos y objetivos de ondas, un modelo para predecir el frente subjetivo de ondas a partir del frente objetivo de ondas. Al respecto, puede ser ventajoso normalizar de manera adecuada las representaciones como por ejemplo los coeficientes de Zernike, antes del análisis. La corrección usada para el ajuste surge como resultado de manera análoga al procedimiento descrito anteriormente con vectores de potencia, a partir de la diferencia del frente subjetivo de ondas y el frente objetivo de ondas predichos.

Realmente, puede aplicarse una corrección como la presentada anteriormente de las desviaciones sistemáticas entre la refracción objetiva y la subjetiva para objetos en el infinito (denominada fracción remota), así mismo en la prescripción próxima, que también se denomina refracción próxima.

La refracción objetiva próxima está presente en el mejor de los casos como frente de ondas a la misma distancia d al ojo, en la cual están presentes también las correcciones de las desviaciones sistemáticas de la reflexión subjetiva y objetiva remota. Si este no es el caso, de acuerdo con el estado de la técnica entonces tiene que ser convertido a dicha distancia. Lo mismo es válido para la refracción subjetiva próxima.

Si la refracción próxima no está presente como frente de ondas, sino como efecto de un lente para gafas, se considera que para la conversión la refracción próxima no puede ser propagada en sí misma. Más bien, tiene que propagarse un frente de ondas esférico que parte de un punto en la distancia del objeto relevante para la refracción próxima, que

fue refractado por un lente de refracción concebido que contiene la refracción próxima, a la distancia relevante para la refracción próxima (denominada distancia al vértice de la córnea) al ojo.

La corrección de las desviaciones sistemáticas puede ser aplicada ahora al frente de ondas calculado. Si se desea obtener de nuevo una refracción próxima corregida - esta vez en la distancia d al ojo - entonces tiene que calcularse la diferencia respecto a un frente de ondas esférico de referencia que fue propagado partiendo de un punto, que se encuentra en la distancia de refracción en la misma distancia d .

Paso 2 - Combinación de los frentes de ondas corregidos o de los componentes de la refracción corregidos

Los vectores de potencia de los frentes P_{sub} subjetivos y P_{obj} objetivos de ondas son determinados de modo ponderado después de la corrección de la diferencia sistemática. de gran importancia son los pesos del equivalente M esférico, puesto que en función del poder de acomodación y en especial para su limitación como consecuencia del proceso de envejecimiento de los lentes para ojos, se cambia el riesgo de una refracción muy miope. Los pesos de los componentes astigmáticos, es decir para J0 y J45, pueden ser ajustados por ejemplo para la refracción subjetiva en 0,7, los correspondientes componentes objetivos en 0,3.

De acuerdo con un ejemplo, se proponen pesos ventajosos del equivalente esférico, que hacen posible una estimación particularmente exacta del error de refracción del usuario de gafas. La motivación para los pesos propuestos del equivalente esférico surge de los siguientes conceptos:

En los casos en los cuales los equivalentes esféricos objetivo y subjetivo son consistentes, deberían usarse ambas fuentes de datos. Si las mediciones no debiesen ser consistentes, entonces los pesos deberían ser ajustados en función del riesgo de una medición muy miope: cuanto más baja es la adición, tanto mayor es el riesgo de una medición muy miope (tanto para la refracción subjetiva como para la objetiva). En este caso se da al equivalente esférico positivo un mayor peso. Cuanto mayor es la adición, tanto menor es el riesgo de una medición muy miope, de modo que una gran desviación del equivalente esférico subjetivo y objetivo tiene probablemente otros motivos. Por ello, preferiblemente en estos casos se da una mayor ponderación a la medición subjetiva, puesto que la persona que tiene refracción ya ha probado un lente correspondiente durante la refracción.

Cálculo de los pesos

Los pesos pueden ser calculados o establecidos en función de la diferencia de los equivalentes esféricos objetivo y subjetivo determinado,

$$\Delta M = M_{sub} - M_{obj}, \quad (12)$$

y en función del poder de acomodación, que puede ser determinado a partir de la adición,

$$Akk = -(Add + A_1^N), \quad (13)$$

Al respecto, son:

M_{sub} : equivalente esférico de refracción subjetiva

M_{obj} : equivalente esférico de refracción objetiva

Akk : poder de acomodación calculado a partir de la adición

Add : adición medida durante la refracción, o la adición prescrita

A_1^N : distancia recíproca del objeto durante la determinación de la adición (convención de signo algebraico negativo, es decir $A_1^N < 0$, por ejemplo para un objeto a 40 cm de distancia es $A_1^N = -2,5Dpt$).

Para el cálculo de los pesos $g_{sub}^M(\Delta M, Akk)$ del equivalente M_{sub} esférico subjetivo determinado pueden determinarse en primera instancia en función de ΔM , pesos $g_{sub}^M(\Delta M, Akk_1)$ y $g_{sub}^M(\Delta M, Akk_2)$ auxiliares:

$$g_{sub}^M(\Delta M, Akk_i) = \begin{cases} g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_i) & \text{para } \Delta M \leq \Delta M_{-2} \\ g_{sub}^M(0, Akk_i) \cdot \frac{\Delta M - \Delta M_{-2}}{\Delta M_{-1} - \Delta M_{-2}} + g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_i) \cdot \frac{\Delta M_{-1} - \Delta M}{\Delta M_{-1} - \Delta M_{-2}} & \text{para } \Delta M_{-2} < \Delta M < \Delta M_{-1} \\ g_{sub}^M(0, Akk_i) & \text{para } \Delta M_{-1} \leq \Delta M \leq \Delta M_{+1} \\ g_{sub}^M(0, Akk_i) \cdot \frac{\Delta M_{+2} - \Delta M}{\Delta M_{+2} - \Delta M_{+1}} + g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_i) \cdot \frac{\Delta M - \Delta M_{+1}}{\Delta M_{+2} - \Delta M_{+1}} & \text{para } \Delta M_{+1} < \Delta M < \Delta M_{+2} \\ g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_i) & \text{para } \Delta M_{+2} \leq \Delta M, \end{cases} \quad (14)$$

en donde para i se usa 1 o 2.

Se obtiene el peso subjetivo, mediante interpolación lineal de los pesos auxiliares en el intervalo entre Akk1 y Akk2:

$$g_{sub}^M(\Delta M, Akk) = \begin{cases} g_{sub}^M(\Delta M, Akk_1) & \text{para } Akk \leq Akk_1 \\ g_{sub}^M(\Delta M, Akk_1) \cdot \frac{Akk_2 - Akk}{Akk_2 - Akk_1} + g_{sub}^M(\Delta M, Akk_2) \cdot \frac{Akk - Akk_1}{Akk_2 - Akk_1} & \text{para } Akk_1 < Akk < Akk_2 \\ g_{sub}^M(\Delta M, Akk_2) & \text{para } Akk_2 \leq Akk, \end{cases} \quad (15)$$

Los pesos del equivalente esférico objetivo determinado pueden ser calculados a partir de los pesos del equivalente esférico subjetivo determinado, mediante $g_{obj}^M(\Delta M, Akk) = 1 - g_{sub}^M(\Delta M, Akk)$.

A continuación se indican intervalos para los puntos de soporte y sus pesos:

$$\begin{aligned} 10 \quad & -1,5\text{Dpt} \leq \Delta M_{-2} \leq -0,5\text{Dpt} \\ & -1,0\text{Dpt} \leq \Delta M_{-1} \leq -0,25\text{Dpt} \\ 15 \quad & 0,25\text{Dpt} \leq \Delta M_{+1} \leq 1,0\text{Dpt} \\ & 0,5\text{Dpt} \leq \Delta M_{+2} \leq 1,5\text{Dpt} \end{aligned}$$

en donde $\Delta M_{-2} < \Delta M_{-1} < \Delta M_{+1} < \Delta M_{+2}$.

$$\begin{aligned} 20 \quad & 0\text{Dpt} \leq Akk_1 \leq 1,25\text{Dpt} \\ & 1,0\text{Dpt} \leq Akk_2 \leq 2,75\text{Dpt} \end{aligned}$$

en donde $Akk_1 < Akk_2$.

Los pesos de los puntos de soporte pueden ser elegidos a partir de los siguientes intervalos:

$$\begin{aligned} 25 \quad & 0,8 \leq g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_1) \leq 1 \\ & 0,3 \leq g_{sub}^M(0, Akk_1) \leq 0,7 \end{aligned}$$

$$0,8 \leq g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_1) \leq 1$$

$$0 \leq g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_2) \leq 0,5$$

5

$$0,3 \leq g_{sub}^M(0, Akk_2) \leq 0,7$$

$$0,8 \leq g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_2) \leq 1$$

Ejemplos para la elección de pesos y puntos de soporte:

10 **Ejemplo 1:**

$$-\Delta M_{-2} = \Delta M_{+2} = 1,0 \text{Dpt}$$

$$-\Delta M_{-1} = \Delta M_{+1} = 0,5 \text{Dpt}$$

15

$$Akk_1 = 0 \text{Dpt}$$

$$Akk_2 = 1,75 \text{Dpt}$$

20

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_1) = 0,95$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_1) = 0,75$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_1) = 0,95$$

25

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_2) = 0,5$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_2) = 0,75$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_2) = 0,95$$

30 **Ejemplo 2**

$$-\Delta M_{-2} = \Delta M_{+2} = 0 \text{Dpt}$$

$$-\Delta M_{-1} = \Delta M_{+1} = 0 \text{Dpt}$$

35

$$Akk_1 = 0 \text{Dpt}$$

$$Akk_2 = 1,75 \text{Dpt}$$

40

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_1) = 0,5$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_1) = 0,75$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_1) = 1$$

45

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_2) = 0,75$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_2) = 0,75$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_2) = 0,75$$

50 **Ejemplo 3:**

$$-\Delta M_{-2} = \Delta M_{+2} = 1,5 \text{Dpt}$$

$$-\Delta M_{-1} = \Delta M_{+1} = 0,75 \text{Dpt}$$

$$Akk_1 = 0,5\text{Dpt}$$

$$Akk_2 = 2,0\text{Dpt}$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_1) = 1$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_1) = 0,5$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_1) = 1$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{-2}, Akk_2) = 0$$

$$g_{sub}^M(0, Akk_2) = 0,5$$

$$g_{sub}^M(\Delta M_{+2}, Akk_2) = 1$$

La Figura 3 muestra los pesos del equivalente esférico subjetivo g_{sub}^M de acuerdo con el Ejemplo 1. La Figura 4A muestra los pesos del equivalente esférico subjetivo g_{sub}^M de acuerdo con el Ejemplo 2. La Figura 4C muestra los pesos del equivalente esférico subjetivo g_{sub}^M de acuerdo con el Ejemplo 3. Los pesos mostrados en la Fig. 3 son pesos ponderados respecto a una reducción de las inexactitudes aleatorias de medición de la medición subjetiva y/u objetiva, de manera más ventajosa que los pesos mostrados en la Fig. 4A.

Los pesos de acuerdo con el ejemplo 1 (Fig. 3), el Ejemplo 2 (Fig. 4A) y el Ejemplo 3 (Fig. 4B) dependen de la adición y de la diferencia (o de la brecha) del equivalente $\Delta M = M_{sub} - M_{obj}$ esférico corregido en el paso 1. Las funciones consisten en varias mesetas de peso constante entre las cuales, como se describió anteriormente, se realiza interpolación lineal.

Una diferencia esencial en la elección de los pesos de acuerdo con el ejemplo 1, en comparación con la elección de los pesos de acuerdo con el ejemplo 2 consiste en que en el intervalo, en el cual ΔM tiene una distribución aproximadamente normal, en este caso por ejemplo en el intervalo $-0,5\text{Dpt} < \Delta M < +0,5\text{Dpt}$, se introduce una meseta con un peso de por ejemplo $g_{sub}^M = 0,75$. En este intervalo cae en la mayoría de las mediciones. Debido a la brecha ΔM con distribución aproximadamente normal puede darse por sentado que los equivalentes esféricos de las refracciones subjetiva y objetiva no son contradictorios, de modo que el equivalente esférico de la refracción objetiva puede obtener un peso relativamente elevado, por ejemplo 0,25. Por fuera de este intervalo, para una elevada adición, aumenta el peso subjetivo a un valor muy elevado, por ejemplo a 0,95 o incluso 1,0, independientemente del signo algebraico de la diferencia ΔM , puesto que en este caso es muy improbable la acomodación. Para bajas adiciones, la refracción subjetiva tiene ponderación solo muy alta, si era más hipermetrope que el objetivo. Si es miope, entonces el peso subjetivo es reducido a un bajo valor, por ejemplo a 0,5.

El cambio dependiente del signo algebraico de ΔM de los pesos es la segunda diferencia básica entre ambos tipos de ponderación: en el procedimiento de acuerdo con el primer ejemplo tiene lugar esto para bajas adiciones, en el procedimiento de acuerdo con el segundo ejemplo este es el caso para elevadas adiciones.

Para combinar prescripciones próximas, pueden combinarse los frentes de ondas corregidos relevantes para las refracciones subjetiva y objetiva, de manera análoga a la refracción remota. Sin embargo, es ventajoso, debido a la elevada incertidumbre de medición, ponderar sólo débilmente la refracción objetiva, como se describe en el estado de la técnica.

A continuación, mediante un (relativamente pequeño) conjunto de datos (conjunto de datos de referencia) se evalúan los cambios que resultan frente al procedimiento conocido con anterioridad para las refracciones subjetiva, objetiva y combinada. En el siguiente ejemplo no cambia la refracción subjetiva y por ello no se representa en este caso.

Las figuras 5 y 6 muestran el cambio del valor estimado del error komb_F de refracción, calculado de acuerdo con dos procedimientos diferentes (para una pupila, interpolado entre una pupila fotópica y una mesópica, para dos aparatos diferentes. En particular, las figuras 5 y 6 muestran la diferencia de los valores, que son obtenidos de acuerdo con un primer procedimiento que comprende pasos 1 y 2 descritos anteriormente y con los pesos de acuerdo con el Ejemplo 1 y un segundo procedimiento que ocurre sin ajuste de la refracción objetiva a la subjetiva en promedio (es decir, sin paso 1, solo paso 2) y con los pesos de acuerdo con el Ejemplo 22. Los valores objetivos medidos son obtenidos con dos aparatos diferentes (aberrómetros), aberrómetro 1 y 2, en donde la Fig. 5 muestra los resultados para el primer aberrómetro y Fig. 6 muestra los resultados para el segundo aberrómetro. Las figuras 5A y 6A muestran

la diferencia del equivalente M esférico, las figuras 5B y 6B muestran la diferencia del componente J0 y las figuras 5C y 6C muestran la diferencia para el componente J45.

- 5 La refracción objetiva para una pupila, estimada a partir de otras dos pupilas (una pupila fotópica y una pupila mesópica), muestra las diferencias esperadas que surgen como resultado por el paso 1 del procedimiento. La refracción combinada a partir de refracción subjetiva corregida y refracción objetiva corregida para la pupila interpolada muestra así mismo los cambios esperados, que surgen principalmente por el ajuste de la objetiva a la subjetiva.

Los "datos atípicos" en las representaciones son todos de personas sin presbicia, en los cuales existe el riesgo de una refracción muy miope. Para ellos, se da ponderación elevada a la refracción más fuertemente positiva.

- 10 Un procedimiento para ponderar más fuertemente con más Plus en general la refracción en elevada adición, conduciría para diferencias sistemáticas ya corregidas de las dos refracciones, incluso sin "datos atípicos", como por ejemplo miopía de dispositivo, a un desplazamiento sistemático en dirección Plus de la refracción combinada. Esto es indeseado, puesto que no puede compensarse una refracción muy hipermetrope, mediante acomodación o disminución de la vista en el lente progresivo. Puesto que para elevadas adiciones la miopía de dispositivo es improbable y puede ocurrir justo para bajas adiciones, el nuevo procedimiento con el paso 1) y dado el caso paso 2) con los pesos mostrados en la Fig. 3, conduce en este aspecto a una mejor refracción combinada.

- 15 La corrección de los errores sistemáticos de la refracción objetiva (Paso 1) junto con una ponderación de la refracción (Paso 2) dependiente de la adición es, en comparación con un procedimiento alternativo, en el cual se da solamente baja ponderación a la refracción que se desvía de manera sistemática, pero no se desplaza, en particular por ello ventajosa, porque la refracción subjetiva media puede ser calculada incluso entonces con mayor exactitud a partir de la refracción objetiva, cuando ocurren diferencias sistemáticas entre ambos tipos de refracción. En lugar de ello, la elección de los pesos debería ocurrir idealmente en virtud de la confiabilidad de los procedimientos de refracción ya corregidos.

- 20 En suma, el procedimiento propuesto con los pasos 1 y 2 conduce a una disminución de la probabilidad de reclamación para lentes para gafas, en el cual en el cálculo se incorporan tanto refracciones subjetiva como también objetiva, en particular en el ámbito de los efectos, en los cuales el aberrómetro mide sistemáticamente de modo diferente a la refracción subjetiva.

A continuación se encuentran ejemplos de series de lentes para gafas, que pueden ser calculados y fabricados con el procedimiento descrito anteriormente.

Serie B1 de lentes para gafas:

- 30 Serie de lentes para gafas para la corrección del error de refracción de una multiplicidad de ojos, que comprende por lo menos un primer lente para gafas A, que tiene al menos en un punto de referencia un primer efecto P_A, que corrige un error de refracción de un primer ojo caracterizado por al menos un primer valor P_A1 medido consistente en varios componentes, determinado con un dispositivo de medición de un primer tipo y
- 35 un error de refracción de un primer ojo caracterizado por al menos un segundo valor P_A2 medido consistente en varios componentes, determinado con un dispositivo de medición de un segundo tipo
- en donde

- el primer valor P_A1 medido del primer lente determinado con un dispositivo de medición del primer tipo y el segundo valor P_A2 medido del primer lente determinado con un dispositivo de medición del segundo tipo se diferencian en al menos un componente X
- 40 el componente X del primer efecto P_A del primer lente presente en el punto de referencia del primer lente para gafas está más cerca del componente X del valor P_A1 medido o P_A2 del primer lente, cuyo dispositivo de medición tiene la inexactitud más baja durante la medición del componente X, y en donde los componentes X son un componente de una representación de frente de ondas del error de refracción, su combinación lineal o magnitudes derivadas de ella.

Serie B2 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas de acuerdo con la serie B1, en donde además

el componente X del primer efecto P_A presente en el punto de referencia del primer lente para gafas y el componente X del primer valor P_A1 medido del primer ojo son casi idénticos, aunque se diferencian del primer valor medido del primer ojo P_A1 y del segundo valor P_A2 medido del primer ojo, en al menos el componente X.

Serie B3 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas de acuerdo con la serie B1 o B2, la cual

comprende por lo menos un segundo lente B para gafas, que tiene al menos un segundo efecto P_B en un punto de referencia denominado de manera idéntica en comparación con el primer lente para gafas, que corrige un error de refracción de un segundo ojo caracterizado por

al menos un primer valor P_{B1} medido consistente en varios componentes, determinado con un dispositivo de medición del primer tipo y

al menos un segundo valor P_{B2} medido consistente en varios componentes, determinado con un dispositivo de medición del segundo tipo

comprende por lo menos un tercer lente C para gafas, que tiene al menos un tercer efecto P_B en un punto de referencia denominado de manera idéntica en comparación con el primer lente para gafas, que corrige un error de refracción de un tercer ojo caracterizado por al menos un primer valor P_{C1} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición del primer tipo y un segundo valor P_{C2} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición del segundo tipo, en donde

los primeros valores P_{A1}, P_{B1} y P_{C1} medidos del primer, segundo y tercer ojos son idénticos en componentes, los componentes X de los segundos valores P_{A2}, P_{B2} y P_{C2} medidos determinados con dispositivos de medición del segundo tipo, del primero, segundo y tercero ojos se diferencian todos por pares,

el componente X del primer efecto P_A presente en el punto de referencia del primer lente para gafas y

el componente X del primer valor medido del primer ojo P_{A1} son casi idénticos, y en donde

para los componentes X del efecto del i-ésimo lente para gafas, X_i, presente en el punto de referencia y para los componentes X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_{i2}, son válidas las siguientes correlaciones:

$$(X_{B1} - X_{A1}) / (X_{B2} - X_{A2}) \text{ diferente de } (X_{C1} - X_{A1}) / (X_{C2} - X_{A2})$$

$$\text{abs}(X_{B2} - X_{A2}) < \text{abs}(X_{C2} - X_{A2})$$

$$\text{signo}(X_{B2} - X_{A2}) = \text{signo}(X_{C2} - X_{A2}).$$

Serie B4 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas de acuerdo con la serie B3, en donde:

El primero, segundo y tercer lentes para gafas son lentes de visión simple para gafas o lentes progresivos que disponen de esta misma adición Add, en donde Add ≤ 1,5dpt, y en donde

para los componentes X del efecto del i-ésimo lente para gafas, X_i, presente en el punto de referencia y para los componentes X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_{i2}, son válidas las siguientes correlaciones

$$(X_{B1} - X_{A1}) / (X_{B2} - X_{A2}) < (X_{C1} - X_{A1}) / (X_{C2} - X_{A2}) \text{ en caso de que } X_{B2} - X_{A2} > 0, \quad X_{C2} - X_{A2} > 0,$$

y

$$(X_{B1} - X_{A1}) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_{C1} - X_{A1}) / (X_{C2} - X_{A2}) \text{ en caso de que } X_{B2} - X_{A2} < 0, \quad X_{C2} - X_{A2} < 0.$$

Serie B5 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas de acuerdo con la serie B3, en donde

el primero, segundo y tercer lentes para gafas son lentes progresivos que disponen de esta misma adición Add, en donde Add ≥ 2dpt, y en donde

para los componentes X del efecto del i-ésimo lente para gafas, X_i, presente en el punto de referencia y para los componentes X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_{i2}, son válidas las siguientes correlaciones:

$$(X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso de que} \\ X_{B2} - X_{A2} > 0, \quad X_{C2} - X_{A2} > 0,$$

y

$$(X_B - X_A) / (X_{B2} - X_{A2}) > (X_C - X_A) / (X_{C2} - X_{A2}) \quad \text{en caso de que} \\ X_{B2} - X_{A2} < 0, \quad X_{C2} - X_{A2} < 0.$$

Serie B6 de lentes para gafas:

- 5 Serie de lentes para gafas de acuerdo con una de las series B1 a B5, en donde puede usarse el dispositivo de medición del primer tipo para la refracción subjetiva.

Serie B7 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas de acuerdo con una de las series B1 a B6, en donde el dispositivo de medición del segundo tipo puede ser usado para la determinación de la refracción objetiva.

10 Serie B8 de lentes para gafas:

Serie de lentes para gafas con una de las series B1 a B6, que:

- comprende por lo menos un cuarto lente D para gafas, que tiene al menos un cuarto efecto P_D en un punto de referencia denominado de manera idéntica en comparación con el primer lente para gafas, que corrige un error de refracción de un cuarto ojo caracterizado por al menos un primer valor P_{D1} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición del primer tipo y un segundo valor P_{D2} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición del segundo tipo, y
- 15 por lo menos un quinto lente E para gafas, que tiene al menos un quinto efecto P_E en un punto de referencia denominado de manera idéntica en comparación con el primer lente para gafas, que corrige un error de refracción de un quinto ojo caracterizado por al menos un primer valor P_{E1} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición del primer tipo y un segundo valor P_{E2} medido consistente en varios componentes determinado con un dispositivo de medición de la segundo tipo, y en donde
- 20 los primeros valores P_{A1} , P_{D1} y P_{E1} medidos determinados con dispositivos de medición del primer tipo, son idénticos en componentes al primer, cuarto y quinto ojos,
- los componentes X de los segundos valores P_{A2} , P_{D2} y P_{E2} medidos del primer, cuarto y quinto ojos determinados con dispositivos de medición del segundo tipo se diferencian todos por pares,
- 25 el componente X del primer efecto P_A presente en el punto de referencia del primer lente para gafas y el componente X del primer valor medido del primer ojo P_{A1} son casi idénticos, y en donde
- para los componentes X del efecto del i-ésimo lente para gafas, X_i , presentes en el punto de referencia y para los componentes X del segundo valor medido del i-ésimo ojo, X_{i2} , son válidas las siguientes correlaciones:

$$30 \quad X_{D2} - X_{A2} > 0, \quad X_{E2} - X_{A2} < 0, \quad X_D - X_A > 0 \text{ y } X_E - X_A < 0.$$

- Las **figuras 7 a 10** muestran lentes representativos individuales para gafas de las series anteriores de lentes para gafas. Los lentes para gafas mostrados exhiben propiedades elegidas, que permiten establecer propiedades de los pesos de las figuras 11 a 20 dependientes de ΔM en virtud de 1, 3 o 5 lentes de una serie, independientemente de si se ejecutó o no una corrección de los errores sistemáticos. Los lentes para gafas que están en las figuras de detalle
- 35 en las líneas continuas o punteadas tienen el mismo equivalente esférico subjetivo (en la línea representada, el equivalente esférico subjetivo es $M_{A1} = M_A = 4,1$ Dpt). Las líneas continuas o punteadas se refieren a puntos de soporte y pesos de los ejemplos 1 o 2.

- La **Figura 7** se refiere a un lente A para gafas A de la serie B2 de lentes para gafas, que fue calculado con un procedimiento que comprende el paso 1. El lente A para gafas mostrado en la Fig. 7 exhibe en el punto de referencia el equivalente esférico subjetivo medido como efecto (es decir coma $M_A = M_{A1} = 4,1$ Dpt), aunque el equivalente esférico objetivo medido ($M_{A2} = 4,6$ Dpt) se diferencia esencialmente del equivalente esférico subjetivo medido ($M_{A1} = 4,1$ Dpt). Sin embargo coma el equivalente esférico objetivo medido fue considerado para el cálculo.
- 40

- La **Figura 8** se refiere a otro lente A para gafas de una serie B2 de lentes para gafas, que fue calculado con un procedimiento que comprende los pasos 1 y 2. El lente para gafas mostrado en la Fig. 8A exhibe propiedades similares al lente para gafas mostrado en la Fig. 7. El detalle 8A corresponde a las Figuras 11 y 12.
- 45

La **Figura 9** se refiere a 3 lentes A, B, C para gafas de la serie B3 de lentes para gafas, que fueron calculados con un procedimiento que comprende los pasos 1 y 2. En este caso coma es característico que todos los lentes tienen el

mismo equivalente esférico subjetivo, y que la isolínea del mismo equivalente esférico tiene diferentes pendientes en al menos uno de los intervalos $M_{obj} < M_{A2}$ y $M_{obj} > M_{A2}$ - esto es expresado mediante la correlación del equivalente esférico de los lentes A, B y C medido y presente en el punto de referencia.

5 La **Figura 10** se refiere a lentes A, D y E para gafas de la serie B8 de lentes para gafas. En este caso es característica la pendiente idéntica en ambos lados de M_{A2} de la isolínea del mismo equivalente esférico, que es expresado por la correlación del equivalente esférico medido y presente en el punto de referencia de los lentes A, D y E.

10 Las **figuras 11 a 19** muestran la brecha ($M_{komb} - M_{sbj}$) entre un valor estimado (M_{komb}) del equivalente esférico y un equivalente esférico subjetivo medido (M_{sbj}) como función de la brecha entre un equivalente esférico objetivo medido (M_{obj}) y un equivalente esférico subjetivo medido para diferentes adiciones Add. "Mkomb" denomina el equivalente esférico combinado como es decir como un valor estimado del equivalente esférico calculado de acuerdo con un procedimiento ejemplar que comprende pasos 1 y/o 2. En el eje x está la diferencia del equivalente esférico M_{obj} objetivo (por ejemplo M_{B2} o M_{C2}) para un lente para gafas (por ejemplo un lente B o C para gafas) menos el equivalente esférico objetivo $M_{obj} = M_{sbj}$, para el cual el equivalente esférico combinado es igual al equivalente esférico subjetivo (por ejemplo $M_{B2} - M_{A2}$ o $M_{C2} - M_{A2}$). Las figuras 11 a 19 se refieren a adiciones, que fueron
15 determinadas para la distancia estándar al objeto, de 40cm (corresponde a $A_1^N = -2,5 \text{ Dpt}$).

Las líneas continuas o punteadas muestran el caso en el cual el equivalente esférico Mkomb combinado fue obtenido de acuerdo con procedimientos ejemplares que comprenden paso 2 con puntos de soporte y pesos del Ejemplo 1 (continua) o Ejemplo 2 (punteada). El equivalente esférico "Mkomb" combinado representa con ello el valor estimado del error de refracción de acuerdo con un procedimiento ejemplar que comprende paso 2 o los pasos 1 y 2.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado por ordenador para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas, que comprende:

Suministrar valores medidos de una primera y una segunda mediciones del error de refracción del ojo del usuario de gafas;

calcular un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, mediante el valor medido en la primera y la segunda mediciones, en donde para el cálculo del valor estimado del error de refracción se consideran inexactitudes de medición de la primera y de la segunda mediciones del error de refracción, en donde las inexactitudes de medición comprenden una desviación sistemática entre los valores medidos de la primera medición y los valores medidos de la segunda medición; y en donde el procedimiento comprende además:

determinar las inexactitudes de medición de la primera y de la segunda mediciones mediante análisis estadístico de un conjunto de datos con una multiplicidad de valores de medición de referencia, que comprenden una primera medición y una segunda medición del error de refracción de los ojos de diferentes usuarios de gafas, en donde la determinación de las inexactitudes de medición de la primera medición y de la segunda mediciones comprende:

establecer un modelo para el valor medido de la segunda medición como una suma de un valor medido predicho y una variable aleatoria, en donde el valor medido predicho es modelado como una función paramétrica del valor medido de la primera medición y opcionalmente de una parte del valor medido de la segunda medición;

determinar el parámetro de la función paramétrica mediante ajuste del modelo a las mediciones de referencia presentes en el conjunto de datos, maximizando la distribución de probabilidad de las variables aleatorias en el espacio de parámetro del modelo;

determinar la desviación sistemática de la primera medición frente a la segunda medición, mediante la medición predicha.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las inexactitudes de medición comprenden además una desviación estadística entre los valores medidos de la primera medición y los valores medidos de la segunda medición.

3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde

la primera medición del error de refracción del ojo es una refracción objetiva; y/o
la segunda medición del error de refracción del ojo es una refracción subjetiva.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en donde la medición predicha es una refracción predicha, que es modelada mediante las siguientes funciones paramétricas:

Modelo 1:

$$M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{J0,1}^M \tilde{J}0_{obj} + a_{J45,1}^M \tilde{J}45_{obj}$$

$$J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J0,i}^{J0} \tilde{J}0_{obj}^i + a_{J45,1}^{J0} \tilde{J}45_{obj}$$

$$J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}) = a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{J0,1}^{J45} \tilde{J}45_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{J45,i}^{J45} \tilde{J}45_{obj}^i$$

o

Modelo 2:

$$M_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{J}0_{obj}, \tilde{J}45_{obj}, \tilde{J}0_{sub}, \tilde{J}45_{sub}) = \sum_{i=0}^4 a_{M,i}^M \tilde{M}_{obj}^i + a_{J0,1}^M \tilde{J}0_{obj} + a_{J45,1}^M \tilde{J}45_{obj} + b_{J0,1}^M \tilde{J}0_{sub} + b_{J45,1}^M \tilde{J}45_{sub}$$

$$J0_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub})$$

$$= a_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{j0,i}^{J0} \tilde{f0}_{obj}^i + a_{j45,1}^{J0} \tilde{f45}_{obj} + b_{M,1}^{J0} \tilde{M}_{sub} + b_{j45,1}^{J0} \tilde{f45}_{sub}$$

$$J45_{pred}(\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub})$$

$$= a_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{obj} + a_{j0,1}^{J45} \tilde{f45}_{obj} + \sum_{i=0}^4 a_{j45,i}^{J45} \tilde{f45}_{obj}^i + b_{M,1}^{J45} \tilde{M}_{sub} + b_{j0,1}^{J45} \tilde{f0}_{sub}$$

en donde:

- 5 (M_{pred}, J0_{pred}, J45_{pred}) indica el vector de potencia de la refracción predicha; ($\tilde{M}_{obj}, \tilde{f0}_{obj}, \tilde{f45}_{obj}$) indica el vector de potencia del valor medido de la refracción objetiva; ($\tilde{M}_{sub}, \tilde{f0}_{sub}, \tilde{f45}_{sub}$) indica el vector de potencia del valor medido de la refracción subjetiva;

$a_{X,i}^Y$ y $b_{Z,i}^Y$ denominan los parámetros de la respectiva función paramétrica,

- 10 Y representa un componente de vector de potencia del vector de potencia de la refracción predicha;
X representa un componente de vector de potencia del vector de potencia de la refracción objetiva medida; y
Z representa un componente de vector de potencia del vector de potencia de la refracción subjetiva medida.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en donde el cálculo del valor estimado del error de refracción del ojo comprende una formación de un valor medio ponderado del valor medido de la primera medición y de la segunda medición, en donde la primera medición es ponderada con primeros pesos y la segunda medición es ponderada con segundos pesos, en donde opcionalmente bajo la primera medición y la segunda medición se pondera la medición con la inexactitud de medición más baja con pesos más altos.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 cuando se refiere a la reivindicación 3, en donde los pesos son función de los valores medidos del error de refracción.
- 20 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el valor medido comprende una adición y/o un equivalente esférico, y los pesos son función de la adición y/o de la diferencia entre el valor medido del equivalente esférico de la primera medición y el valor medido del equivalente esférico de la segunda medición.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en donde:
- 25 se determinan las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición para la distancia infinita del objeto; y/o
se determinan las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición separadamente para diferentes aparatos;
se determinan las inexactitudes de medición o desviaciones de medición de la primera medición y de la segunda medición para una distancia al ojo idéntica para todos los datos.
- 30 9. Producto de programa de ordenador el cual, cuando es cargado en la memoria de un ordenador y es realizado en éste, causa que el ordenador ejecute un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Dispositivo para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas con un dispositivo de cálculo, que está diseñado para ejecutar el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8.
11. Procedimiento para fabricar un lente para gafas, que comprende:
- 35 determinar el error de refracción de un ojo del usuario de gafas de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8;
establecer el efecto esperado mediante el error de refracción determinado, de modo que el efecto esperado del lente para gafas corrige al menos parcialmente el error de refracción determinado, en al menos un punto de referencia; y
manufacturar el lente para gafas de modo que el efecto esperado es alcanzado en el al menos un punto de referencia
- 40 preestablecido del lente para gafas.
12. Dispositivo para fabricar un lente para gafas, que comprende;
- un dispositivo para determinar el error de refracción de un ojo de un usuario de gafas, de acuerdo con la reivindicación 10;

un dispositivo para establecer el efecto esperado en un punto de referencia del lente para gafas, mediante el error de refracción determinado, y

- 5 un dispositivo de manufactura para manufacturar el lente para gafas, de modo que se alcanza el efecto esperado en el al menos un punto de referencia del lente para gafas, preferiblemente en una posición de uso preestablecida del lente para gafas.

13. Procedimiento implementado por ordenador para ordenar lentes para gafas, que comprende:

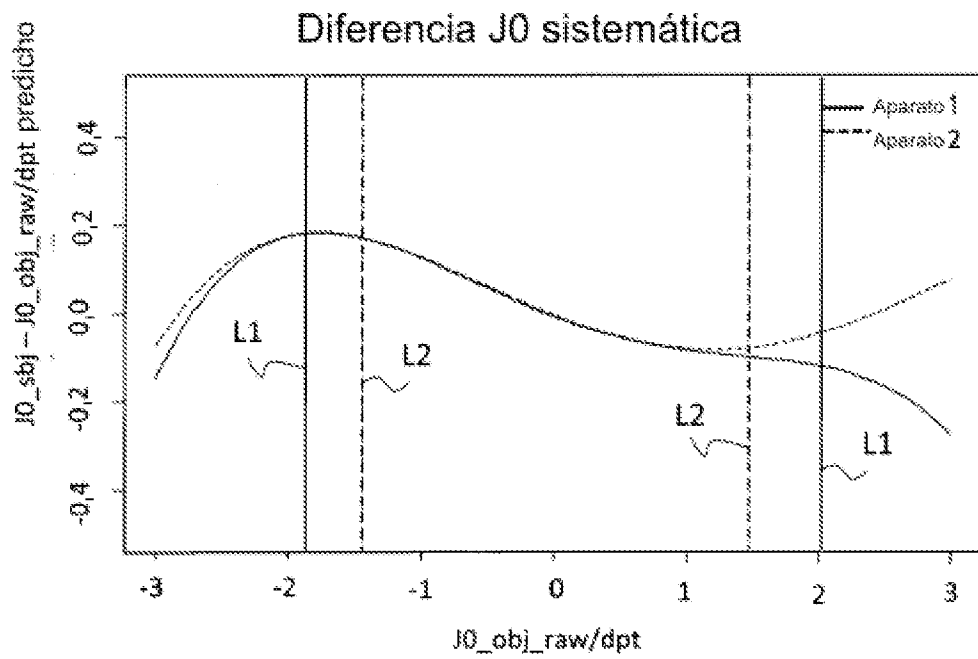
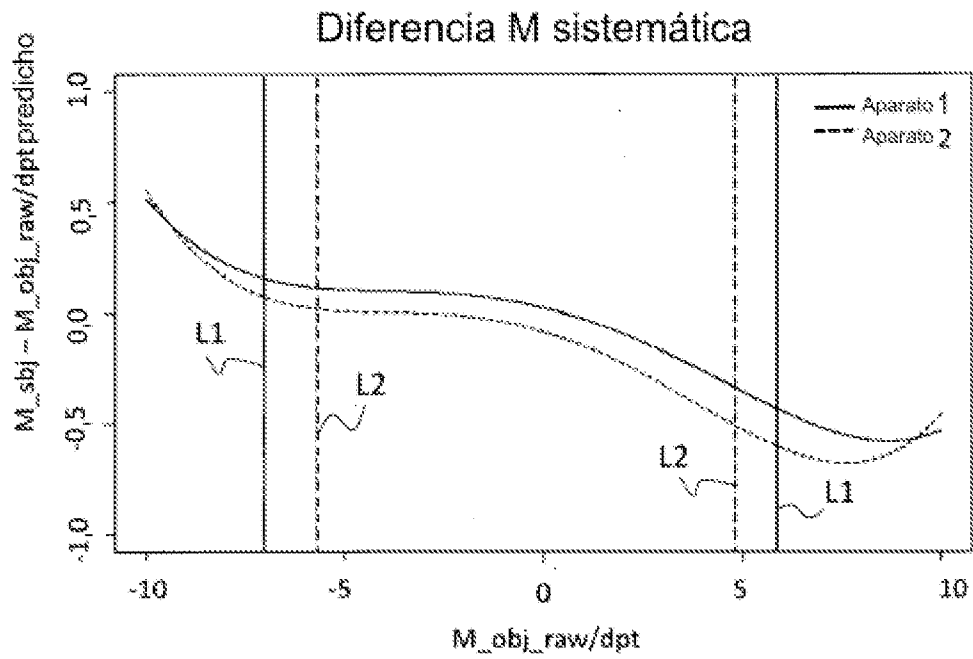
Suministrar valores medidos de una primera medición y de una segunda medición del error de refracción del ojo del usuario de gafas;

- 10 calcular un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8.

14. Dispositivo para ordenar de lentes para gafas, que comprende:

un dispositivo para suministrar valores medidos de una primera medición y de una segunda medición del error de refracción del ojo del usuario de gafas, y

- 15 un dispositivo de cálculo que está diseñado para calcular un valor estimado para el error de refracción del ojo del usuario de gafas, mediante el valor medido de la primera medición y de la segunda medición de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8.



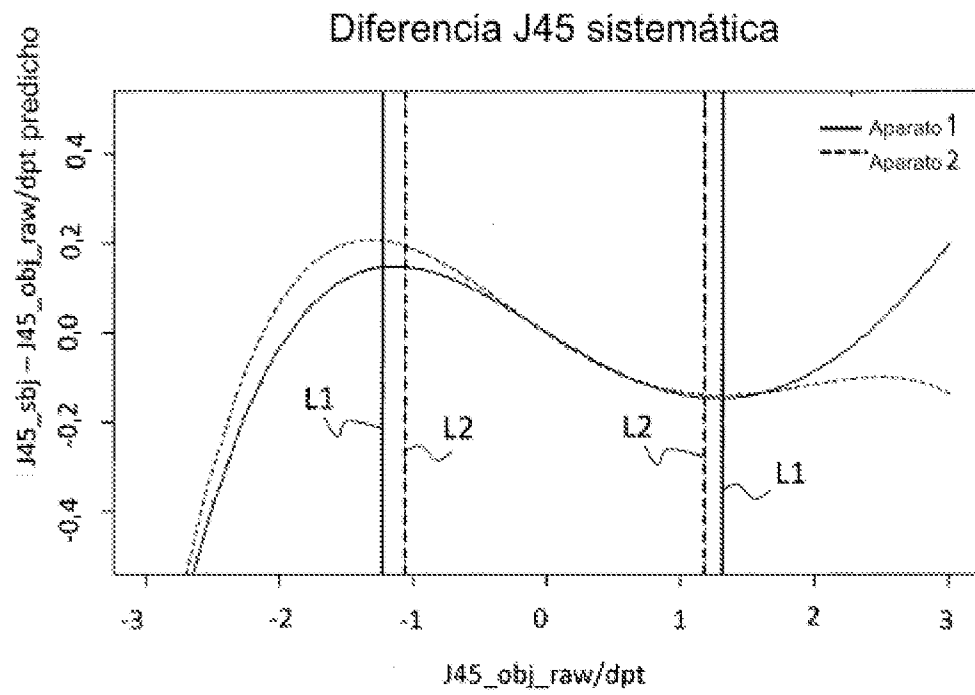


Fig. 1C

Diferencia M sistemática

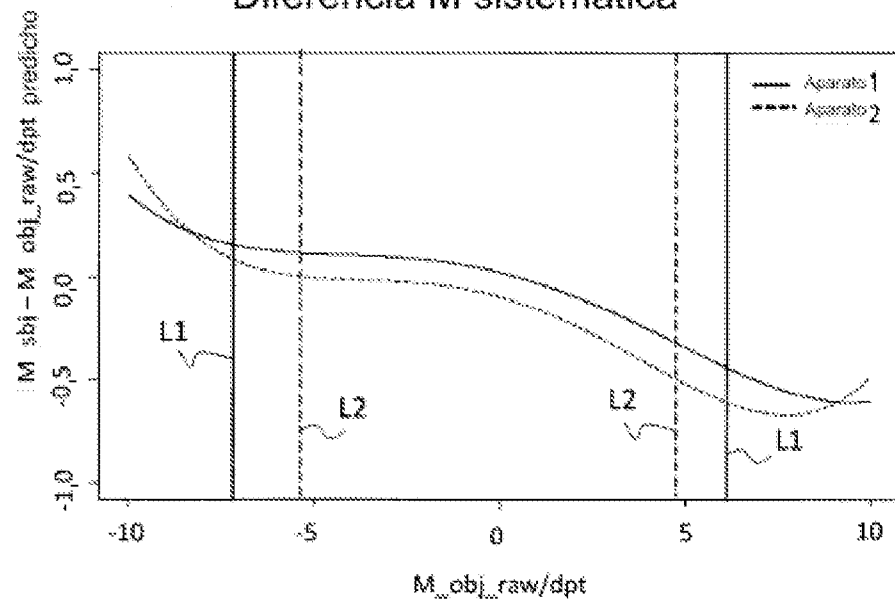


Fig. 2A

Diferencia J0 sistemática

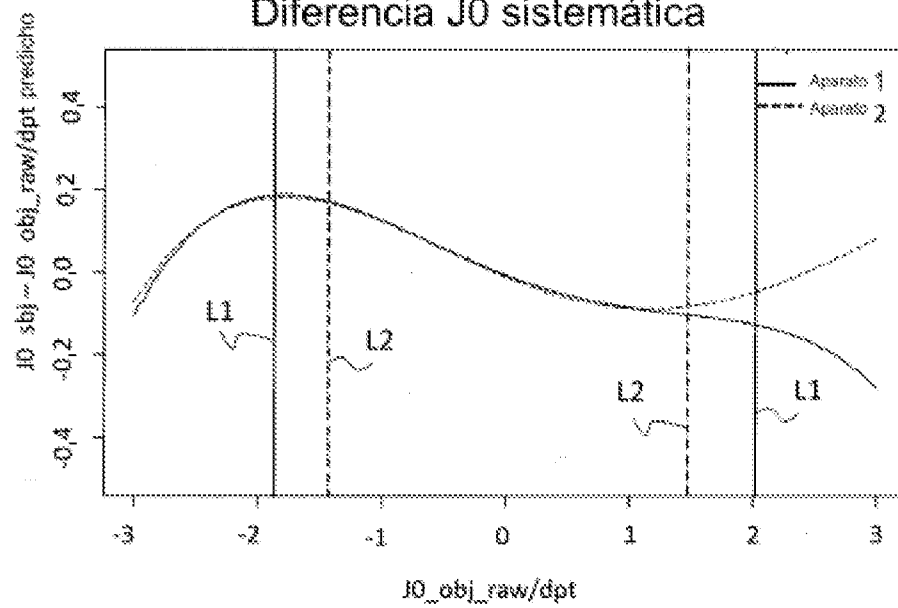


Fig. 2B

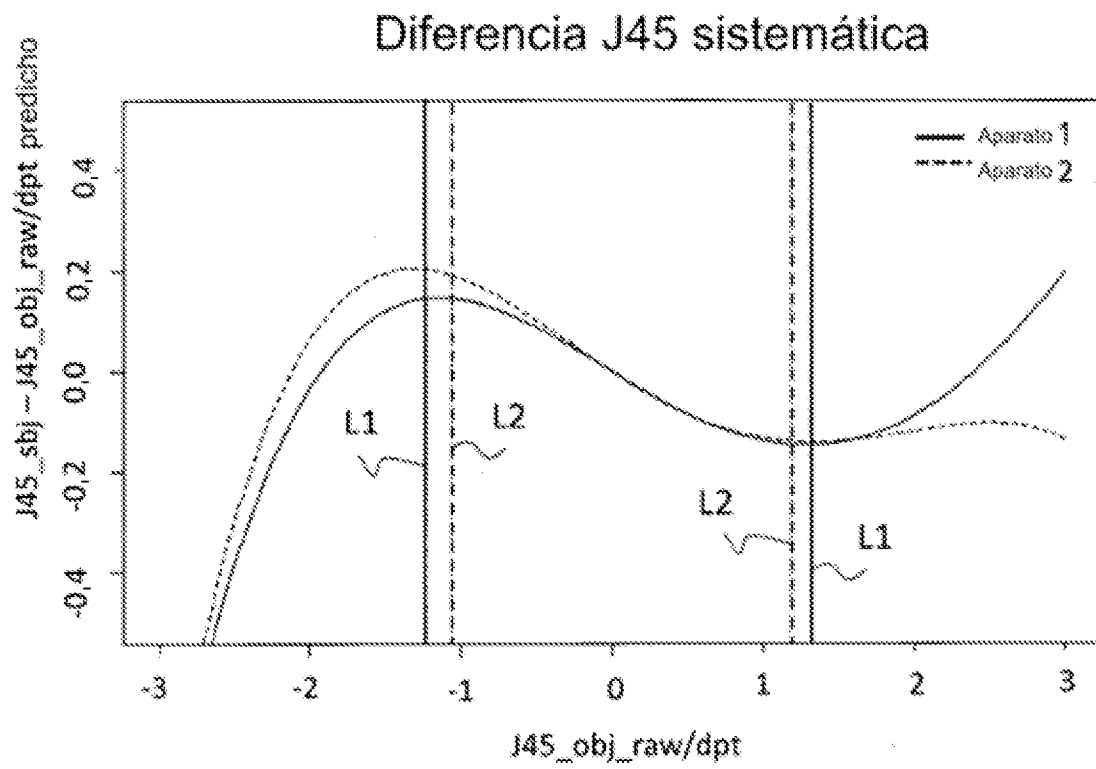


Fig. 2C

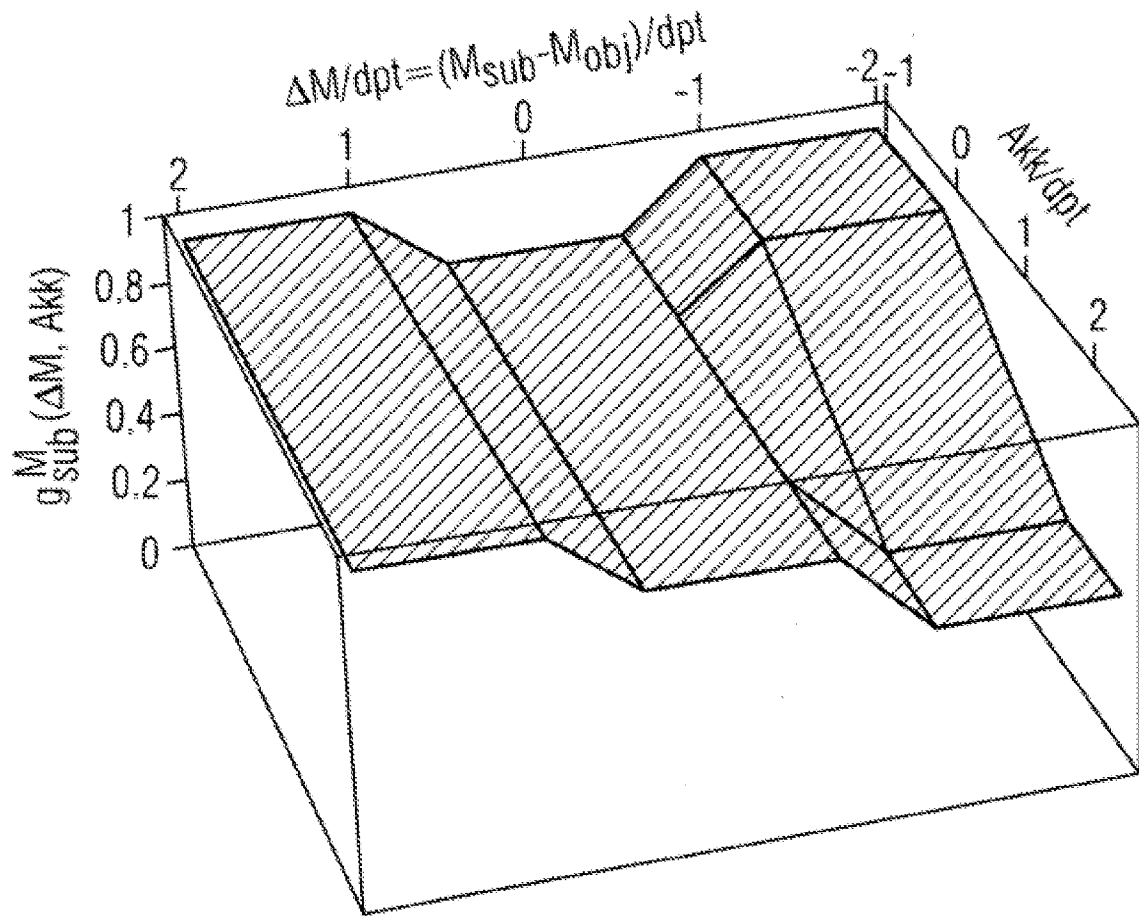


Fig. 3

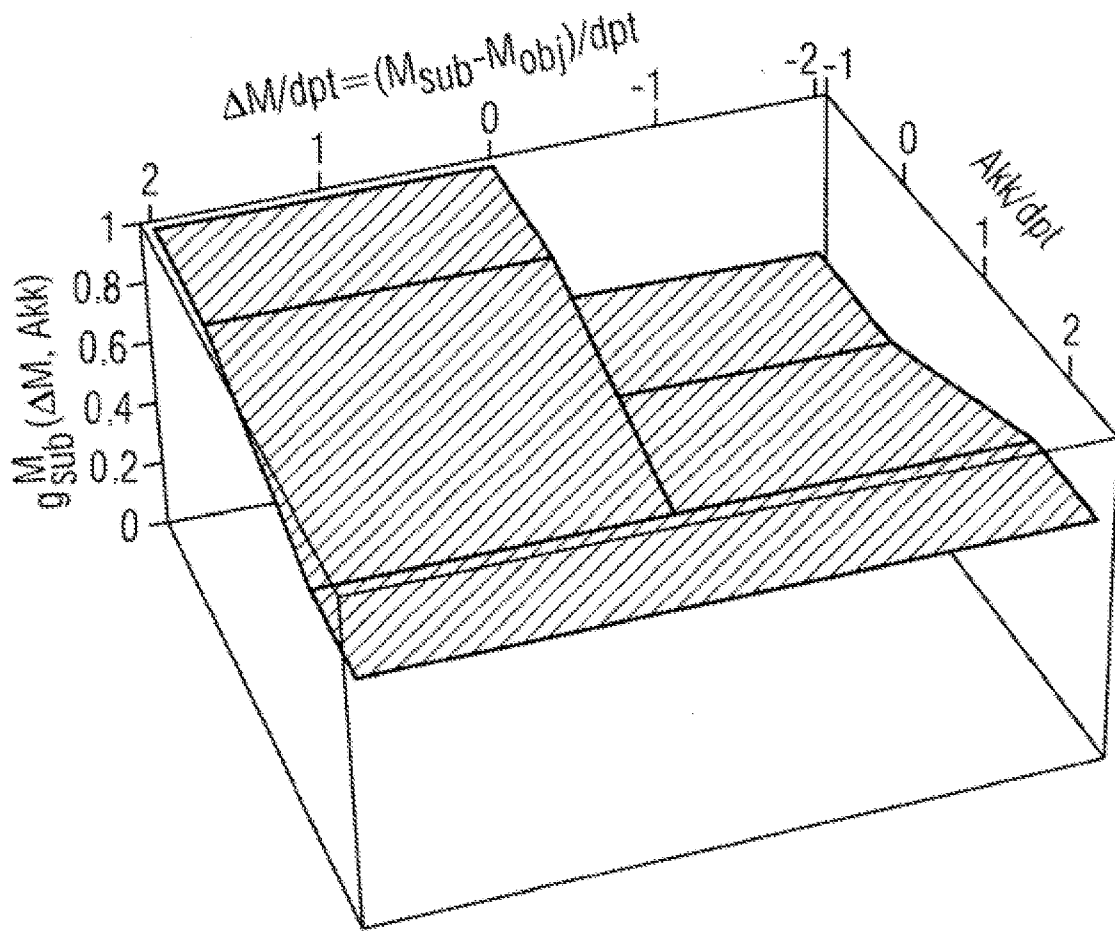


Fig. 4A

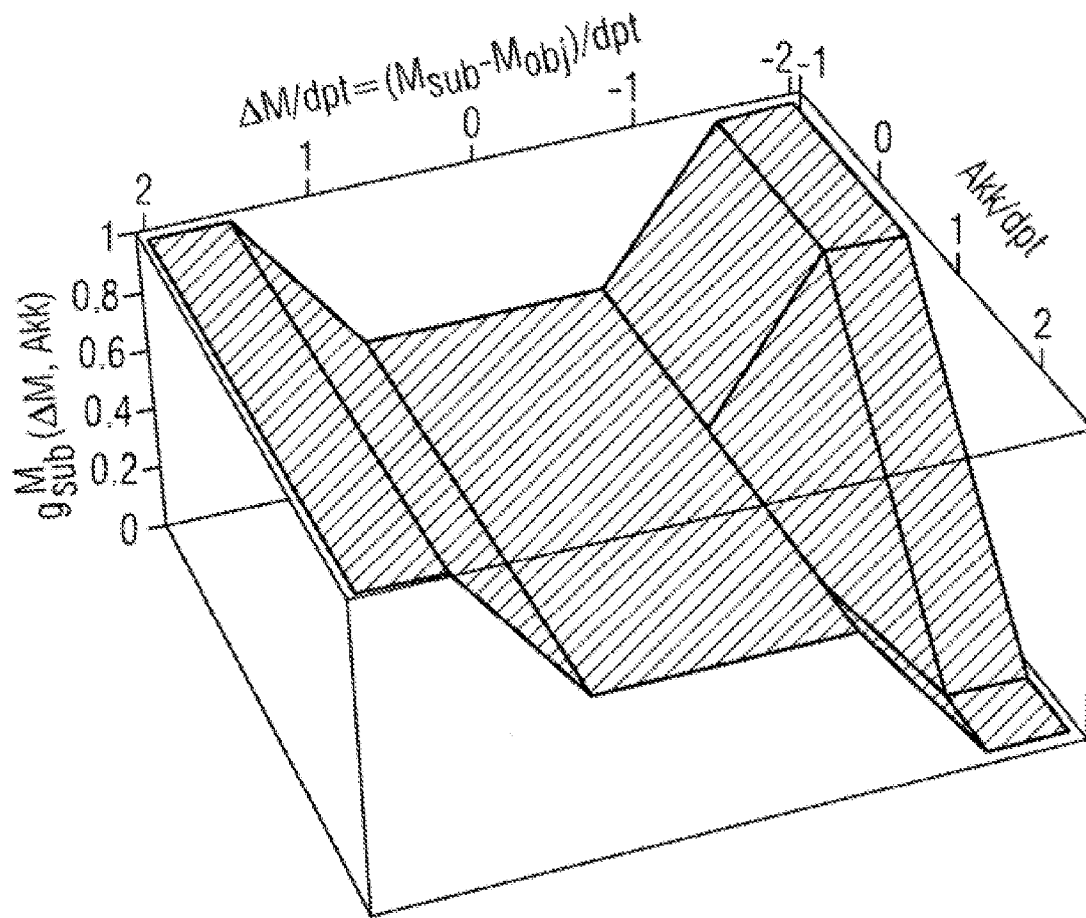


Fig. 4B

Diferencia procedimiento 1 ~ procedimiento 2 de M mesópico remoto combinado aparato 1

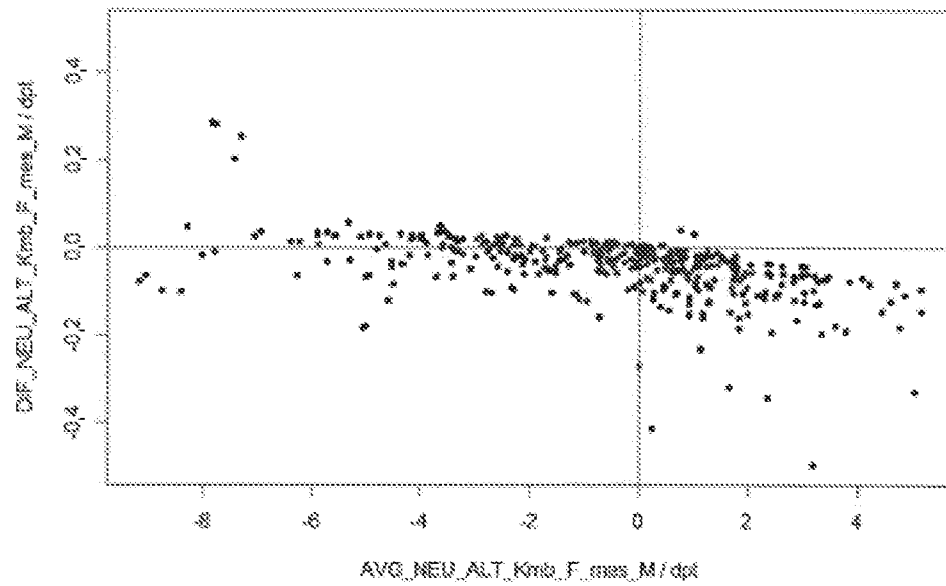


Fig. 5A

Diferencia procedimiento 1 ~ procedimiento 2 de J0 mesópico remoto combinado aparato 1

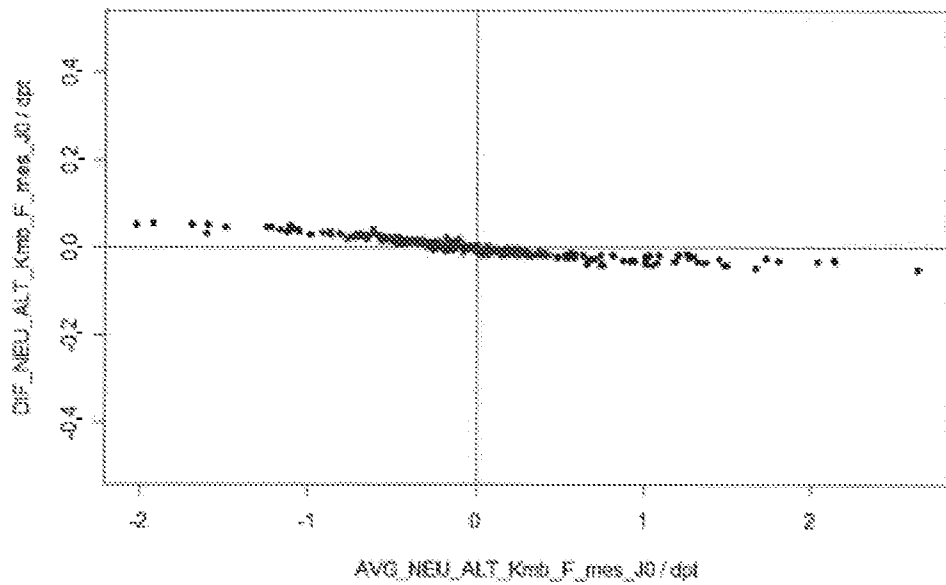


Fig. 5B

Diferencia procedimiento 1 – procedimiento 2 de J45 mesópico remoto combinado aparato 1

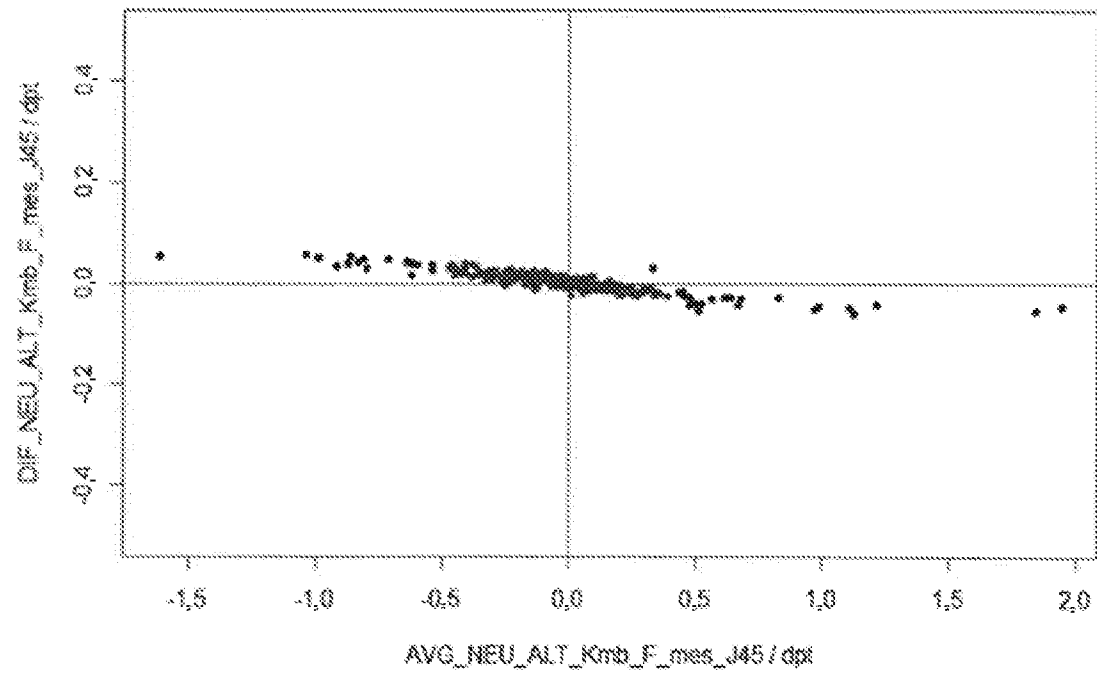


Fig. 5C

Diferencia procedimiento 1 – procedimiento 2 de M mesópico remoto combinado aparato 2

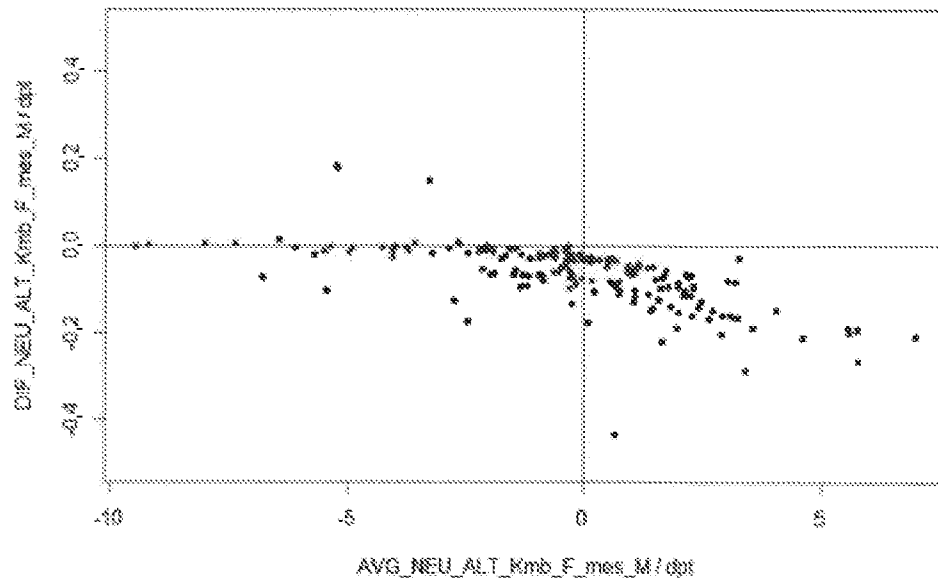


Fig. 6A

Diferencia procedimiento 1 – procedimiento 2 de J0 mesópico remoto combinado aparato 2

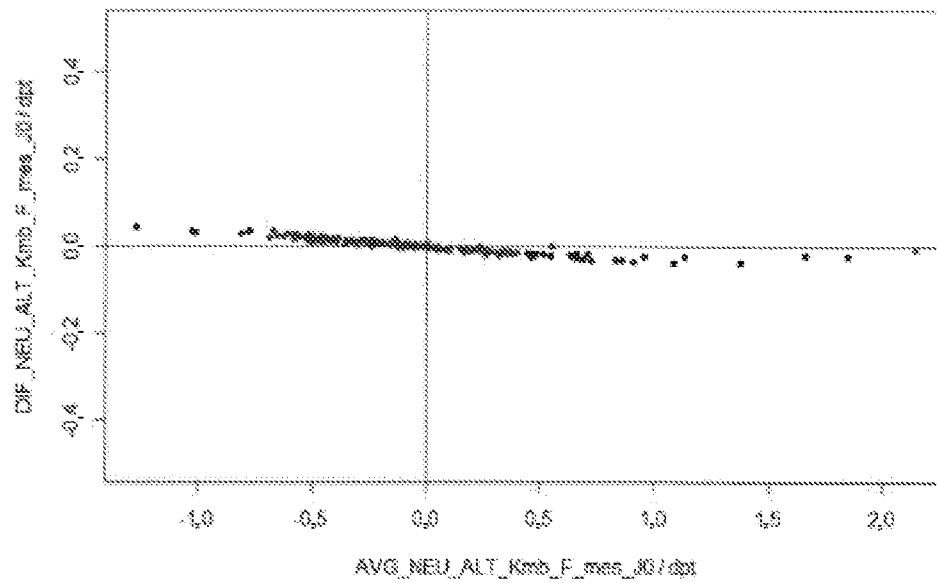


Fig. 6B

Diferencia procedimiento 1 – procedimiento 2 de J45 mesópico remoto combinado aparato 2

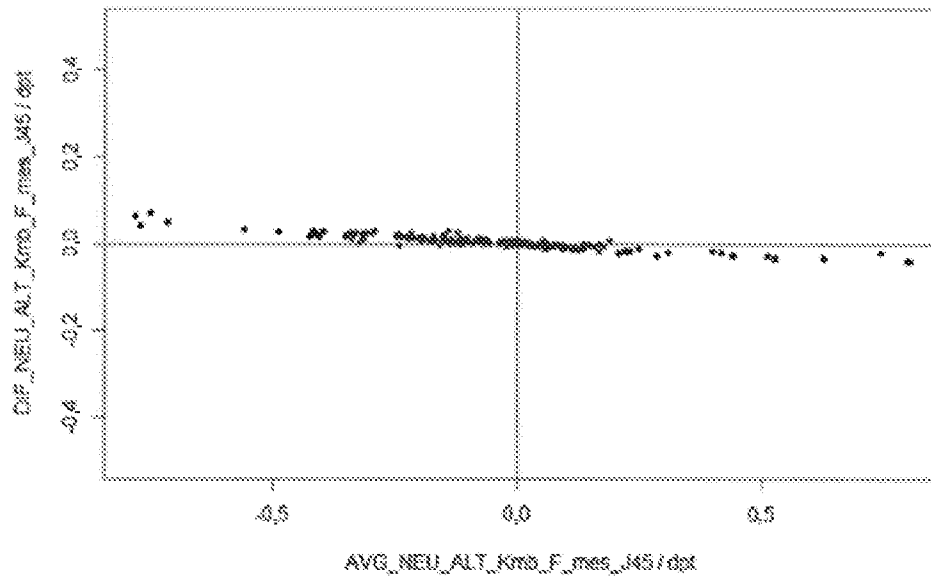


Fig. 6C

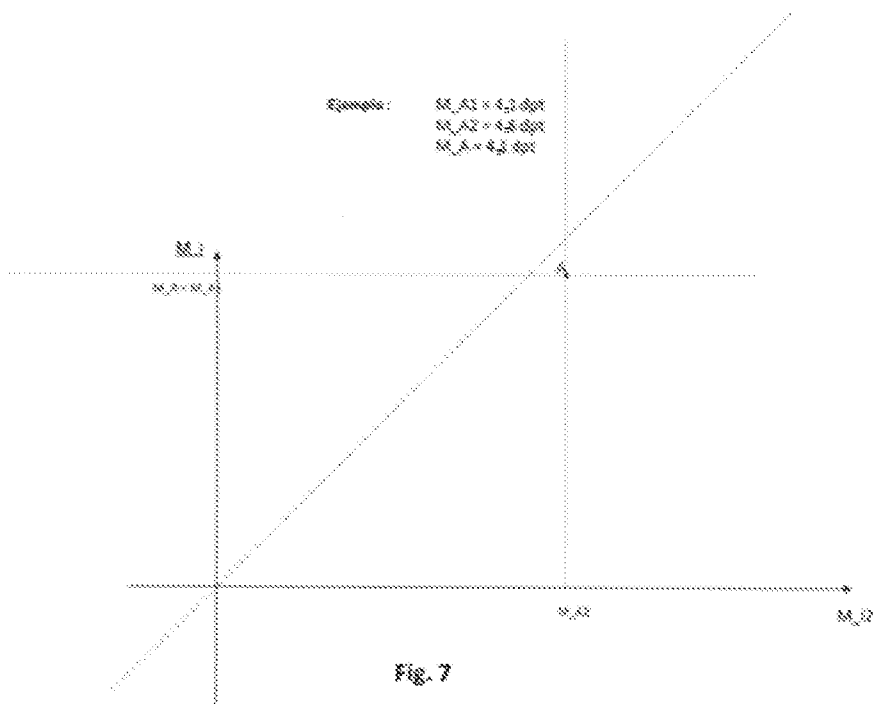


Fig. 7

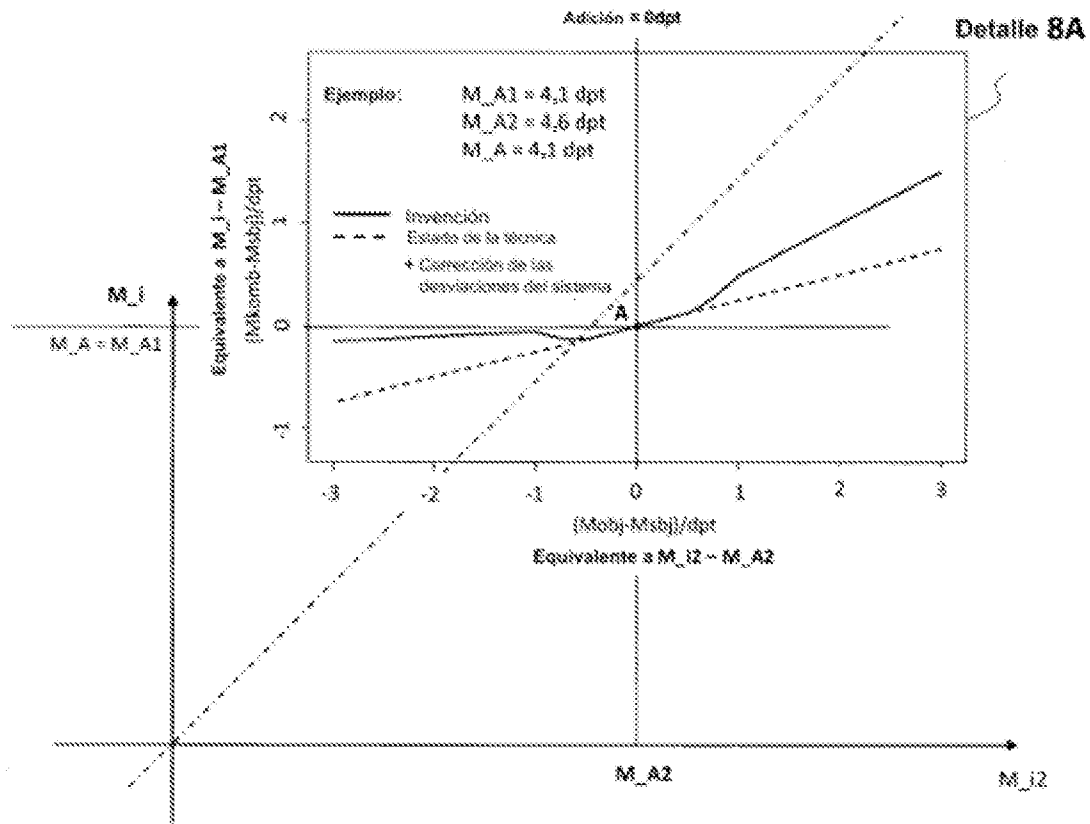


Fig. 8

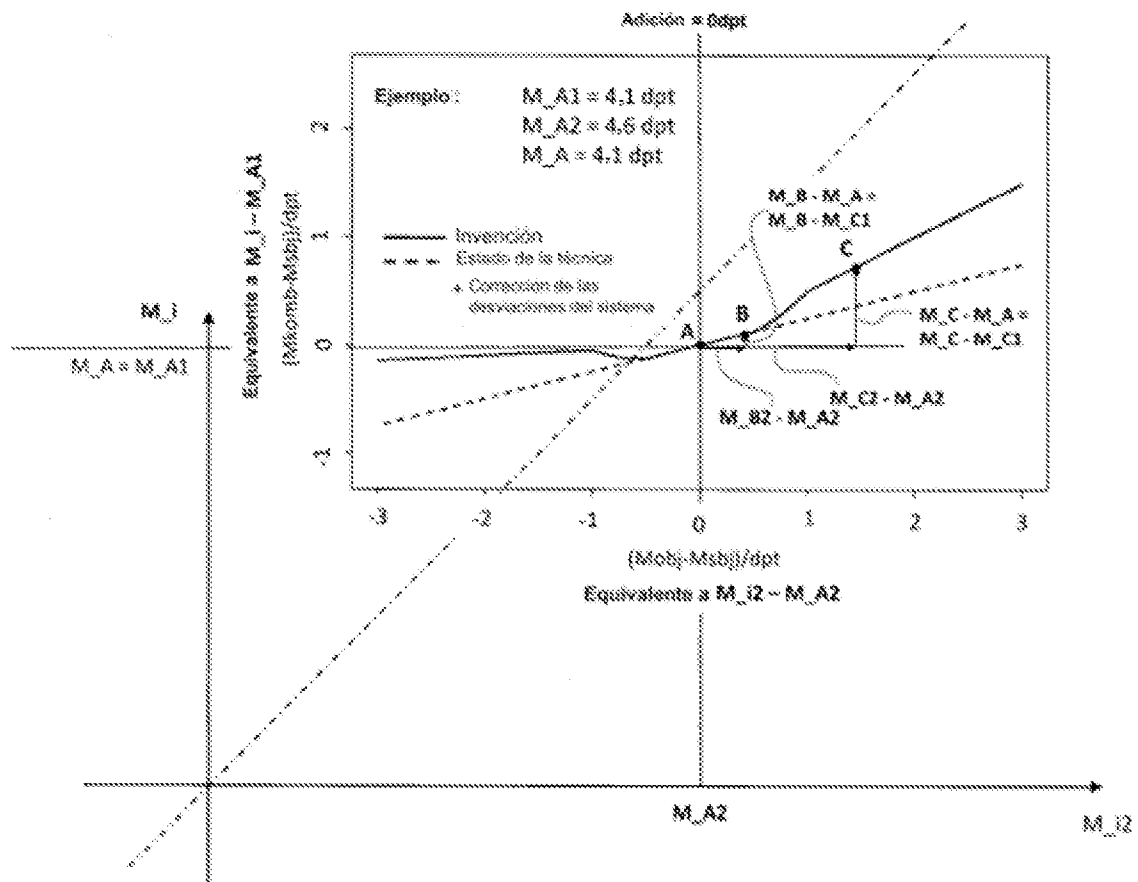


Fig. 9

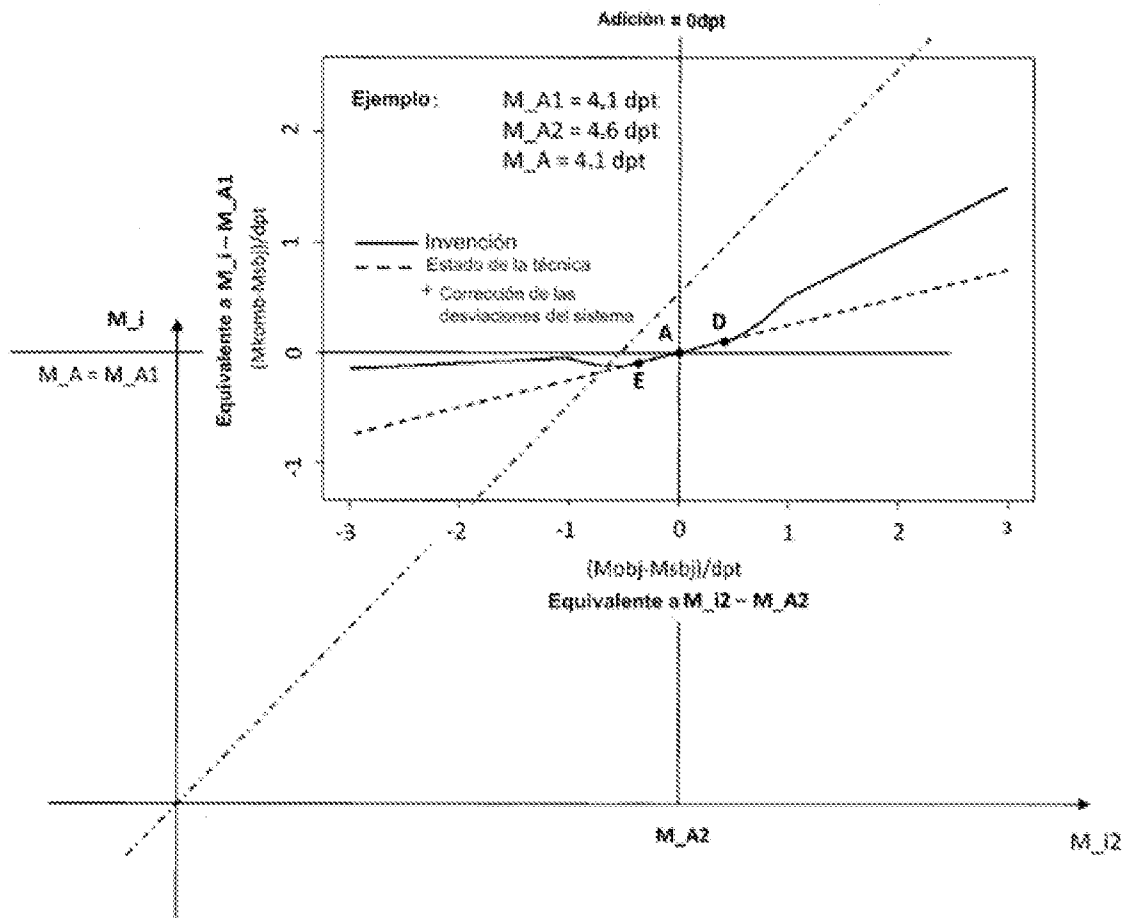


Fig. 10

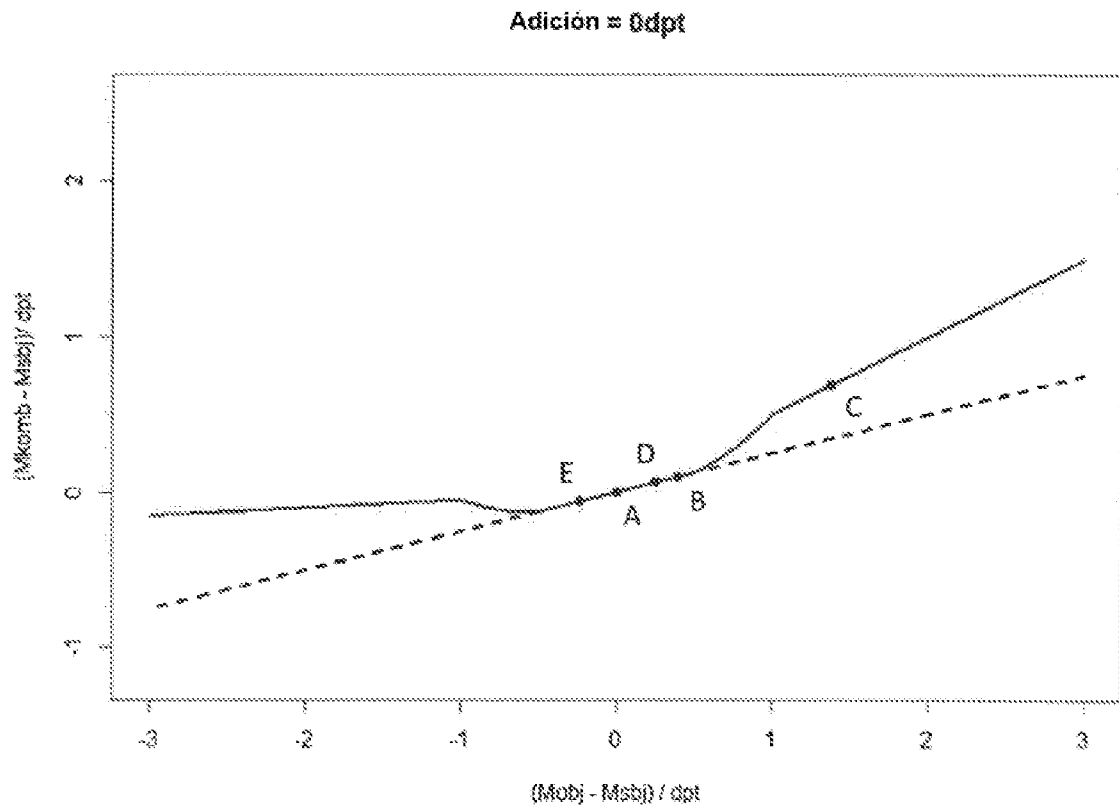


Fig. 11

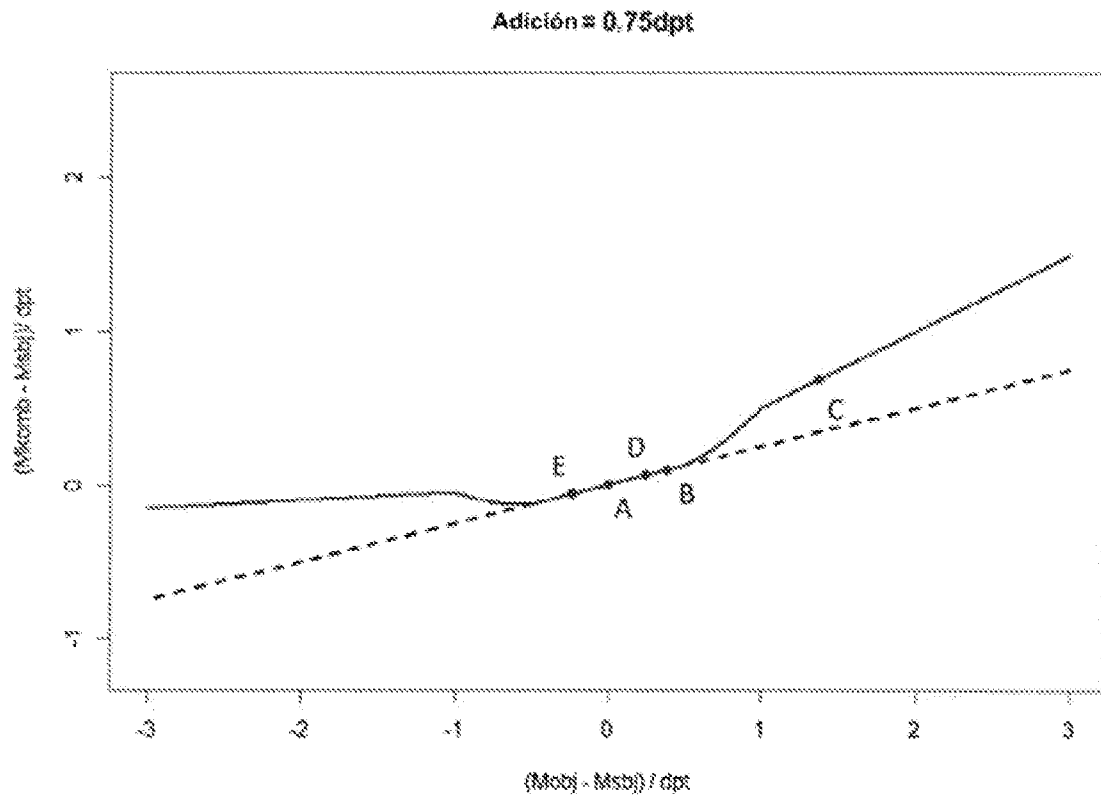
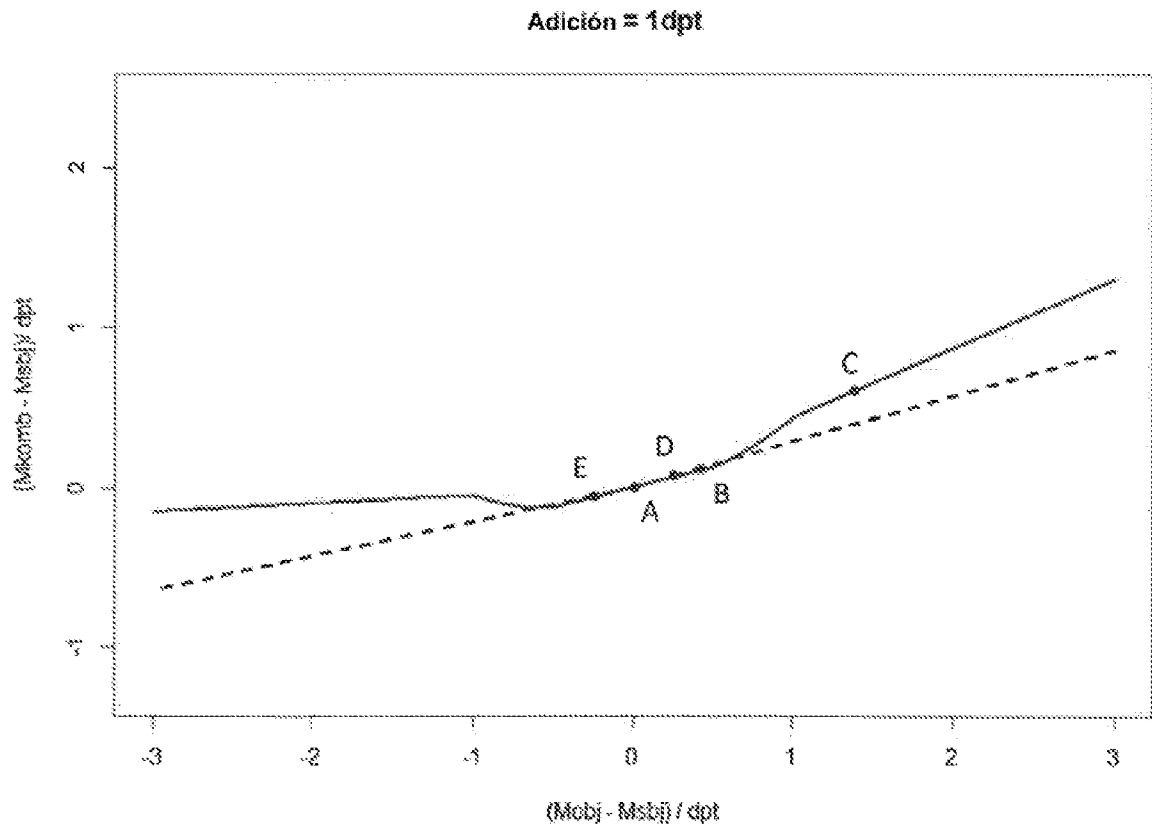


Fig. 12



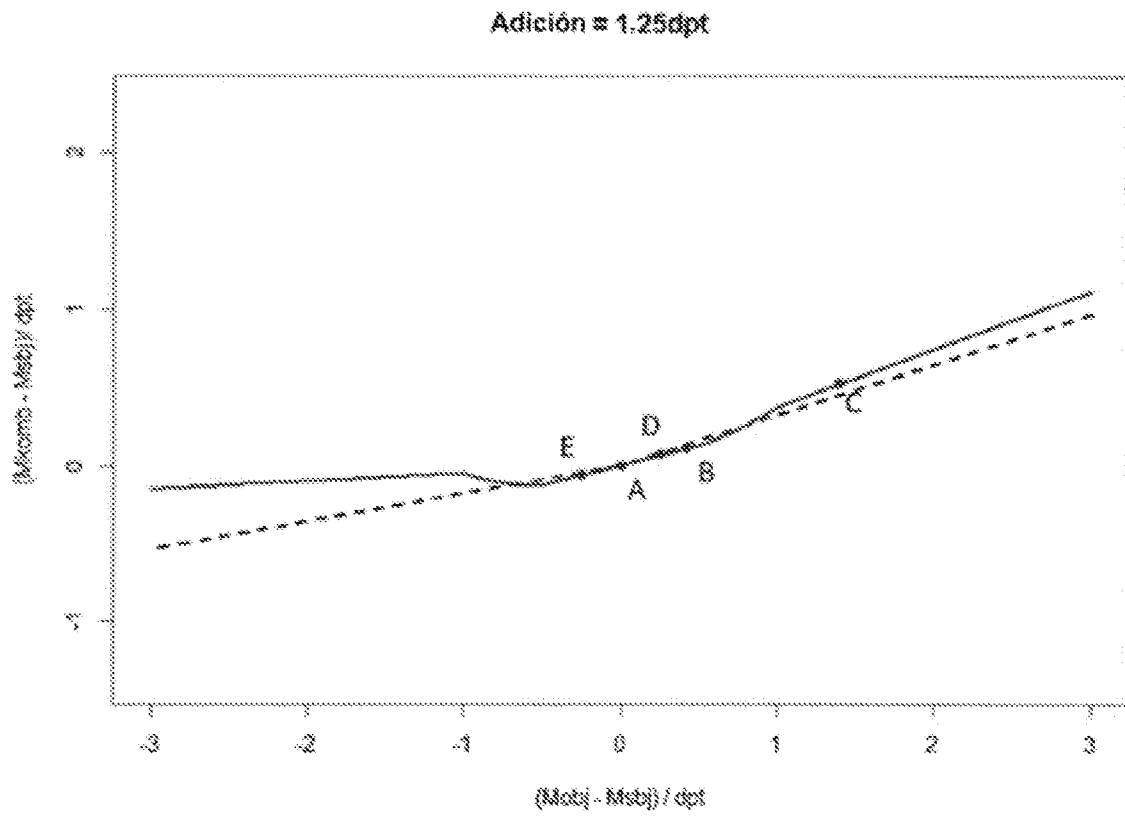


Fig. 14

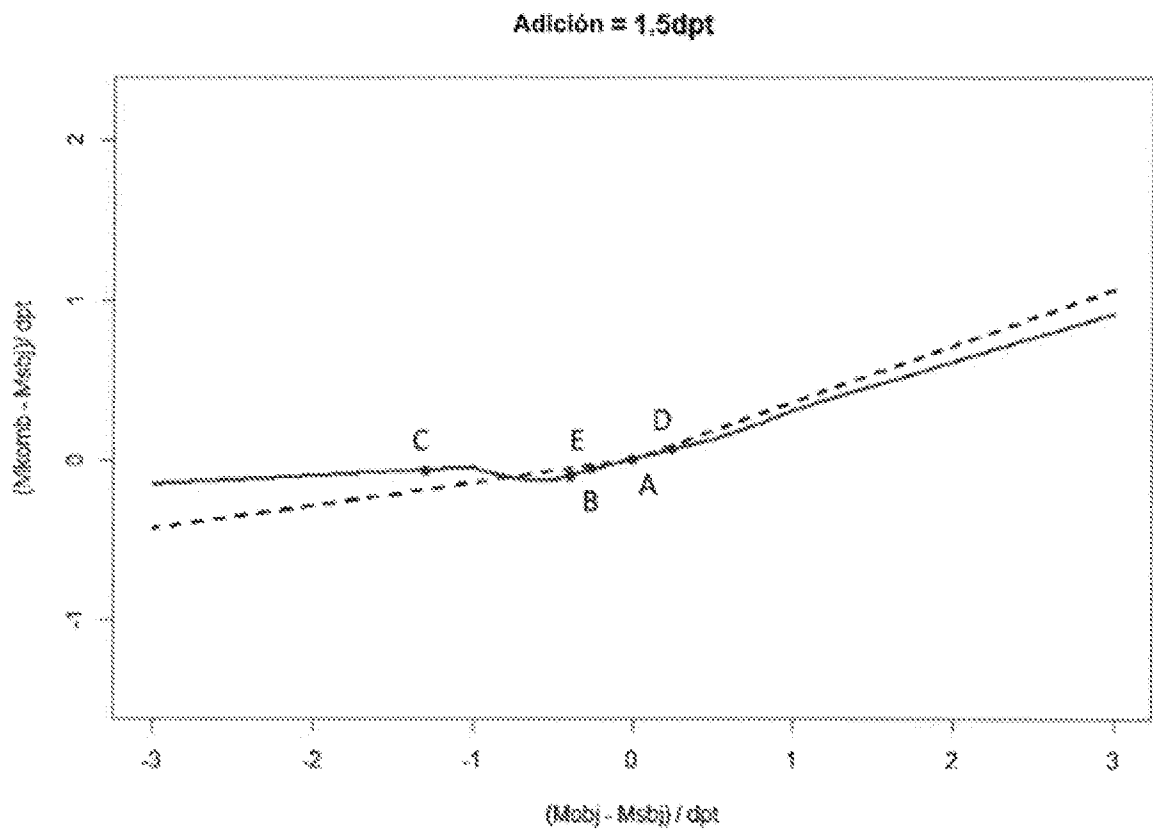


Fig. 15

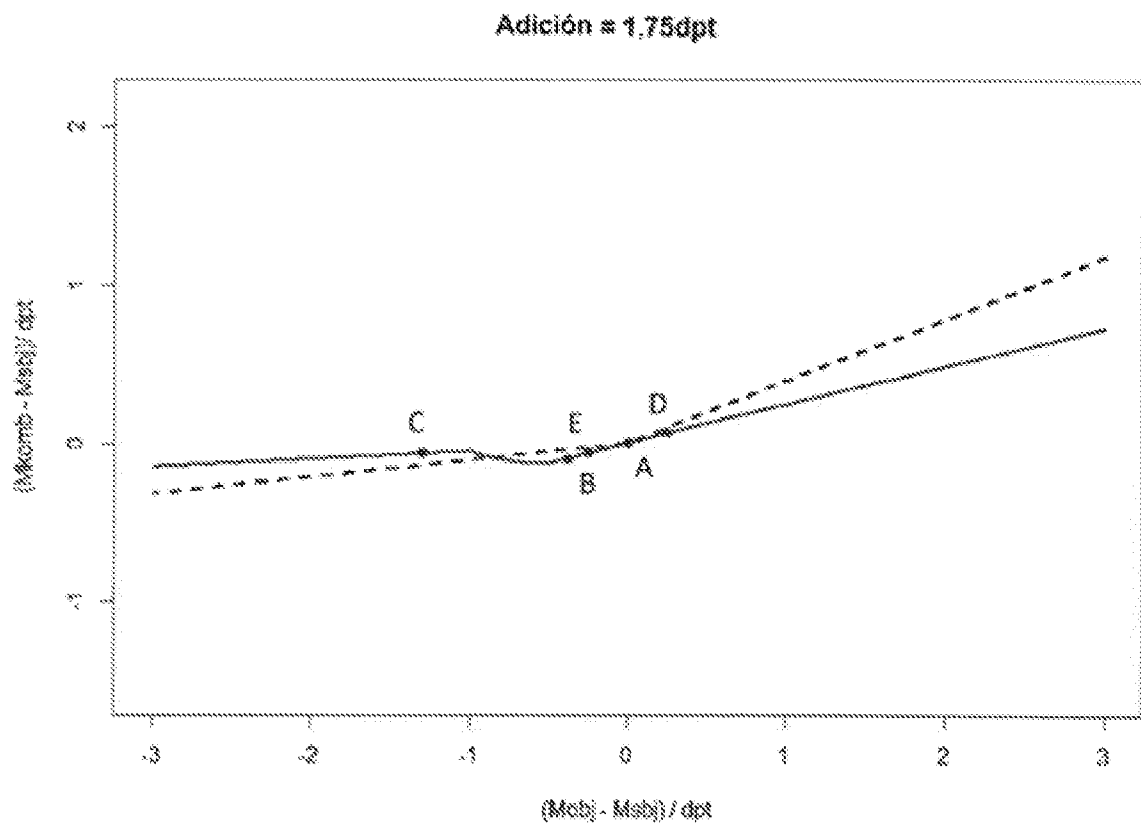


Fig. 16

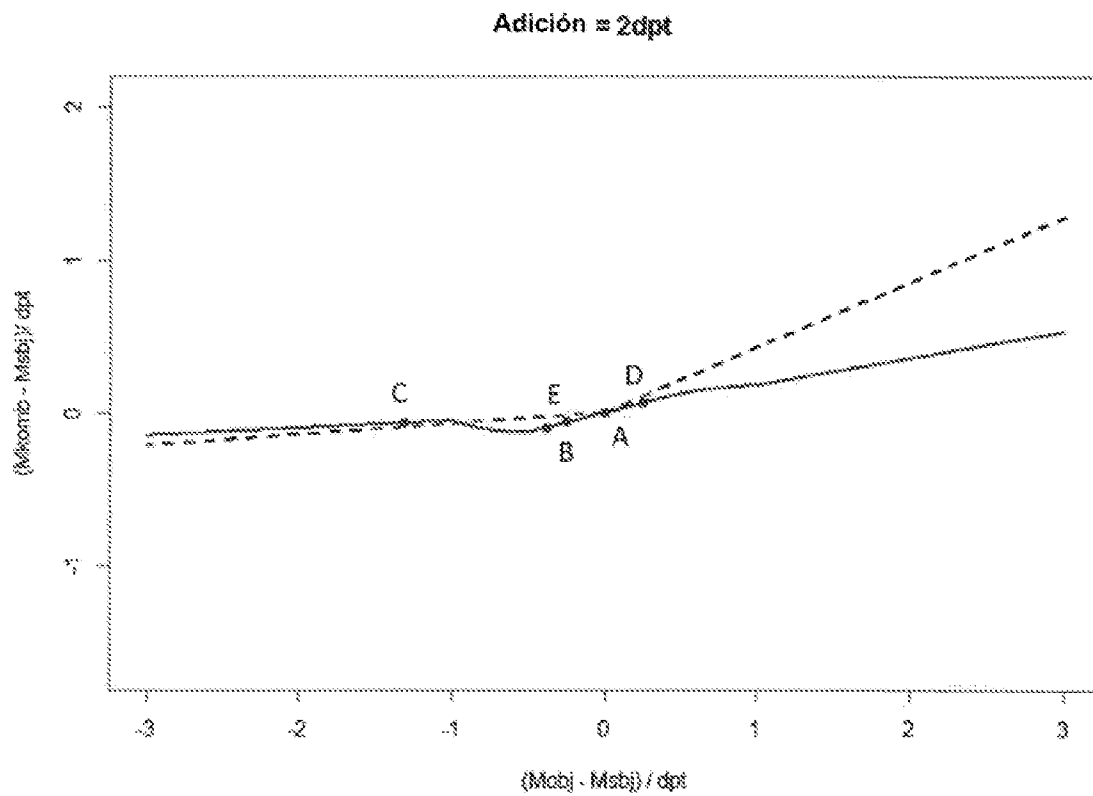


Fig. 17

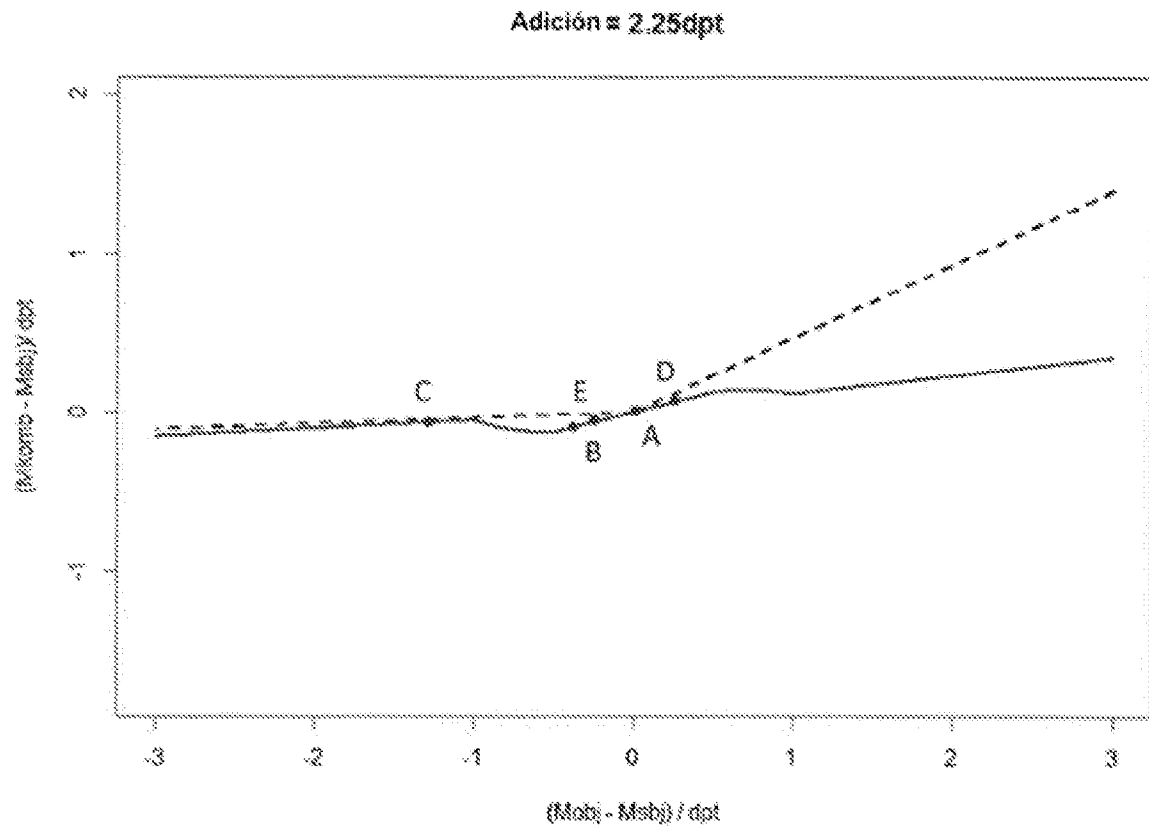


Fig. 18

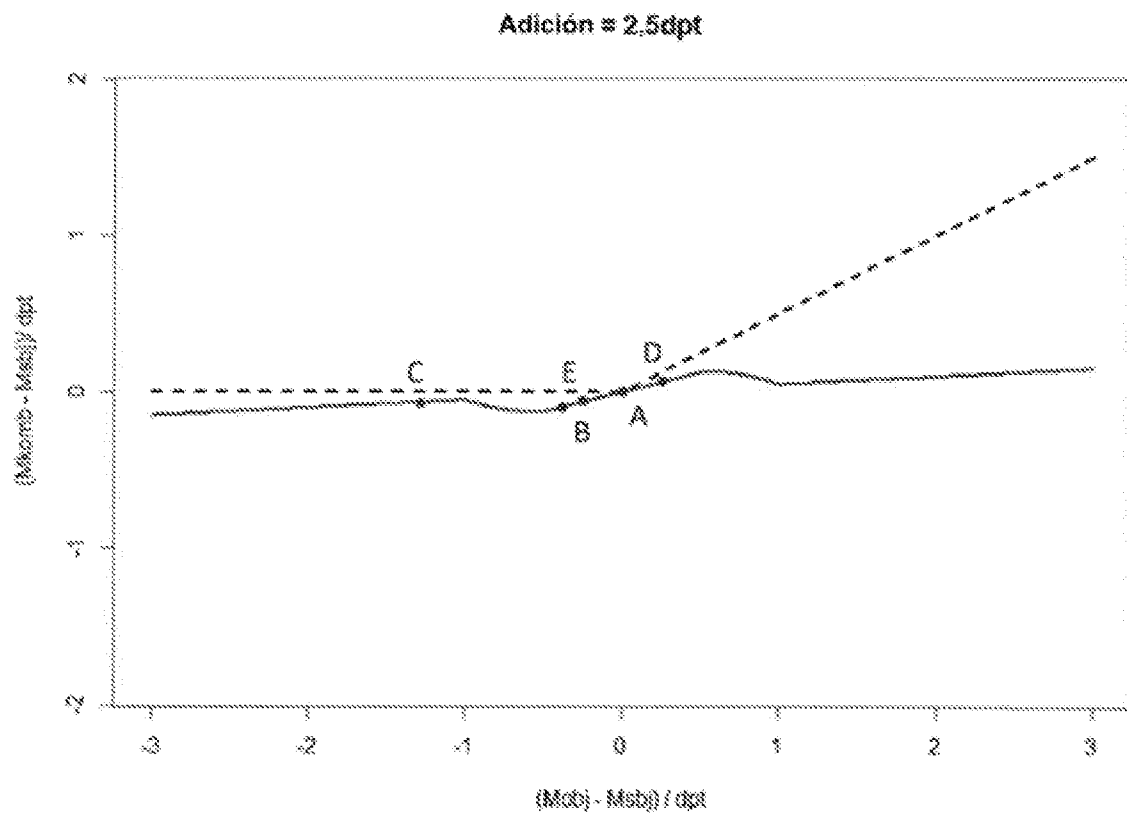


Fig. 19