

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 619**

21 Número de solicitud: 201000842

51 Int. Cl.:

**G06F 19/12** (2011.01)

**G01B 11/25** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**08.06.2010**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**12.12.2012**

Fecha de la concesión:

**10.10.2013**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**22.10.2013**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
CRTA. DE SACRAMENTO S/N-OTRI  
04120 LA CAÑADA DE SAN URBANO (Almería)  
ES**

72 Inventor/es:

**MARTÍNEZ FINKEISHTEIN, Andrei;  
RAMOS LÓPEZ, Darío;  
CASTRO DE LUNA, Gracia M. y  
ALIO Y SANZ, Jorge L.**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA CORNEAL A PARTIR DE DATOS ALTIMÉTRICOS O DE CURVATURA.**

57 Resumen:

Procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura. La invención consiste en un método de reconstrucción de la superficie de la cara anterior de la córnea, a partir de los datos medidos en un conjunto discreto de puntos por medio de un topógrafo corneal o equipo equivalente. Se trata de un procedimiento que obtiene una expresión analítica de la superficie, combinando un ajuste por polinomios de Zernike o con esfera de mejor ajuste, con una reconstrucción por funciones de base radial gaussianas. Se logra obtener una descripción detallada de la superficie corneal, permitiendo un diagnóstico más fiable de patologías, o la implementación de tratamientos customizados. Este procedimiento es fácilmente implementable en cualquier topógrafo corneal, tomógrafo de coherencia óptica, equipos de lámpara de hendidura y equivalentes, de los existentes en el mercado, como sustituto del método estándar basado en polinomios de Zernike.

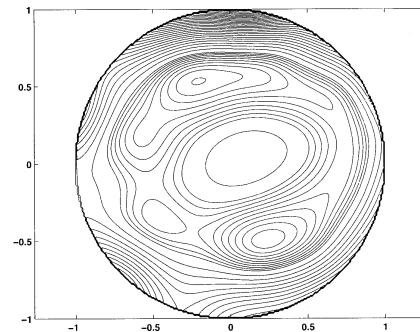


Figura 4

ES 2 392 619 B1

**DESCRIPCIÓN**

**Título de la invención**

5 Procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura.

**Sector de la técnica**

Oftalmología, óptica industrial y optometría.

10

**Estado de la técnica**

El estudio de la forma (o topografía) de la cara anterior y posterior de la cornea se ha convertido en una práctica estándar en la oftalmología, como técnica de diagnóstico de  
15 diversas enfermedades de carácter inflamatorio y no inflamatorio, así como una etapa fundamental previa a la cirugía refractiva customizada. Existen diversas técnicas de obtención de datos altimétricos y de curvatura de la cara anterior de la cornea, tales como la tomografía de  
20 coherencia óptica, examen de lámpara de hendidura, examen ecográfico, entre otras. Posiblemente una de las tecnologías más comunes y más precisas para el estudio de la topografía de la cara anterior de la cornea se basa en los discos de Plácido. Su implementación consiste en la  
25 captura y digitalización de la imagen de anillas concéntricas de alto contraste reflejadas en la cornea. La deformación observada de la imagen de dichas anillas sirve para calcular las alturas y el poder corneal en un conjunto discreto de puntos de la cornea. Estas mediciones  
30 comprenden de forma inevitable la inclusión de un error o ruido, que debe ser tomado en consideración en cualquier tratamiento de dichos datos. La distribución estándar de dicho error se ha descrito en la literatura:

35 1. W. Tang, M. J. Collins, L. Carney, and B. Davis, "The

accuracy and precision performance of four videokeratoscopes in measuring test surfaces," *Optometry and Vision Science*, vol. 77, no. 9, pp. 483-491, September 2000.

5

Aparte de los errores intrínsecos de los equipos, la estimación del desplazamiento de las anillas de Plácido se ve comprometida por otros factores tales como la obstrucción del campo visual por las pestañas, una apertura palpebral insuficiente, o la ruptura de la capa lagrimal, entre otras. Esto crea una contaminación adicional de la señal. Para luchar con ello se suele incluir un preproceso de la señal para localizar y corregir las regiones de alta interferencia o datos incompletos. Todas las soluciones publicadas al respecto son altamente costosas computacionalmente y difícilmente implementables en tiempo real, como por ejemplo

2. D. Alonso-Caneiro, D. R. Iskander, and M. J. Collins, "Estimating Corneal Surface Topography in Videokeratoscopy in the Presence of Strong Signal Interference", *IEEE Trans. Biom. Eng.*, vol. 55, no. 10, pp. 2381-2387, October 2008,

25 donde se utiliza el filtrado bidimensional de Gabor para detectar zonas sin el patron direccional definido por las anillas, o

3. W. Alkhalidi, D. R. Iskander, A. M. Zoubir, and M. J. Collins, "Enhancing the Standard Operating Range of a Placido Disk Videokeratoscope for Corneal Surface Estimation", *IEEE Trans. Biom. Eng.*, vol. 56, no. 3, pp. 800-809, March 2009,

donde se aplican técnicas de procesamiento de imágenes para mejorar los datos en zonas de información incompleta.

Una vez obtenidos los datos altimétricos (con preproceso o  
5 no) en forma de una matriz de elevaciones, la reconstrucción de la topografía corneal en toda la superficie de interés se realiza por métodos matemáticos. Esta es la etapa fundamental, donde el algoritmo utilizado puede ser fuente de errores aun mayores que los descritos  
10 anteriormente, y donde se centra la invención descrita.

En algunas implementaciones, los datos altimétricos medidos por el topógrafo se suelen considerar con respecto a una superficie de referencia, típicamente plano o esfera,  
15 obteniendo alturas normalizadas:

4. Ahn SJ, Rauh W, Warnecke HJ. Least-squares orthogonal distances fitting of circle, sphere, ellipse, hyperbola, and parabola. Pattern Recognit. 2001; 34:  
20 2283-303.

Lo que se puede inferir del funcionamiento de los topógrafos corneales existentes en el mercado, de las patentes existentes y de las publicaciones científicas, es  
25 que la vasta mayoría de los métodos empleados para la reconstrucción a partir de alturas normalizadas utilizan desarrollos en los polinomios de Zernike, que son un estándar en la optometría y la oftalmología. Algunas de las patentes donde se describen dichos desarrollos como objeto  
30 de invención o como parte de la implementación son:

5. Scaling Zernike Coefficients to Smaller Pupil Sizes for Refractive Treatments, USA Patent Application 11/676,094, Pub. No.: US 2007/0201001 A1.

6. Calculating Zernike Coefficients from Fourier Coefficients, USA Patent Application 11/960,094, Pub. No.: US 2008/0140329 A 1.
- 5 7. Specification, Optimization and Matching of Optical Systems by Use of Orientational Zernike Polynomials, USA Patent Application 12/421,996, Pub. No.: US 2009/0306921 A1.
- 10 8. System and method for optimizing clinical optic prescriptions, International Patent Publ. N. WO 2005/058136.
9. Registering multiple ophthalmic datasets, International Patent Publ. N. WO 2009/124306.

15 Sin embargo, los procedimientos basados en los polinomios de Zernike adolecen de una serie de problemas que han sido discutidos ampliamente en la literatura:

- 20 10. S. D. Klyce, M. D. Karon, M. K. Smolek, Advantages and disadvantages of the Zernike expansion for representing wave aberration of the normal and aberrated eye, J. Refractive Surgery 20 (2004) S537-S541.
- 25 11. M. K. Smolek, S. D. Klyce, Zernike polynomial fitting fails to represent all visually significant corneal aberrations, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 44 (11) (2003) 4676-4681.
12. L. A. Carvalho, Accuracy of Zernike Polynomials in Characterizing Optical Aberrations and the Corneal Surface of the Eye, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 46 (2005), 1915-1926.
- 30 13. M. K. Smolek, S. D. Klyce, Goodness-of-prediction of Zernike polynomial fitting to corneal surfaces, J. Cataract Refract. Surg. 31 (2005) 2350-2355.

14. R. Iskander, M. J. Collins, B. Davis, Optimal modeling of corneal surfaces with Zernike polynomials, IEEE Trans. Biomed. Eng. 48 (1) (2001) 87–95.

15. M. Ares, S. Royo, Comparison of cubic B-spline and  
5 Zernike-fitting techniques in complex wavefront reconstruction, Applied Optics 45 (2006) 6945–6964.

16. R. Iskander, M. R. Morelande, M. J. Collins, B. Davis, Modeling of corneal surfaces with radial polynomials, IEEE Trans. Biomed. Eng. 49 (4) (2002) 320–328.

10

En particular, existe un consenso general que los polinomios de Zernike no permiten una reconstrucción fidedigna en los casos de topografía compleja, que es la de mayor interés clínico. Se añade a esto el problema de una  
15 correcta estimación del número de polinomios de Zernike a usar en la reconstrucción: debido al carácter global del soporte de los mismos, se requiere un número relativamente bajo de los mismos para las corneas sanas, mientras que los casos más o menos patológicos exigen usar órdenes mucho más  
20 grandes. Las técnicas objetivas de estimación del número de parámetros en la reconstrucción son computacionalmente costosas, como las descritas en la publicación [3] antes citada, o en

25 17. D. R. Iskander, W. Alkhalidi, and A. M. Zoubir, "On the computer intensive methods in model selection", in Proc. 33rd IEEE Int. Conf: Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP), Las Vegas, NV, Mar. 2008, pp. 3461–3464,

30

mientras que las técnicas instrumentales, basadas en la visualización de la superficie reconstruida junto con la superficie residual, en

18. Method of evaluating a reconstructed surface, corneal topographer and calibration method for a corneal topographer. International Patent Publ. N. WO  
5 2009/056161.

Tomando en cuenta los problemas de reconstrucción por Zernikes anteriormente descritos se han propuesto varias técnicas alternativas, como son:

10

- La reconstrucción usando la transformada discreta o continua de Fourier. Algunas implementaciones intentan reconstruir los datos por anillas, mientras que otras reconstruyen el frente de onda corneal (más que la  
15 topografía) a partir de los gradientes de la misma, que son los datos suministrados por los aberrómetros (como los sensores tipo Hartmann-Shack) y no los topógrafos corneales. Algunas de las publicaciones donde se discuten dichos métodos son:

20

19. G. Dai, Comparison of wavefront reconstruction with Zernike polynomials and Fourier coefficients, Journal of Refractive Surgery 22 (11) (2006) 943-948.
20. L. Wang, D. Chernyak, D. Yeh, D. D. Koch, Fitting  
25 behavior of Fourier transform and Zernike polynomials, J. Cataract Refract. Surg. 33 (2007) 999-1004.
21. G. Yoon, S. Pantanelli, S. MacRae, Comparison of Zernike and Fourier wavefront reconstruction algorithms in representing corneal aberration of  
30 normal and abnormal eyes, J. Refractive Surgery 24 (2008) 582-590.
22. "Wavefront Reconstruction Methods", Letters to the Editor, J. Refractive Surgery 25 (2009) 9-11

así como

23. Iterative Fourier reconstruction for laser  
surgery and other optical applications. USA Patent  
5 Application Publ. US 2005/0012898.

- reconstrucción no lineal por funciones racionales  
(expresadas en la base de Zernike):

10 24. M. Schneider, D. R. Iskander, and M. J. Collins,  
"Modeling Corneal Surfaces With Rational Functions for  
High-Speed Videokeratometry Data Compressions", IEEE  
Trans. Biomed. Eng. 56, No. 2 (2009) 493-499.

15 - la reconstrucción zonal: ver por ejemplo la publicación  
[15] mencionada.

Hasta ahora ninguna se ha aceptado como estándar, y cada  
una de ellas adolece de otros problemas, como la  
20 complejidad computacional, inherente a la reconstrucción  
zonal o por funciones racionales, o dificultad en el manejo  
del error residual y resultados controvertidos en el caso  
de Fourier (ver [22]).

25 Las funciones de base radial (como parte de los métodos de  
aproximación llamados "meshless") se conocen desde los años  
80, y constituyen herramientas estándar en la aproximación  
multivariada, métodos numéricos de resolución de ecuaciones  
en derivadas parciales, la geoestadística (con el  
30 "krieking"), y las redes neuronales como se puede ver en  
las patentes:

25. Interpolation Using Radial Basis Functions with



Application to Inverse Kinematics, USA Patent  
US 6,856,319 B2.

26. Nonlinear Function Approximation over High-  
Dimensional Domains, USA Patent Application  
5 111899,625, Pub. No.: US 2009/0043547 A1.

Sin embargo, como herramienta matemática de reconstrucción  
en la oftalmología sólo nos consta que han sido mencionadas  
en el artículo:

10

27. M. Montoya-Hernández, M. Servín, D. Malacara-  
Hernández, G. Paez, Wavefront fitting using Gaussian  
functions, Optics Communications 163 (1999) 259–269.

15 (en el contexto de la aberrometría), y en la publicación:

28. A. Martinez-Finkelshtein, A. M. Delgado, G. M.  
Castro, A. Zarzo, and J. L. Alío, Comparative Analysis  
of Some Modal Reconstruction Methods of the Shape of  
20 the Cornea from Corneal Elevation Data, Ophthalmol.  
Vis. Sci. 2009, 50: 5639 –5645

de tres de los autores de esta solicitud de patente, aunque  
en ninguna se ha desarrollado un procedimiento  
25 implementable.

Una de las funciones de base radial más conocidas es la  
gaussiana, que aparece en diversas ramas de la matemática  
aplicada y la estadística, en particular, como función de  
30 densidad de la distribución normal de probabilidades. En un  
contexto muy diferente al que se utiliza en el presente

invento las funciones gaussianas aparecen en la solicitud de patente

29. Gaussian fitting on mean curvature maps of  
5 parameterization of corneal ectatic diseases, USA  
Patent Applications US2007/291228,

donde el mapa de curvatura de la cornea se ajusta por medio de una sola función gaussiana con el objetivo de localizar  
10 y caracterizar la región de máxima curvatura como ayuda en el diagnóstico del keratocono.

#### **Exposición de la invención**

Es por tanto objeto de esta invención un procedimiento  
15 alternativo a la reconstrucción de los datos por medio de algunas de los métodos descritos en el apartado "Estado de la técnica". En una de sus realizaciones el procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura consiste en un método de  
20 ajuste de la superficie de la cara anterior de la córnea a partir de las alturas medidas en un conjunto discreto de puntos, que son los datos directamente suministrados por un topógrafo corneal o pre-procesados por medio de algunas de los métodos descritos en el apartado "Estado de la  
25 Técnica", por medio del cual se obtiene una expresión analítica de la superficie de dicha córnea. El procedimiento consta de dos etapas:

1. Un ajuste preliminar por polinomios de Zernike o con esfera de mejor ajuste:  
30 Partiendo de los datos altimétricos (normalizados al disco unidad), se aproxima la superficie de la córnea por los polinomios de Zernike de orden no mayor que 2 (alternativamente, por la esfera de mejor ajuste [4]),

que minimizan el error cuadrático medio ponderado a los datos. La ponderación se realiza en función de la distribución típica de los errores de medición de los videoqueratoscopios basados en los discos de Plácido, descrita en la literatura, ver [1]. Tras ese ajuste inicial quedará una discrepancia (residuo) entre la altura medida por el topógrafo en cada punto, y el valor que se obtiene con la superficie dada por la combinación lineal de los 6 primeros polinomios de Zernike o por la esfera.

## 2. Reconstrucción por funciones de base radial gaussianas:

Se fija un valor N (en un rango entre 7 y 13) y se toman N<sup>2</sup> puntos (centros) en una malla cuadrada en [-1.2, 1.2]x[-1.2, 1.2]. La elección del valor de N se hace basado en criterios de información, tales como el criterio de información de Akaike modificado, el criterio de detección eficiente, u otro equivalente, de los utilizados en la ciencia. Una combinación lineal de las funciones gaussianas con dichos centros,

$$g(P) = e^{-\alpha \|P-Q\|^2}$$

con centro Q y factor (o parámetro) de forma  $\alpha$ , se ajusta al error residual por medio de mínimos cuadrados lineales con regularización de Tikhonov. El valor del parámetro de forma de las funciones de base radial gaussianas se toma en el rango de 1 a 20, y el parámetro de regularización se calcula por dos métodos estadísticos alternativos y complementarios, utilizados en la ciencia (método L-Curve y cross-validación generalizada). El problema de cálculo de los coeficientes de las funciones gaussianas es lineal, computacionalmente poco costoso, y fácilmente implementable en tiempo real.

Como resultado de las dos fases de dicho proceso, la superficie de la córnea estará dada en forma analítica y será la combinación lineal de los polinomios de Zernike de orden no mayor que 2 (o la esfera) y las  $N^2$  funciones de base radial gaussianas calculadas, combinando las ventajas de los métodos modales y zonales:

$$\text{Cornea}(P) = C_1(P) + C_2(P), \quad C_2(P) = \sum_{j=1}^{N^2} a_j e^{-\alpha \|P - Q_j\|^2},$$

donde  $C_1$  está dada por la ecuación de la esfera ajustada, o por la combinación lineal de los primeros 6 polinomios de Zernike (orden no mayor que 2),

$$C_1(P) = \sum_{j=0}^5 b_j Z_j(P).$$

De esta manera, la componente  $C_1$  se puede considerar como la forma "global" de la cornea, inherente a la mayoría de las corneas reales, mientras que la componente  $C_2$ , que ajusta los residuos de la diferencia entre los valores medidos y los que arroja  $C_1$ , engloba las variaciones individuales. Aunque esta reconstrucción es modal, la localización espacial de las funciones gaussianas confiere un carácter zonal a dicho ajuste, recogido en la función  $C_2$ . Esta expresión analítica permite realizar otros cálculos preceptivos en la oftalmología y la optometría, tales como el mapa de curvaturas y poder corneal, cálculo de las normales, trazado de rayos y otros.

En este sentido, la principal diferencia de nuestra invención con respecto a los procedimientos estándar consiste en sustituir el ajuste por polinomios de Zernike por una reconstrucción lineal por funciones de base radial. Dada la flexibilidad de las funciones de

base radial gaussianas como herramienta de aproximación, la implementación del procedimiento en el propio topógrafo corneal mejora la fiabilidad de los resultados, tanto con vistas a un diagnóstico más  
5 preciso como a un tratamiento customizado de la cornea, ya que reproduce más fielmente la superficie real. Entre las ventajas adicionales que presenta están la rapidez de cálculo, su estabilidad y robustez, independencia del centrado del ojo. Además, la sencillez de la expresión  
10 analítica del gradiente de las funciones gaussianas, y la independencia de los centros elegidos de los datos, hacen posible calcular dichos gradientes y las curvaturas con antelación, almacenándolas como datos de configuración del topógrafo. Esto permite obtener a bajo  
15 coste computacional las expresiones de varios parámetros adicionales de la superficie corneal (vectores normales, poder corneal, descomposición en la base de Zernike), con el objetivo de estudiar la óptica de la córnea, por ejemplo, mediante trazado de rayos. Estas  
20 características permitirán en última instancia un mejor diagnóstico de enfermedades o deficiencias en la visión del paciente, así como una mejor implementación de los tratamientos customizados.

25 El procedimiento descrito es fácilmente implementable en cualquier topógrafo corneal de los existentes en el mercado y utilizados en la práctica clínica diaria, como sustituto del método estándar basado en polinomios de Zernike.

30

La metodología expuesta para los datos altimétricos puede ser utilizada también en la reconstrucción de la topografía de la cara posterior de la cornea, y por diferencia, de la paquimetría corneal, así como en la

construcción de los mapas de curvatura y de poder corneal.

**Breve descripción de los dibujos:**

5 *Descripción de la Figura 1:* La Figura 1 representa las funciones de base radial típicas en 3 dimensiones, centradas en el origen, con dos factores de forma distintos,  $\alpha_1=1$  (Figura 1 (a)) y  $\alpha_2=10$  (Figura 1 (b)).

10 *Descripción de la Figura 2:* En la Figura 2 se representan en 3 dimensiones los datos altimétricos residuales después del ajuste preliminar por la esfera (ver [4]).

*Descripción de la Figura 3:* La Figura 3 representa la  
15 distribución de 100 centros de funciones de base radial gaussianas, utilizadas en la construcción del ajuste  $C_2$  mencionado.

*Descripción de la Figura 4:* La Figura 4 muestra las curvas  
20 de nivel de la superficie correspondiente a los datos de la Figura 2, reconstruida por medio del procedimiento descrito.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura, que comprende las siguientes etapas:

5 a. Ajuste inicial de los datos topográficos, utilizando hasta 6 primeros polinomios de Zernike (orden no mayor que 2) o la esfera de mejor ajuste, por medio de mínimos cuadrados ponderados;

10 b. Cálculo de la diferencia entre los valores de entrada y los valores de la función resultante de la etapa anterior (a), evaluados en los puntos donde existan datos topográficos, y ajuste de dicha diferencia por medio de una combinación lineal de funciones de base radial gaussianas con centros prefijados en una malla regular.

15 c. Obtención de una expresión analítica global de la forma de la cornea como suma de las expresiones halladas en las dos etapas anteriores, por medio de la fórmula

$$Cornea(P) = C_1(P) + C_2(P), \quad C_2(P) = \sum_{j=1}^{N^2} a_j e^{-\alpha \|P - Q_j\|^2},$$

que describe de forma óptima la topografía de la cornea en todos sus detalles.

25 2. Procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura según reivindicación 1, en el cual la etapa del ajuste inicial de los datos topográficos (a), está caracterizada porque el ajuste se realiza por medio de los mínimos cuadrados lineales ponderados, con un peso seleccionado en concordancia con la distribución de los errores típicos de un topógrafo, tal como se describe en la publicación [1].

3. Procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura según reivindicación 3, que comprende:

5 i. Selección del número de centros de gaussianas, entre 50 y 150, basado en criterios de información, tales como el criterio de información de Akaike modificado, el criterio de detección eficiente, u otro equivalente, de los utilizados en la ciencia.

10 ii. Ubicación de estos centros en una malla cuadrada de dimensiones normalizadas (respecto al disco unidad) de  $[-1.2, 1.2] \times [-1.2, 1.2]$ .

iii. Selección del valor del parámetro de forma de las funciones de base radial gaussianas en el rango de 1 a 20.

15 iv. La utilización de la regularización de Tikhonov en el proceso de ajuste por mínimos cuadrados, con el objetivo de controlar la norma del vector de coeficientes de las funciones de base radial, y por consiguiente, las oscilaciones de la función  
20 aproximante.

v. La selección del parámetro de regularización, mencionada en el punto anterior, mediante las técnicas estadísticas de L-Curve y crossvalidación generalizada, utilizados en la ciencia.

25

4. Uso del procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura según reivindicaciones anteriores para cálculo eficiente de expresiones de varios parámetros  
30 adicionales de la superficie corneal (vectores normales, poder corneal, descomposición en la base de Zernike) por medio de los gradientes de las funciones utilizadas previamente almacenados en el topógrafo.



5. Uso de la expresión analítica según reivindicación 1 (c), y de los parámetros auxiliares según la reivindicación 4, para estudiar la óptica de la córnea mediante el trazado de rayos.

5

6. Uso del procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura según reivindicaciones anteriores para la reconstrucción de la topografía de la cara posterior de la cornea, y por diferencia, de la paquimetría corneal, así como en la construcción de los mapas de curvatura y de poder corneal.

10

7. Uso del procedimiento de reconstrucción de la topografía corneal a partir de datos altimétricos o de curvatura según reivindicaciones anteriores para su implementación en los videoqueratógrafos y topógrafos corneales.

15

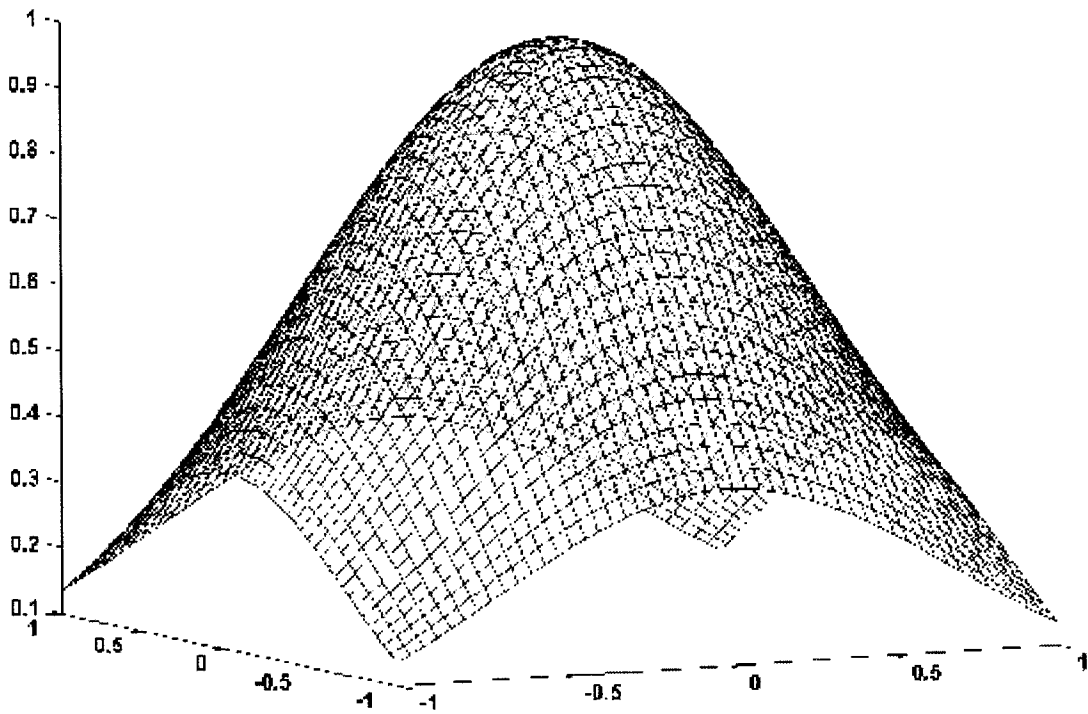


Figura 1 (a)

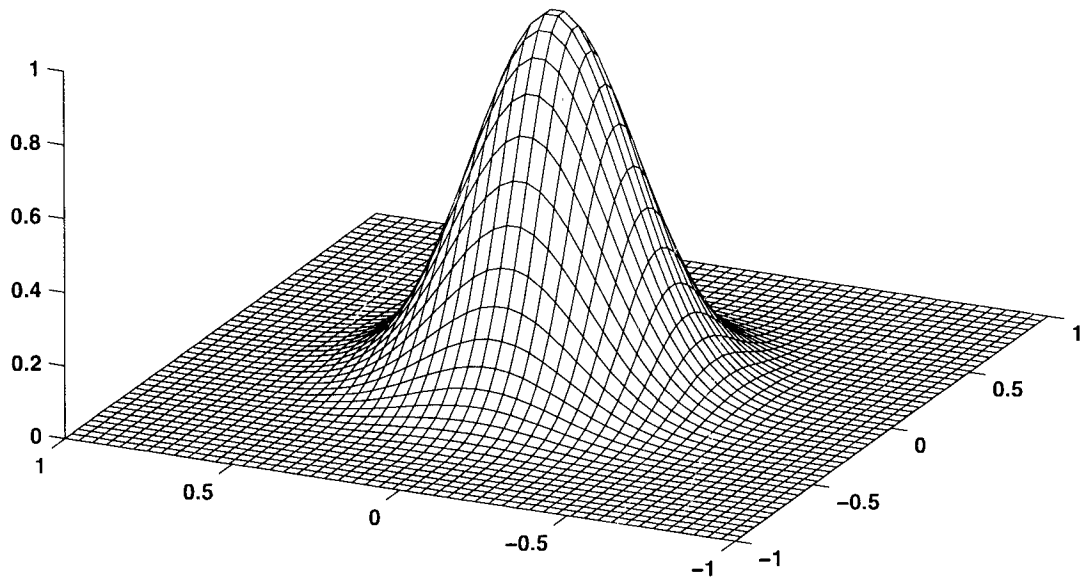


Figura 1 (b)

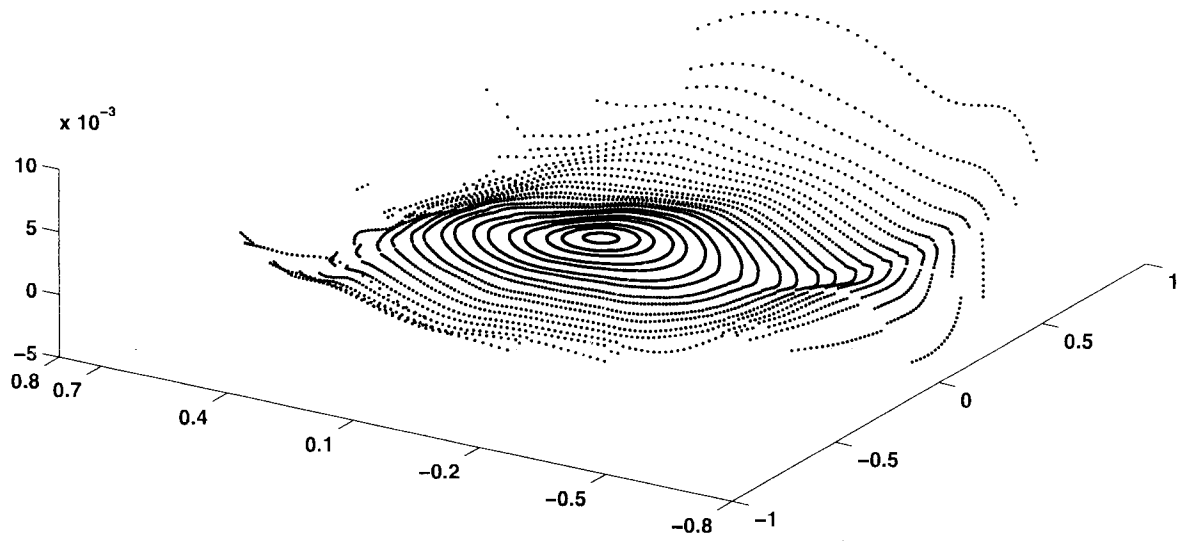


Figura 2

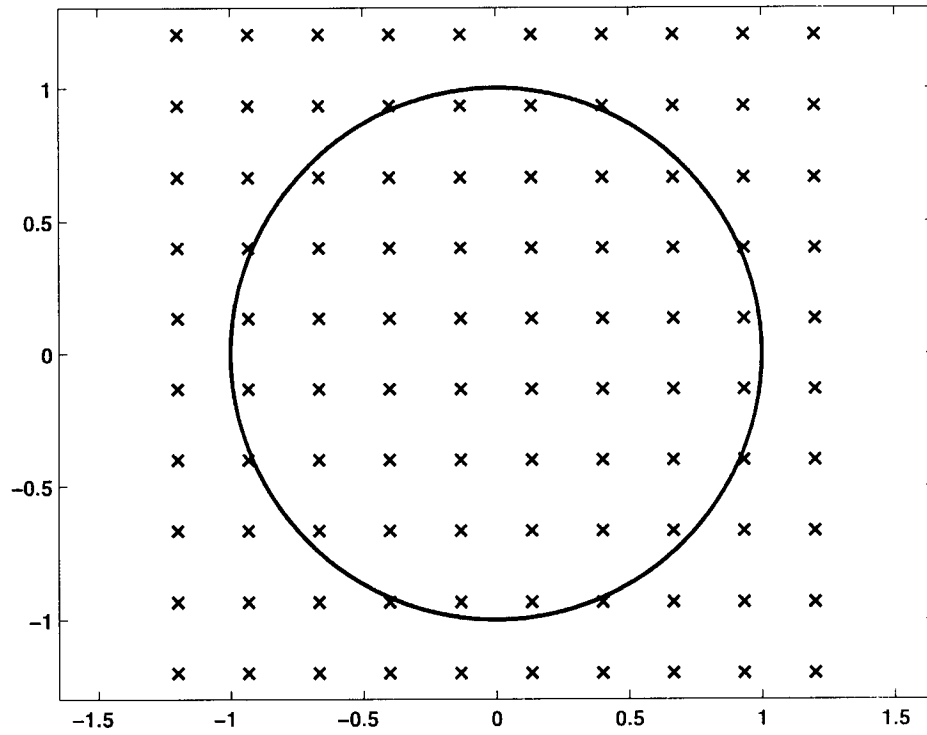


Figura 3

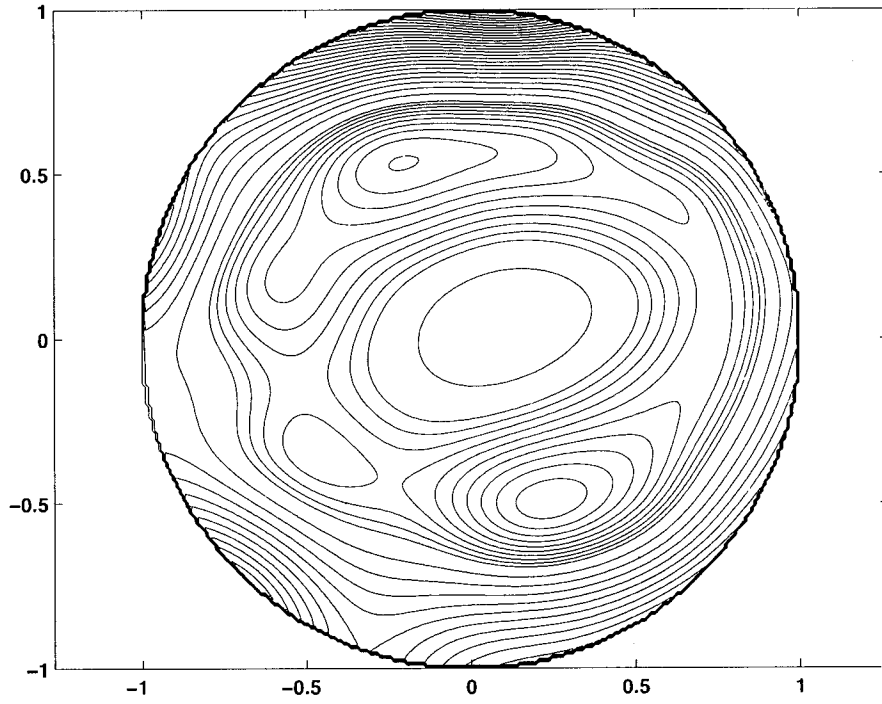


Figura 4



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201000842

②② Fecha de presentación de la solicitud: 08.06.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G06F19/12** (2011.01)  
**G01B11/25** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2009228251 A1 (CAKMAKCI OZAN et al.) 10.09.2009, resumen; párrafos [16],[20],[25-29],[33],[37]; reivindicaciones 1,11-12,22; figuras 2A-2B.	1-7
A	A. MARTINEZ-FINKELSHEIN et al. Comparative Analysis of Some Modal Reconstruction Methods of the Shape of the Cornea from Corneal Elevation Data. Investigative Ophthalmology & Visual Science, Diciembre 2009, Vol. 50, No. 12 [ISSN 0146-0404] [DOI: 10.1167/iavs.08-3351].	1-7
A	A. MARTINEZ-FINKELSHEIN et al. A New Efficient Method of Corneal Reconstruction as an Alternative to Zernike Polynomials Fit. Investigative Ophthalmology & Visual Science. ARVO Meeting Abstracts Abril 11, 2010 51:5690 [en línea] [recuperado el 19.11.2012] [recuperado de <a href="http://abstracts.iovs.org/cgi/content/abstract/51/5/5690?sid=bb4f7493-3def-4d73-98ec-5b5b8c50e906">http://abstracts.iovs.org/cgi/content/abstract/51/5/5690?sid=bb4f7493-3def-4d73-98ec-5b5b8c50e906</a> ]	1-7
A	US 2007291228 A1 (HUANG DAVID et al.) 20.12.2007, columna 3, líneas 52-56; columna 4, líneas 3-9,20-23,25-27,30-43; reivindicaciones 1,5,14-15.	1-7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
26.11.2012

Examinador  
J. M. Vázquez Burgos

Página  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06F, G01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC,WPI, INTERNET



Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.11.2012

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-7	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-7	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**Consideraciones:**

Los documentos de la solicitud de patente sobre los que se basa esta Opinión Escrita son el resultado de las modificaciones efectuadas durante el proceso de examen formal y técnico de la solicitud de patente. En particular, y con referencia a la reivindicación 3, se considera que esta depende de la 1, a la luz de dichas modificaciones y en corrección de un error editorial en la referencia a su dependencia.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2009228251 A1 (CAKMAKCI OZAN et al.)	10.09.2009
D02	A. MARTINEZ-FINKELSHEIN et al. Comparative Analysis of Some Modal Reconstruction Methods of the Shape of the Cornea from Corneal Elevation Data. Investigative Ophthalmology & Visual Science, Diciembre 2009, Vol. 50, No. 12 [ISSN 0146-0404] [DOI: 10.1167/iovs.08-3351]	Diciembre 2009
D03	A. MARTINEZ-FINKELSHEIN et al. A New Efficient Method of Corneal Reconstruction as an Alternative to Zernike Polynomials Fit. Investigative Ophthalmology & Visual Science. ARVO Meeting Abstracts Abril 11, 2010 51:5690 [en línea] [recuperado el 19.11.2012] [recuperado de <a href="http://abstracts.iovs.org/cgi/content/abstract/51/5/5690?sid=bb4f7493-3def-4d73-98ec-5b5b8c50e906">http://abstracts.iovs.org/cgi/content/abstract/51/5/5690?sid=bb4f7493-3def-4d73-98ec-5b5b8c50e906</a> ]	11.04.2010
D04	US 2007291228 A1 (HUANG DAVID et al.)	20.12.2007

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La invención divulga un procedimiento para caracterizar matemáticamente la topografía de la córnea, a partir de datos altimétricos medidos. Dicho procedimiento combina dos tipos de ajustes: uno grueso, basado en polinomios de Zernike o esfera de mejor ajuste, y otro de tipo fino, basado en una combinación lineal de funciones radiales de base gaussianas, de forma que la fórmula descriptiva completa incluye sendos sumandos correspondientes a cada clase de ajuste respectivamente.

El documento del estado de la técnica más próximo a la invención es D01 y se refiere a un sistema y a un método para la caracterización matemática de superficies ópticas, entre ellas la córnea, conforme los cuales es posible definir dichas superficies mediante funciones radiales de base gaussianas, en lugar de los polinomios de Zernike. El procedimiento parte de una fórmula matemática que define una superficie de partida, que puede ser cónica, a la que se le añade una combinación lineal de funciones, que pueden ser radiales de base gaussianas.

Reivindicación 1

Las principal diferencia entre la invención reivindicada en 1 y D01 es que la primera parte de un ajuste grueso por medio de polinomios de Zernike o esfera de mejor ajuste, al que se le añade un ajuste fino basado en una combinación lineal de funciones radiales de base gaussianas centradas en los puntos donde existen medidas, con el objetivo de reducir al máximo el error entre los valores medidos y los arrojados por la primera aproximación. En cambio, D01 parte de una superficie inicial que puede ser cónica, esférica, parabólica, elíptica o hiperbólica, a la que se le añade una combinación lineal de funciones radiales de base gaussianas, de manera que se minimice una función de error, con un ajuste que puede ser global o local (esto es, considerando el error con respecto a toda la superficie o parcelando esta en dominios y realizando el ajuste con cierta independencia para cada uno de ellos).

La diferencia anteriormente expuesta tiene un efecto técnico sobre la precisión y el esfuerzo computacional, ya que el método divulgado en la reivindicación 1 permite, aun partiendo de un ajuste modal, conseguir la mayor precisión de los ajustes locales (merced al segundo ajuste fino), evitando sin embargo el mayor esfuerzo computacional que estos últimos suponen. En este sentido, el método propuesto en D01 puede ser global o local, reduciendo en el primer caso la carga de procesamiento a costa de menor precisión, o, inversamente, mejorando la precisión pero aumentando la exigencia computacional cuando se trate de un ajuste local, ya que dicho método parte de una superficie inicial determinada, pero no de un ajuste modal como es el caso de la reivindicación 1, recayendo sobre la combinación lineal de funciones radiales de base gaussianas todo el ajuste con respecto a los datos medidos.

El documento D02 hace un análisis de diferentes estrategias de modelización matemática de la superficie de la córnea, comparando las bondades de la aproximación por polinomios de Zernike con los de las funciones radiales de base gaussianas. El documento concluye que sería prometedor utilizar la primera como una aproximación inicial gruesa, en combinación con la segunda, que proporcionaría un ajuste fino. En este sentido, aunque el planteamiento general coincide con el de la invención, D02 no concreta ninguno de los detalles (número polinomios de Zernike empleados, la fórmula concreta que representaría la superficie, o los pasos específicos a seguir) del procedimiento objeto de la reivindicación 1 de la invención, por lo que no cabe considerar que el objeto de la misma esté comprendida en este documento.

El documento D03 consiste en un resumen publicado en una revista especializada, y propone explícitamente un método genérico de modelización matemática de la topografía corneal, basado en la combinación de un ajuste de baja precisión, afinado con el de funciones radiales de base gaussianas. Sin embargo, tampoco va más allá de un planteamiento general, sin concretar detalles, y por tanto cabe concluir de él lo mismo que para D02.

Finalmente, D04 incluye un método de caracterización matemática de la superficie de la córnea, utilizando, entre otras posibilidades, funciones gaussianas, en un enfoque similar al de D01, aunque en este caso se utiliza una superficie media de curvatura como base de partida, obtenida de mediciones, y una sola función gaussiana, no una combinación lineal de ellas, por lo que cabe aplicar a este documento las mismas conclusiones que para D01.

Asimismo, de lo anteriormente expuesto se concluye que no cabe derivar de manera evidente el objeto de la invención reivindicado en 1, a partir de la combinación entre cualquiera de los documentos analizados. Por lo tanto, el objeto reivindicado en 1 posee actividad inventiva tal como se establece en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.

#### Reivindicaciones 2 a 7

Teniendo en cuenta el carácter dependiente de estas reivindicaciones, y de acuerdo con las conclusiones alcanzadas para la reivindicación independiente 1, cabe concluir también que cada uno de los objetos divulgados respectivamente en las reivindicaciones 2 a 7 posee actividad inventiva tal como se establece en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.

Por lo tanto a la luz de D01-D04, la invención posee actividad inventiva tal como se establece en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.