



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 308 472**

51 Int. Cl.:
A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA

T5

96 Número de solicitud europea: **05728430 .9**

96 Fecha de presentación : **23.03.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1732471**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.12.2006**

54 Título: **Procedimiento para calcular la potencia requerida de un implante tórico.**

30 Prioridad: **06.04.2004 US 819020**

45 Fecha de publicación de la mención y de la traducción de patente europea: **01.12.2008**

45 Fecha de la publicación de la mención de la patente europea modificada BOPI: **04.11.2011**

45 Fecha de publicación de la traducción de patente europea modificada: **04.11.2011**

73 Titular/es: **ALCON, Inc.**
P.O. Box 62, Bösch 69
6331 Hünenberg, CH

72 Inventor/es: **Harris, Blake;**
Hoffman, James;
Hong, Xin;
Zhang, Xiaoxiao y
Hill, Warren E.

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 308 472 T5

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para calcular la potencia requerida de un implante tórico.

5 **Antecedentes de la invención**

La invención se refiere generalmente al campo de las lentes oftálmicas y, más particularmente, a las lentes tóricas intraoculares (por ejemplo, IOL pseodofáquicas, IOL fáquicas AC, IOL fáquicas PC, IOL de iris fijo, etc.).

10 Una de las funciones básicas del ojo humano consiste en proporcionar visión transmitiendo luz a través de una parte exterior transparente denominada córnea y mediante el cristalino enfocar la imagen a la retina. La calidad de la imagen enfocada depende de varios factores incluyendo el tamaño y la forma del ojo y de la transparencia de la córnea y del cristalino.

15 La potencia óptica del ojo se determina por la potencia óptica de la córnea y el cristalino. En el ojo normal, sano, las imágenes enfocadas se forman en la retina (emetrofia). En muchos ojos, las imágenes se forman o bien en la parte frontal de la retina debido a que el ojo es anormalmente largo (miopía axial), o se forma en la parte posterior de la retina debido a que el ojo es anormalmente corto (hipermetropía). La córnea y el cristalino también pueden ser no esféricos y regulares sino asimétricos o tóricos, dando como resultado un error refractivo cilíndrico no compensado denominados astigmatismo corneal o lenticular, que en combinación dan lugar a astigmatismo ocular. Finalmente, si se realiza un procedimiento quirúrgico en el ojo, el procedimiento en sí mismo puede inducir astigmatismo corneal.

25 Estos errores refractivos pueden corregirse utilizando un implante refractivo, cuando el cristalino natural permanece en su posición, o mediante una lente intraocular (IOL) que se utiliza para sustituir el cristalino natural. Con relación a un implante tórico, la magnitud de la potencia cilíndrica del implante, y la alineación exacta del implante con la asimetría de la córnea/ojo que ocurre naturalmente o que es inducida es necesaria para corregir el astigmatismo normal de la córnea/ojo. La importancia de la alineación del eje del implante con el de la córnea/ojo es importante debido a que incluso con magnitudes coincidentes del cilindro, cualquier desalineación del ojo da como resultado errores refractivos residuales no deseados tanto con la esfera como con el cilindro. Así, la desalineación del eje del cilindro del implante con el de la córnea/ojo va en detrimento del objetivo global de la formación óptima de la imagen retiniana. La criticidad de la alineación necesaria depende de la magnitud del cilindro corneal/ocular, especialmente para cilindros corneales/oculares de magnitud elevada.

35 Un procedimiento de la técnica anterior para predecir la potencia requerida de la IOL esférica basado en técnicas quirúrgicas se da a conocer en la patente US nº 5.709.218 (Holladay, *et al*). Este procedimiento, sin embargo, no utiliza análisis de vectores de potencia para determinar la potencia correcta o orientación de un implante tórico. Existen varios modelos matemáticos disponibles para evaluar astigmatismos inducidos quirúrgicamente. Autores como como Thibos, Holladay, Horner, Cravy y Koch han publicado documentos sobre la utilización de análisis de vectores de potencia para evaluar el error refractivo inducido por cirugía Lasik. Los procedimientos anteriores proporcionan las evaluaciones para corregir la efectividad. Éstos, sin embargo, no proporcionan una guía directa a los cirujanos sobre cómo efectuar la cirugía correctamente para optimizar el resultado refractivo. Además, estos modelos no tienen en cuenta la posición de la lente dentro del ojo. El documento US-A-2003/0214628 da a conocer un procedimiento de cálculo de potencia para un implante oftálmico tórico en común con las etapas (a) y (b) de la reivindicación 1 siguiente. El estado de la técnica es representado asimismo por el documento US-A-5.092.880.

45 Por lo tanto, continúa existiendo la necesidad de un procedimiento para calcular el error refractivo posoperatorio de un ojo que toma en consideración los errores astigmáticos tanto naturales como inducidos quirúrgicamente.

Breve resumen de la invención

50 La presente invención mejora la técnica anterior al proporcionar un procedimiento para calcular la potencia requerida de un implante tórico utilizando tanto el astigmatismo preoperatorio corneal/ocular como el astigmatismo predicho inducido quirúrgicamente, según las reivindicaciones siguientes. El astigmatismo inducido quirúrgico se predice utilizando análisis de vectores de potencia de la técnica quirúrgica empleada por el cirujano. Dicho procedimiento proporciona un procedimiento más preciso para calcular la potencia refractiva posoperativa del implante. El procedimiento puede implementarse manualmente, pero preferentemente se automatiza por implementación en un ordenador mediante los programas adecuados.

60 Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento para calcular la potencia requerida de un implante tórico utilizando tanto el astigmatismo medido preoperatorio corneal-ocular como el astigmatismo predicho inducido quirúrgicamente.

Otro objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento para calcular la potencia requerida de un implante tórico utilizando análisis de vectores de potencia de la técnica quirúrgica empleada por el cirujano.

65 Todavía otro objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento más preciso de cálculo de

la potencia refractiva requerida posoperativa del implante.

Éstas y otras ventajas y los objetivos de la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la descripción detallada y las reivindicaciones siguientes.

5

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de flujo que indica las etapas del procedimiento de la presente invención.

10 La figura 2 es una ilustración esquemática de un ojo con una lente intraocular situada físicamente en el plano del implante y situada virtualmente en el plano corneal.

Descripción detallada de la invención

15 El procedimiento 10 de la presente invención comprende generalmente determinar la magnitud del error astigmático de un paciente basado en factores del paciente y factores del cirujano. Los factores del paciente (12) comprenden (i) la esfera media equivalente (MSE) del implante, (ii) la lectura K del meridiano de máxima pendiente (K_1) y eje (A_1) y la lectura K del meridiano de mínima pendiente (K_2) y eje (A_2), (iii) profundidad de la cámara anterior (ACD) o posición efectiva de la lente (ELP) y (iv) la refracción manifiesta del ojo completo (en el caso de calcular el astigmatismo ocular). Los factores de cirujano (14) comprenden el tamaño de incisión y posición (incisión) y el cambio refractivo inducido quirúrgicamente (SIRC) habitual para el cirujano individual. Tanto los factores de paciente 20 como los factores de cirujano 14 se analizan en la etapa 16 utilizando análisis de vectores de potencia. La etapa 16 puede utilizar cualquiera entre una variedad de fórmulas matemáticas bien conocidas en la técnica, ahora se comentará una técnica adecuada. La prescripción esferocilíndrica (S, C y α), en convención optométrica (formato -cil) o en convención oftalmológica (formato +cil), puede describirse por M, J_0 y J_{45} como sigue:

25

$$\begin{aligned} M &= S + \frac{C}{2}; \\ J_0 &= -\frac{C}{2} \cos(2\alpha); \\ J_{45} &= -\frac{C}{2} \sin(2\alpha); \\ B &= \sqrt{M^2 + J_0^2 + J_{45}^2} \end{aligned} \quad (1)$$

30

en las que B se denomina la fuerza difusa. Es el desenfoque dióptrico equivalente en el plano de la confusión mínima.

El error refractivo en formato de los vectores de potencia puede convertirse de nuevo a formato esferocilíndrico. Ya que las convenciones optométrica (formato -cil) y oftalmológica (formato +cil) se pueden intercambiar fácilmente, la conversión desde M, J_0 y J_{45} a la convención optométrica (formato -cil) se presenta en la ecuación (2).

35

$$\begin{aligned} C &= -2\sqrt{J_0^2 + J_{45}^2}; \\ S &= M - \frac{C}{2}; \\ \alpha &= \begin{cases} \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) & J_0 \geq 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) \geq 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 180^\circ & J_0 \geq 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) < 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 90^\circ & J_0 < 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) \geq 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 90^\circ & J_0 < 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

El eje cilíndrico en prescripción clínica está habitualmente comprendido entre 0° y 180°. Para situar el eje dentro de su intervalo legítimo, pueden encontrarse cuatro condiciones diferentes, mostradas en la ecuación (2).

El procedimiento actual de incisión corneal de cirugía de cataratas causa tanto el aplanamiento como el aumento de la pendiente de la superficie corneal en meridianos asociados con las posiciones de las incisiones. Esto crea un cambio medible en la potencia del cilindro y desviación del eje cilíndrico en refracción posoperatoria. El cambio astigmático inducido quirúrgicamente debería tomarse en cuenta al predecir el astigmatismo posoperatorio y es posible a continuación utilizar un implante tórico para neutralizar el astigmatismo en la totalidad del ojo. Utilizando la ecuación (1), el error refractivo corneal, $S_{Córnea}$, $C_{Córnea}$ y $\alpha_{Córnea}$, y los cambios refractivos inducidos quirúrgicamente, (SIRC), S_{SIRC} , C_{SIRC} y α_{SIRC} , pueden convertirse en vectores de potencia. Por simplicidad, el vector de potencia de error refractivo corneal se denota como (M, J_0, J_{45}) y el vector de potencia de SIRC se denota como (M', J_0', J_{45}') . El vector de potencia para el error refractivo predicho corneal posoperatorio es la suma de los vectores potencia corneal y vectores potencia SIRC.

$$\begin{aligned} Rx_{Córnea} &= (M, J_0, J_{45}), Rx_{SIRC}' = (M', J_0', J_{45}') \\ Rx_{Xcil} &= Rx_{Córnea} + Rx_{SIRC}' = (M + M', J_0 + J_0', J_{45} + J_{45}') \end{aligned} \quad (3)$$

En el caso del ojo completo, el error refractivo del ojo completo es S_{Ojo} , C_{Ojo} y α_{Ojo} y por lo tanto las ecuaciones pueden reescribirse como:

$$\begin{aligned} Rx_{Ojo} &= (M, J_0, J_{45}), Rx_{SIRC}' = (M', J_0', J_{45}') \\ Rx_{Xcil} &= Rx_{Ojo} + Rx_{SIRC}' = (M + M', J_0 + J_0', J_{45} + J_{45}') \end{aligned}$$

El vector corneal/ocular predicho posoperatorio puede convertirse a formato convencional esfero-cilíndrico utilizando la ecuación (2). Los resultados de la conversión se etiquetan como S_{Xcil} , C_{Xcil} , y α_{Xcil} , debido a que son los resultados de cálculos de cilindros cruzados.

Para la selección de los implantes tóricos, el foco recaerá en los componentes cilíndricos C_{Xcil} y α_{Xcil} . En el plano corneal, se requiere una corrección tórica con C_{Xcil} y α_{Xcil} . Sin embargo, la corrección tórica necesaria en el plano del implante es diferente de la del plano corneal debido a la propiedad de transferencia de potencia desde el plano corneal al plano del implante. El implante tórico presenta la potencia del cilindro y eje cilíndrico descrito por la ecuación (4).

$$\begin{aligned} C_{Implante} &= CF * C_{Xcil} \\ \alpha_{Implante} &= \alpha_{Xcil} \end{aligned} \quad (4)$$

en la que CF es el factor de conversión entre el plano corneal y el plano del implante.

Desde los valores calculados $C_{Implante}$ y $\alpha_{Implante}$, puede seleccionarse el modelo apropiado de implante tórico y el implante seleccionado se situará en el meridiano indicado por $\alpha_{Implante}$.

El análisis de vector contemplado en la etapa 16 da como resultado un astigmatismo calculado corneal/ocular posoperatorio 18, que toma en consideración tanto factores de paciente 12 como factores de cirujano 14. Si el implante es una lente intraocular (IOL), el error cilíndrico predicho calculado en la etapa 18 en el plano corneal se traslada a un error cilíndrico requerido en el plano del implante en la etapa 20.

En la exposición siguiente, la regla general es que la potencia del componente óptico está indicada por "P" y la vergencia por "L". Se define $P_{Córnea}$ como la potencia de la córnea en un cierto meridiano, $P_{Implante}$ como la potencia del implante, $P_{Implante}'$ como la potencia equivalente del implante en el plano corneal, $L_{Córnea}$ como la vergencia inmediatamente después del plano corneal, $L_{Implante}$ como la vergencia en el primer plano principal del implante, $L_{Implante}'$ como la vergencia en el segundo plano principal del implante, n como el índice refractivo del humor acuoso, y d es la distancia entre la córnea y el primer plano principal del implante.

Generalmente, $L_{Córnea}$ es igual a la suma de vergencia de una corrección óptica en el plano corneal y la potencia de la córnea.

$$L_{\text{córnea}} = L_{\text{Rx}} + P_{\text{córnea}} \quad (5)$$

en la que L_{Rx} es la vergencia de corrección óptica en el plano corneal. Para un ojo emétrico después de cirugía de cataratas, L_{Rx} es igual a cero. En la exposición siguiente, si no se menciona específicamente, se considera que $L_{\text{córnea}}$ es la misma que $P_{\text{córnea}}$.

Como se muestra en la figura 2, en la ilustración superior, el implante está dispuesto físicamente en el plano del implante. En la ilustración inferior, el implante está situado virtualmente en el plano corneal. El primer plano principal del implante en el plano del implante está indicado como FP, el segundo plano principal del implante en el plano del implante está indicado como SP. En ambos escenarios, la vergencia debería ser la misma antes de la cámara vítrea (es decir, en el plano SP). Al igualar la vergencia calculada desde dos escenarios diferentes, puede hallarse la relación que decida la potencia deseada del implante en el plano del implante. Más específicamente, el implante deseado en el plano del implante será una función de la vergencia inmediatamente después de la córnea ($L_{\text{Córnea}}$), la potencia deseada del implante en el plano corneal (P_{Implante}'), la distancia entre el segundo plano principal de la córnea (próximo a la superficie corneal anterior) y el primer plano principal del implante (d) e índice refractivo de humor acuoso (n). En la exposición del cálculo del valor tórico, d y n pueden fijarse como constantes.

$$P_{\text{IOL}} = f(L_{\text{córnea}}, P_{\text{Implante}}', d, n) = f_{d,n}(L_{\text{córnea}}, P_{\text{Implante}}') \quad (6)$$

Desde el primer sistema óptico, la vergencia en el plano SP es:

$$L_{\text{Implante}}' = \frac{L_{\text{córnea}}}{1 - \frac{d}{n} L_{\text{córnea}}} + P_{\text{Implante}} \quad (7)$$

Desde el segundo ajuste óptico virtual, considerando el desplazamiento de la posición del implante, la vergencia en el plano SP es:

$$L_{\text{Implante}}' = \frac{P_{\text{Implante}}' + L_{\text{córnea}}}{1 - \frac{d}{n} (P_{\text{Implante}}' + L_{\text{córnea}})} \quad (8)$$

Equiparando los lados derechos de las ecuaciones (7) y (8),

$$\frac{L_{\text{Córnea}}}{1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}} + P_{\text{Implante}} = \frac{P_{\text{Implante}}' + L_{\text{Córnea}}}{1 - \frac{d}{n} (P_{\text{Implante}}' + L_{\text{Córnea}})} \quad (9)$$

se obtiene lo siguiente:

$$P_{\text{Implante}}' = \frac{P_{\text{Implante}} \left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right)^2}{1 + \frac{d}{n} P_{\text{Implante}} \left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right)} \quad (10)$$

$$P_{\text{Implante}} = \frac{P_{\text{Implante}}'}{\left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right) \left(1 - \frac{d}{n} (P_{\text{Implante}}' + L_{\text{Córnea}})\right)} \quad (11)$$

La ecuación (10) calcula el implante equivalente en el plano corneal para un implante dado en el plano del implante. La ecuación (11) computa la potencia deseada del implante en el plano del implante según la potencia óptica

requerida en el plano corneal. El valor tórico deseado puede obtenerse tomando la diferencia entre las potencias mínima y máxima.

Asumiendo que la longitud óptica axial es AL_o , la potencia del implante requerida en el plano corneal puede calcularse como

$$P_{\text{Implante}}' = \frac{n}{AL_o} - L_{\text{Córnea}} \quad (12)$$

Por ejemplo, el paciente presenta una lectura k K1= 42,75 D x 120°, K2 = 44,75 D x 30°. Asumiendo que no existe astigmatismo inducido por el cirujano, el ojo emetrópico presenta una longitud axial de 23,65 mm, d= 5,20 mm y n= 1,336. Las potencias requeridas del implante en el plano corneal son 13,74 D x 120° y 11,74 D x 30°. Sustituyendo estos valores en la ecuación (11), las potencias del implante en el plano del implante son 21,13 D x 120° y 18,22 x 30°. Comparando el valor tórico de la córnea 2,00D, el implante debería presentar un valor tórico -2,91D, que proporciona un factor de conversión de 1,46.

La ecuación (11) comprende tanto $L_{\text{Córnea}}$ como P_{Implante} , por lo tanto, debe determinarse qué variable afecta más al cálculo de las potencias esférica y cilíndrica, siendo los efectos de estos dos factores en valores tóricos constantes al diferenciar la ecuación (11).

$$dP_{\text{Implante}} = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}' dP_{\text{Implante}} + \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{Córnea}}} dL_{\text{Córnea}} \quad (13)$$

$$Cil_{\text{Implante}} = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}' Cil_{\text{Implante}} + \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{Córnea}}} Cil_{\text{Córnea}} \quad (14)$$

$$C_1 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}', \quad C_2 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{Córnea}}} \quad (15)$$

en las que dP_{Implante} puede considerarse como el cambio de potencia esférica debido a escoger meridianos diferentes y por lo tanto puede tratarse como la potencia cilíndrica del implante, similarmente, dP_{Implante}' puede tratarse como la potencia cilíndrica del implante en el plano corneal, $dL_{\text{Córnea}}$ como la potencia cilíndrica de la córnea. Intuitivamente, la ecuación (14) significa que la potencia cilíndrica del implante es una función de su potencia en el plano corneal y la potencia cilíndrica de la córnea, que se muestra en la ecuación (15). Si los coeficientes antes de dP_{Implante}' (Cil_{Implante}') y $dL_{\text{Córnea}}$ ($Cil_{\text{Córnea}}$),

$$\frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}' \quad (16) \quad y$$

$$\frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{Córnea}}} \quad (17)$$

son constantes, la ecuación (14) podría ser una ecuación lineal. Sin embargo, estos dos coeficientes habitualmente no son constantes, sino funciones de P_{Implante}' y $L_{\text{Córnea}}$.

Con cálculos adicionales, puede determinarse que

$$C_1 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}' = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}(P_{\text{Implante}}' + L_{\text{Córnea}})\right)^2} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{córnea}}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}(P_{\text{Implante}} + L_{\text{córnea}})\right)^2} - \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}L_{\text{córnea}}\right)^2} \quad (19)$$

En la ecuación (15), el valor de cilindro deseado de IOL (Cil_{IOL}) en el plano corneal es igual a C_{Xcil} , y el cilindro corneal ($Cil_{\text{córnea}}$, comprendiendo astigmatismo inducido quirúrgicamente) es igual al error refractivo que debe corregirse, $-C_{Xcil}$.

Por lo tanto, la ecuación (15) puede reescribirse como:

$$Cil_{\text{Implante}} = (C_1 - C_2) * C_{Xcil} = CF * C_{Xcil} \quad (20)$$

CF = $C_1 - C_2$ es altamente dependiente de d y los valores corneales de K. Para potencias corneales dentro del intervalo normal de 35D - 55D, el factor de conversión (CF) puede calcularse con la ecuación (18) y (19) fijando d como el valor medio de cada región de interés.

Para 0 mm $\leq$ d < 0,25 mm, CF = 1,00;
 Para 0,25 mm $\leq$ d < 0,75 mm, CF = 1,02 - 1,04;
 Para 0,75 mm $\leq$ d < 1,25 mm, CF = 1,05 - 1,09;
 Para 1,25 mm $\leq$ d < 1,75 mm, CF = 1,08 - 1,14;
 Para 1,75 mm $\leq$ d < 2,25 mm, CF = 1,11 - 1,19;
 Para 2,25 mm $\leq$ d < 2,75 mm, CF = 1,15 - 1,24;
 Para 2,75 mm $\leq$ d < 3,25 mm, CF = 1,18 - 1,30;
 Para 3,25 mm $\leq$ d < 3,75 mm, CF = 1,21 - 1,37;
 Para 3,75 mm $\leq$ d < 4,25 mm, CF = 1,25 - 1,43;
 Para 4,25 mm $\leq$ d < 4,75 mm, CF = 1,29 - 1,51;
 Para 4,75 mm $\leq$ d < 5,25 mm, CF = 1,32 - 1,59;
 Para 5,25 mm < d < 5,75 mm, CF = 1,37 - 1,67;
 Para 5,75 mm < d < 6,25 mm, CF = 1,41 - 1,76;
 Para 6,25 mm < d < 6,75 mm, CF = 1,45 - 1,86;
 Para 6,75 mm < d < 7,25 mm, CF = 1,50 - 1,97;

Para los implantes, como los implantes refractivos, que están situados próximos a o en la córnea, la etapa 20 de transferencia de potencia no es necesario. Una vez que la potencia requerida del implante se determina en la etapa 18 y/o etapa 20, esta potencia calculada puede utilizarse para seleccionar el modelo de lentes apropiado y proporcionar el modelo de lente al operador en las etapas 22 y 24, respectivamente. El cálculo de la potencia de la lente y la posición axial pueden también proporcionarse al operador en las etapas 26 y 28, respectivamente. La presente invención por lo tanto, proporciona un procedimiento preciso para calcular la potencia requerida de un implante tórico utilizando tanto el astigmatismo medido corneal/ocular preoperatorio como el astigmatismo predicho inducido quirúrgicamente.

Esta descripción se proporciona a título ilustrativo y explicativo. Resultará evidente para los expertos en la materia relevante que pueden introducirse cambios y modificaciones en la invención descrita anteriormente dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (10) para calcular la potencia requerida de un implante tórico oftálmico, que comprende las etapas que consisten en:

a) determinar una refracción cilíndrica óptima necesaria para corregir errores esferocilíndricos refractivos en el ojo de un paciente, en el que dicha etapa de determinación comprende medir el astigmatismo corneal/ocular preoperatorio en el ojo del paciente

b) calcular un cambio refractivo predicho inducido quirúrgicamente al ojo del paciente; y

c) analizar la refracción cilíndrica óptima necesaria para corregir los errores refractivos esferocilíndricos en el ojo del paciente en combinación con el cambio refractivo predicho inducido quirúrgicamente al ojo del paciente para determinar la potencia requerida del implante tórico oftálmico

en el que las etapas de análisis para determinar la potencia requerida del implante oftálmico tórico comprenden las etapas adicionales que consisten en:

d) calcular la potencia tórica requerida de un implante oftálmico en un plano corneal y en un plano del implante, que comprende las etapas que consisten en:

e) utilizar las ecuaciones de vergencia para describir el sistema óptico de un ojo humano;

f) equiparar dos sistemas ópticos equivalentes cuando el implante está en el plano corneal y cuando éste está en el plano del implante;

g) calcular la potencia esférica del implante oftálmico en el plano corneal y en el plano del implante con las ecuaciones siguientes:

$$P_{\text{Implante}}' = \frac{P_{\text{Implante}} \left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right)^2}{1 + \frac{d}{n} P_{\text{Implante}} \left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right)}$$

$$P_{\text{Implante}} = \frac{P_{\text{Implante}}'}{\left(1 - \frac{d}{n} L_{\text{Córnea}}\right) \left(1 - \frac{d}{n} (P_{\text{Implante}}' + L_{\text{Córnea}})\right)}$$

y

h) calcular la potencia tórica del implante oftálmico en el plano corneal y en el plano del implante utilizando factores de paciente (12) que comprende la diferencia dióptrica de las potencias esféricas entre los meridianos curvos y planos.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además las etapas que consisten en:

a) describir el astigmatismo corneal/ocular y el astigmatismo inducido quirúrgicamente en términos de vectores;

b) calcular el astigmatismo predicho corneal/ocular posoperatorio con un análisis de vectores (16); y

c) convertir los resultados del análisis de vectores (16) de nuevo a formato convencional esferocilíndrico.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que dicho análisis de vectores (16) comprende utilizar la ecuación siguiente:

$$Rx_{\text{Córnea}} = (M, J_0, J_{45}) \quad Rx_{\text{SIRC}}' = (M', J_0', J_{45}') \\ Rx_{\text{Xcil}} = Rx_{\text{Córnea}} + Rx_{\text{SIRC}}' = (M + M', J_0 + J_0', J_{45} + J_{45}')$$

4. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa que consiste en convertir los resultados del análisis de vectores (16) de nuevo a formato convencional esfero-cilíndrico comprende utilizar la ecuación siguiente:

$$C = -2\sqrt{J_0^2 + J_{45}^2};$$

$$S = M - \frac{C}{2};$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) & J_0 \geq 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) \geq 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 180^\circ & J_0 \geq 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) < 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 90^\circ & J_0 < 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) \geq 0 \\ \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) + 90^\circ & J_0 < 0 \text{ \& } \tan^{-1} \left(\frac{J_{45}}{J_0} \right) < 0 \end{cases}$$

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las etapas que consisten en analizar para determinar la potencia requerida del implante oftálmico tórico, comprenden las etapas que consisten en:

a) calcular la potencia tórica del implante oftálmico en un plano corneal que utiliza la ecuación siguiente;

$$C_{il_{\text{Implante}}} = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}}, C_{il_{\text{Implante}}} + \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{Córnea}}} C_{il_{\text{Córnea}}}$$

b) calcular los coeficientes que describen la dependencia entre variables de la ecuación de la etapa a) utilizando la ecuación siguiente;

$$C_1 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial P_{\text{Implante}}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}(P_{\text{Implante}} + L_{\text{córnea}})\right)^2}$$

$$C_2 = \frac{\partial P_{\text{Implante}}}{\partial L_{\text{córnea}}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}(P_{\text{Implante}} + L_{\text{córnea}})\right)^2} - \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{n}L_{\text{córnea}}\right)^2}$$

y

c) determinar un factor de conversión (CF) para trasladar la potencia tórica del implante en el plano corneal a una potencia tórica del implante a un plano deseado del implante utilizando la ecuación siguiente;

$$C_{il_{\text{Implante}}} = (C_1 - C_2) * C_{X_{cil}} = CF * C_{X_{cil}}$$

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el factor de conversión (CF) comprende los valores siguientes:

para $0 \text{ mm} \leq d < 0,25 \text{ mm}$, $CF = 1,00$;
 para $0,25 \text{ mm} \leq d < 0,75 \text{ mm}$, $CF = 1,02 - 1,04$;
 para $0,75 \text{ mm} \leq d < 1,25 \text{ mm}$, $CF = 1,05 - 1,09$;
 para $1,25 \text{ mm} \leq d < 1,75 \text{ mm}$, $CF = 1,08 - 1,14$;
 para $1,75 \text{ mm} \leq d < 2,25 \text{ mm}$, $CF = 1,11 - 1,19$;
 para $2,25 \text{ mm} \leq d < 2,75 \text{ mm}$, $CF = 1,15 - 1,24$;
 para $2,75 \text{ mm} \leq d < 3,25 \text{ mm}$, $CF = 1,18 - 1,30$;
 para $3,25 \text{ mm} \leq d < 3,75 \text{ mm}$, $CF = 1,21 - 1,37$;
 para $3,75 \text{ mm} \leq d < 4,25 \text{ mm}$, $CF = 1,25 - 1,43$;
 para $4,25 \text{ mm} \leq d < 4,75 \text{ mm}$, $CF = 1,29 - 1,51$;
 para $4,75 \text{ mm} \leq d < 5,25 \text{ mm}$, $CF = 1,32 - 1,59$;

para $5,25 \text{ mm} < d < 5,75 \text{ mm}$, $CF = 1,37 - 1,67$;
 para $5,75 \text{ mm} < d < 6,25 \text{ mm}$, $CF = 1,41 - 1,76$;
 para $6,25 \text{ mm} < d < 6,75 \text{ mm}$, $CF = 1,45 - 1,86$;
 para $6,75 \text{ mm} < d < 7,25 \text{ mm}$, $CF = 1,50 - 1,97$;

- 5 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dichos factores del paciente (12) comprenden, (i) la esfera media equivalente (MSE) del implante, (ii) la lectura K del meridiano más curvo (K_1) y el eje (A_1) y la lectura K del meridiano más plano (K_2) y el eje (A_2), (iii) la profundidad de la cámara anterior (ACD) o la posición de la lente efectiva (ELP) y (iv) la refracción manifiesta del ojo completo (en el caso de calcular el astigmatismo ocular), y en el que los factores del cirujano (14) comprenden el tamaño y la posición de incisión y el cambio refractivo inducido quirúrgicamente (SIRC) típico para el cirujano individual.
- 10

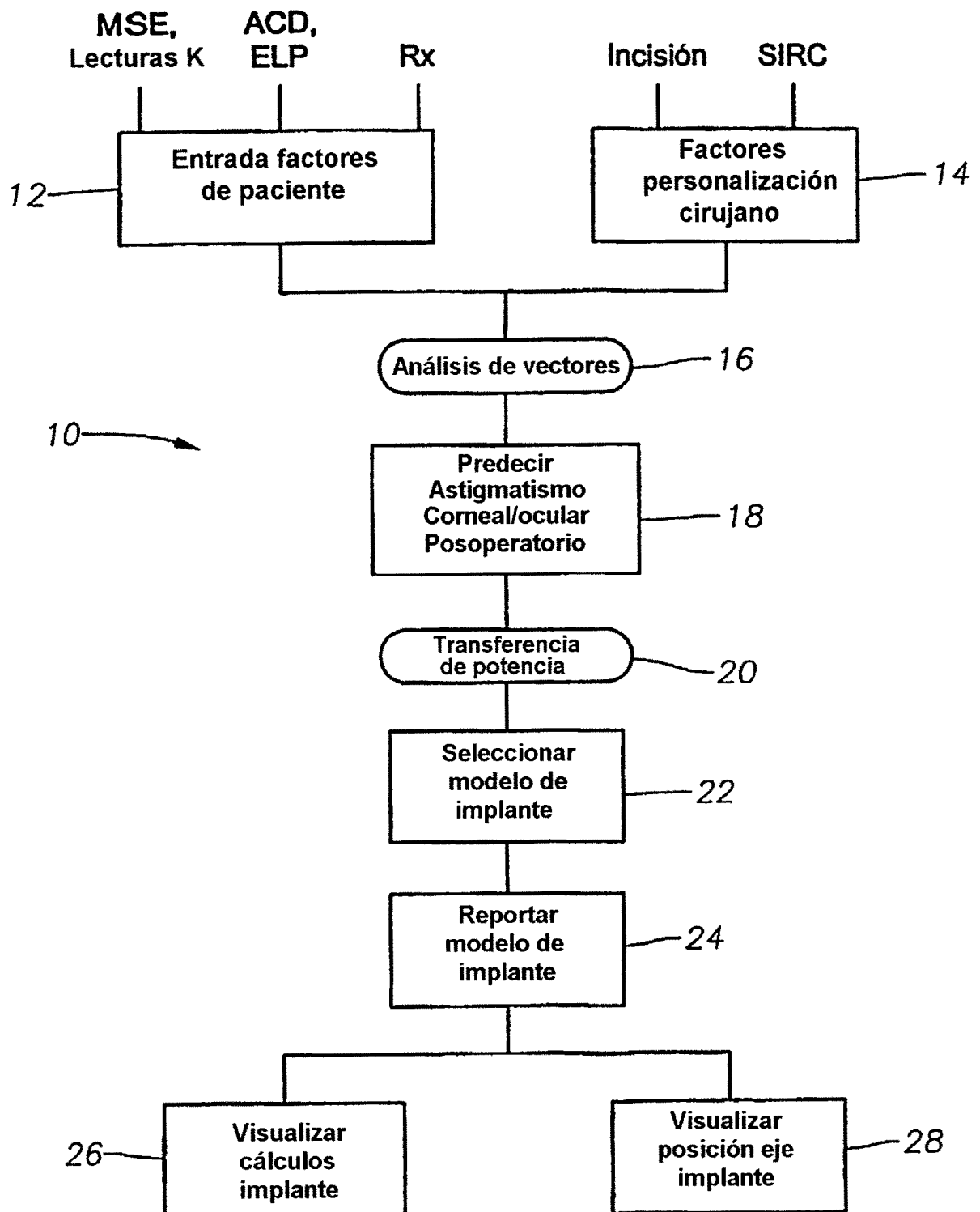


Fig. 1

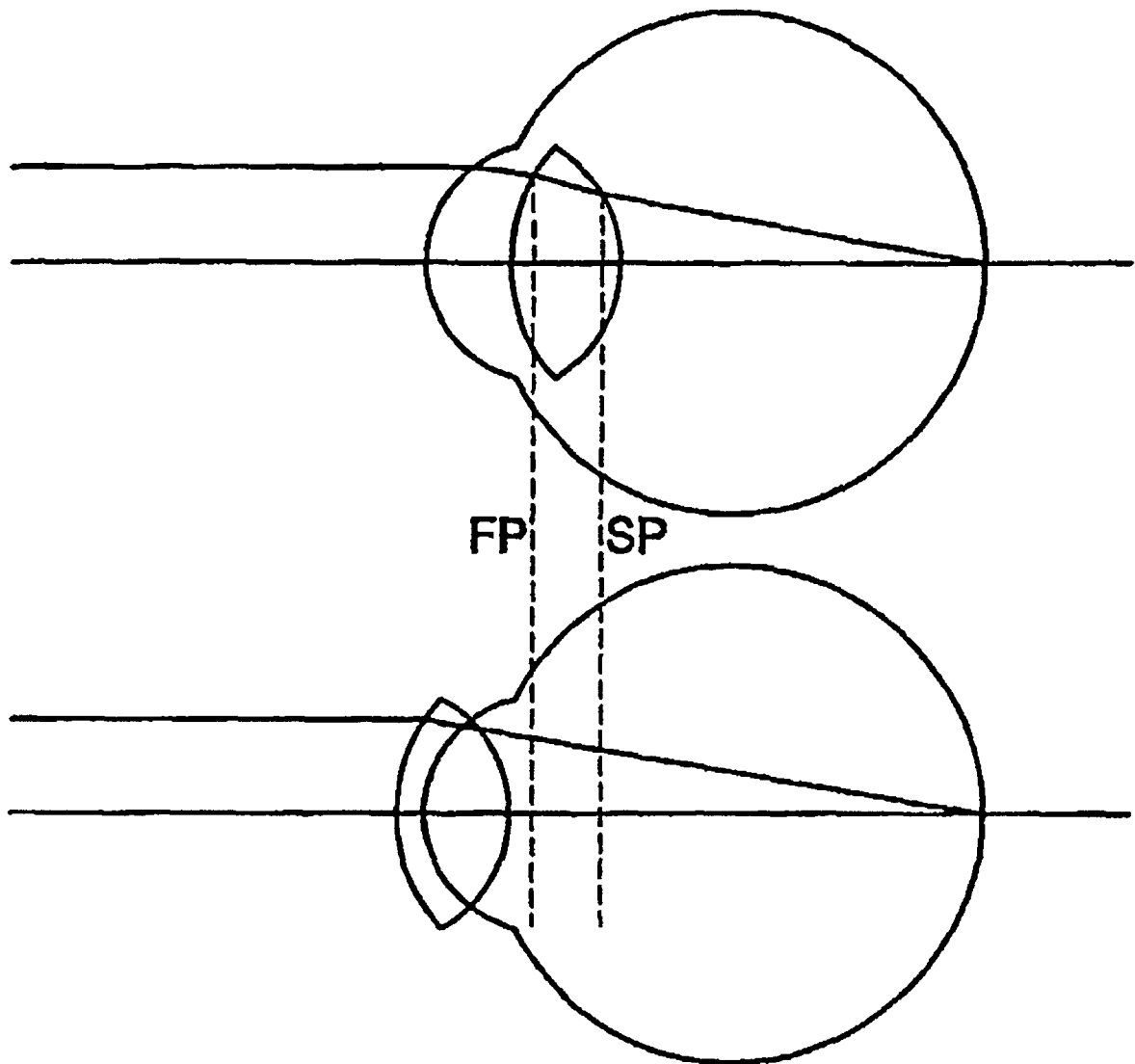


Fig. 2

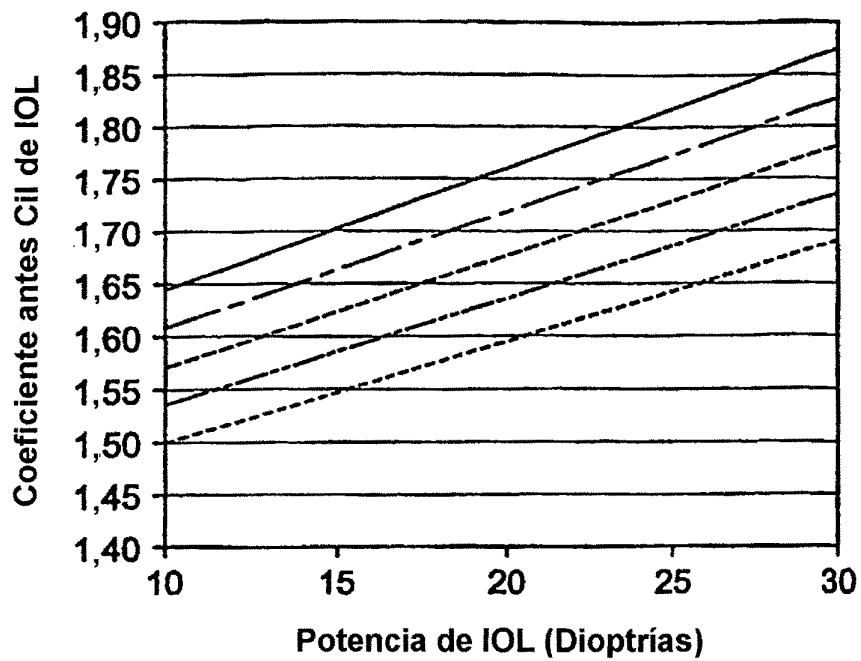


Fig. 3

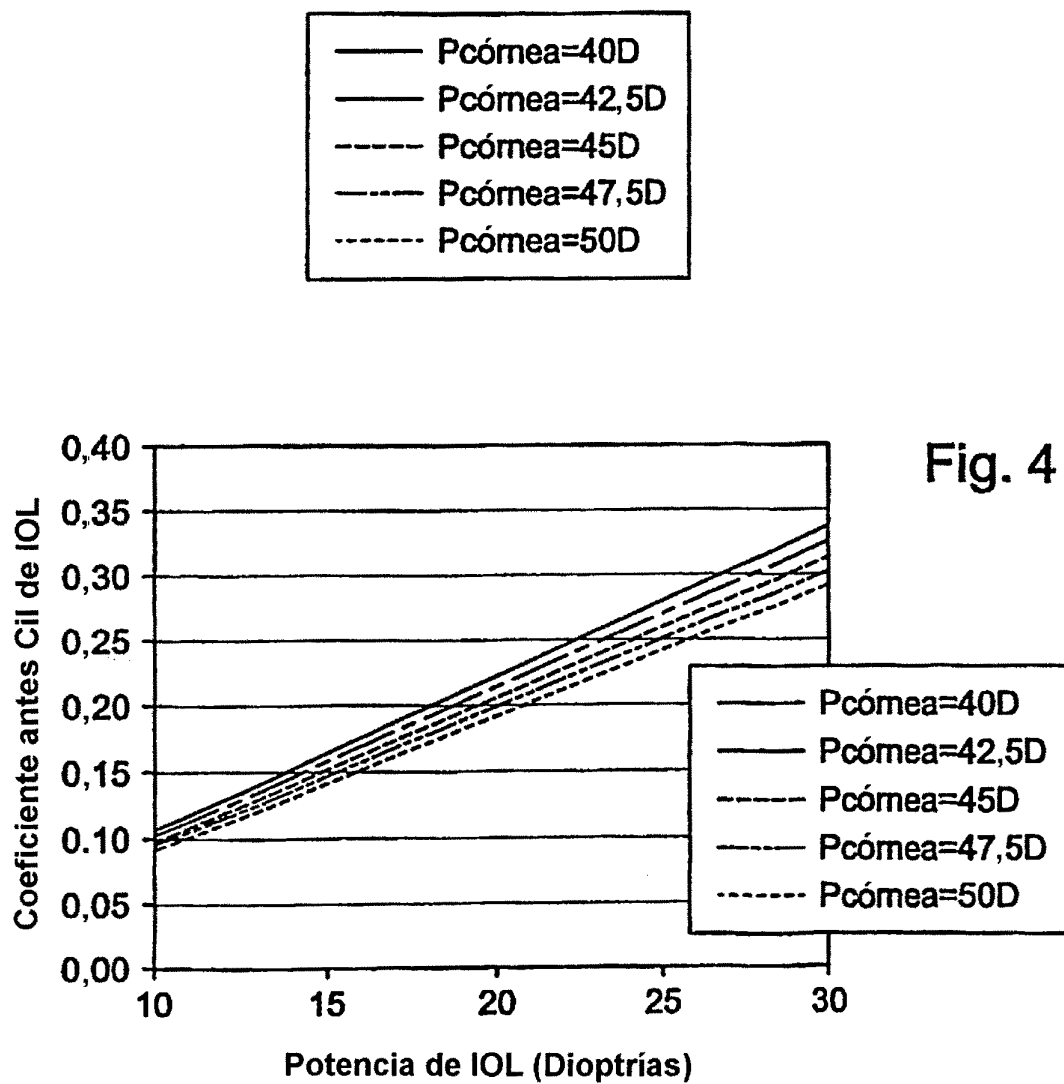


Fig. 4