

# Desarrollo de Software para la Obtención del Mapa Topográfico de la Córnea del Ojo: Una Comparación con Herramientas Existentes para la Detección Temprana de Queratoconos

Diego Andres Arrieta De la Hoz<sup>1</sup> and Valery Michell Stephens Castañeda<sup>2</sup>

**Abstract**—El queratocono es una enfermedad ocular que causa deformación y pérdida de grosor en la córnea. Por lo general, se desarrolla entre los 10 y 25 años, afectando a personas de todos los géneros y razas. La incidencia más alta es de 54 por cada 100.000 personas. Los síntomas iniciales suelen pasar desapercibidos y la enfermedad progresa con pérdida visual progresiva no corregible con gafas. El diagnóstico requiere equipos costosos y difíciles de transportar, limitando la detección temprana en poblaciones con bajos recursos y convirtiéndola en una causa importante de ceguera parcial. Para abordar este problema, proponemos smartQvision, un dispositivo portátil basado en Smart KC que genera mapas topográficos. Además, se realizará una comparación del preprocesamiento para evaluar la efectividad de los métodos utilizados.

## I. INTRODUCCIÓN

La córnea desempeña un papel importante en la capacidad del enfoque del ojo, siendo esta la responsable del 70% del poder refractivo total.[1] La curvatura y la superficie son sumamente relevantes para determinar la agudeza visual del portador. En condiciones generales, la cornea tiene una forma perfectamente esférica, pero debido a diferentes factores llega a sufrir distorsiones, una de estas es el debilitamiento de las fibras de colágeno las cuales son las encargadas de mantener su estructura. Las principales causas de estas distorsiones pueden ser el frotamiento excesivo de los ojos, exposición excesiva a la radiación solar y otros factores como las anomalías genéticas. una cornea deformada puede ser la causante de diversas enfermedades como el queratonoco. [2]

El queratocono es la ectasia primaria mas frecuente en el mundo, esta enfermedad se caracteriza por el adelgazamiento continuo de la cornea y la protusion de la misma, lo que conduce a la adquisicion de una forma conica tipica. esto provoca cambios severos en la agudeza visual del portador, sin importar la distancia o el campo de vision. En colombia, aunque no haya un estudio epidemiologico realizado, se estatima que la la prevalencia de esta enfermedad es del 2.84% de la población y por lo general se diagnostica entre los 20 y 30 años de edad [3]; sin embargo, en India, 2300 de 100,000

personas padecen de queratoconos, y esta difenrencia se da debido un conjunto de diferentes factores como la genetica, el clima y la ubicacion [4]. no obstante, a pesar de que en colombia la cifra otorgada por el estudio realizado en la universidad de berraquer no es tan alta el queratocono sigue siendo una enfermedad significativa que afecta a una fraccion impotante de la poblacion.

Para el diagnóstico del queratocono, se utiliza un examen no invasivo llamado topografía corneal, el cual evalúa la forma de la superficie anterior de la córnea. Uno de los dispositivos de diagnóstico más conocidos es el Optikon Keratron, el cual utiliza cámaras RGB costosas junto con un reposacabezas para evitar movimientos involuntarios del cuerpo [5]. Es importante destacar que estos exámenes suelen ser costosos y requieren personal capacitado para su operación y traslado. Esto dificulta el tamizaje frecuente y masivo del queratocono en poblaciones de bajos recursos, lo cual es fundamental para una detección temprana. Por esta razón, se propone el desarrollo de un dispositivo portátil, de bajo costo y con una precisión de diagnóstico alta llamado SmartQvision.



Fig. 1: smartQvision es un dispositivo de bajo costo basado en el SmartKC; (a) imagen procesada, (b) imagen tomada desde el dispositivo, (c) smartQvision basado en smartKC

\*Este trabajo no fue patrocinado por ninguna organización

<sup>1</sup>H. Phd. Andres Guillermo Marrugo Hernandez. profesor del programa de ingeniería Mecánica y Mecatrónica

<sup>2</sup>P. SIDDHARTHA GAIROLA, MURTUZA BOHRA, and NADEEM SHAHEER, Microsoft Research, India NAVYA JAYAPRAKASH, PALLAVI JOSHI, ANAND BALASUBRAMANIAM, and KAUSHIK MURALI, Sankara Eye Hospital, India NIPUN KWATRA and MOHIT JAIN, Microsoft Research, India investigadores de Microsoft Research, India, los cuales permitieron el uso de su proyecto con fines investigativos

SmartQvision es un dispositivo de bajo costo basado en el funcionamiento básico de un topógrafo corneal. En cuanto al hardware del dispositivo, se implementaron anillos de Plácido con forma cónica impresos en 3D. Estos anillos se acoplan al smartphone junto con un circuito de luz LED azul,

lo cual permite proyectar los anillos en azul y negro en el ojo del paciente. Con base en esto, se utiliza un software que analiza la reflexión de los anillos en las imágenes capturadas para generar una solución estandarizada similar al Keratron.

Cabe mencionar que SmartQvision se basa en una investigación llamada "SmartKC: Smartphone-based Corneal Topographer for Keratoconus Detection"[5]. Nuestro objetivo es optimizar el dispositivo existente e intentar replicarlo con los recursos limitados disponibles en Colombia. Adicionalmente, se realizará una comparación a nivel de preprocesamiento para encontrar similitudes, diferencias y realizar.

## II. ESTADO DEL ARTE

### A. topografia corneal para deteccion temprana de queratocono

la topografia corneal es normalmente definida como un examen no-invasivo para analizar la morfología de la cornea [6], este examen permite realizar una caracterización geométrica que diferencia los patrones estandares con los transtornos visuales causados por condiciones ectasicas patológicas [7]. Actualmente, los topografos corneales estan basados en la reflexión de la luz sobre la cornea, sin embargo algunos de estos operan bajo diferentes tecnologías, pero la mas utilizada es *sistemas basados en la proyección de la luz de la cornea*.

*I sistemas basados en la proyeccion de la luz de la cornea.* Los topógrafos corneales que se basan en esta tecnología también son conocidos como "videokeratoscopes"[8]. Estos dispositivos funcionan bajo el principio de la óptica geométrica de los espejos convexos, donde los discos de Plácido se reflejan sobre la superficie de la córnea. Las imágenes son capturadas por una cámara digital y posteriormente procesadas por el computador.[7] Una vez obtenidas las imágenes, se utiliza un software matemático para realizar la identificación de bordes con respecto a los anillos y así calcular la distancia entre ellos para reconstruir la curvatura corneal. Estos dispositivos proporcionan como resultado diferentes mapas termicos de la topografia corneal (mapa axial y mapa tangencial), ademas de la probabilidad porcentual de queratocono (ppk) y el grado de asigmatismo.[5] Cabe resaltar qu la precision en el diagnostico esta definida en el algoritmo de cada dispositivo, y que los algoritmos arc-step son los que mejor se adaptan a este tipo de sistemas, ya que se basan en un proceso iterativo que utiliza una secuencia de arco punto a punto.

### B. trabajos relacionados y soluciones alternas

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el uso de nuevas tecnologías para mejorar el diagnóstico médico. Por esta razón, hemos buscado formas de desarrollar y mejorar dispositivos como SmartQvision, que es un sistema basado en smartphones para detectar la enfermedad del queratocono. Este dispositivo funciona según el principio de los "videoceratoscopios" y está equipado con una cabeza de Plácido que contiene anillos en su interior. Esto permite

proyectar una luz LED azul para reflejar los anillos en el ojo del paciente [5]. Sin embargo, aunque SmartKC es un dispositivo sumamente innovador, no es el único proyecto que ha explorado la convergencia entre la tecnología móvil y la salud ocular. Otros dispositivos como el TOCO (Topógrafo corneal portátil) y el Delphi EyeTopo se centran en la detección temprana y de bajo costo del queratocono.

El TOCO es un topógrafo corneal portátil que utiliza un dispositivo conectado a un smartphone para mapear la topografía de la córnea. Este dispositivo utiliza una combinación de tecnología óptica avanzada y algoritmos complejos para detectar las deformaciones e irregularidades en la superficie corneal. La aplicación asociada permite realizar un análisis detallado de los pacientes para facilitar su evaluación y diagnóstico [9]. Por otro lado, el Delphi EyeTopo es una solución revolucionaria que combina un dispositivo portátil y un smartphone de manera compacta, a diferencia del enfoque de SmartKC. Sin embargo, es importante mencionar que el dispositivo de SmartKC permite cambiar de celular siempre y cuando sea del mismo modelo, ya que está diseñado para adaptarse al forro del celular [?].

Al revisar la tecnología utilizada en estos proyectos, es importante destacar que una de las principales diferencias de SmartQvision con los demás radica en su proceso de fabricación. Ninguno de los proyectos mencionados se ha desarrollado en Colombia, por lo que no conocen las limitaciones que existen al implementar un proyecto de investigación en este contexto. A pesar de basarnos en SmartKC, hemos realizado ajustes en aspectos como el sistema de impresión, los soportes, los componentes y un análisis detallado de la implementación del software para adaptarlo a nuestras condiciones .

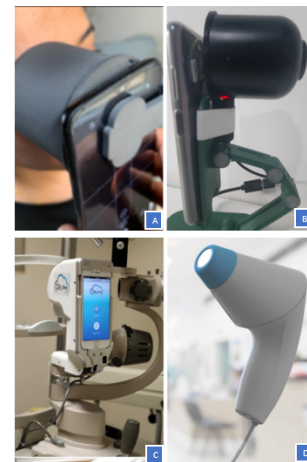


Fig. 2: proyectos relacionados con SMARTQVISION; (A) smartkc, (B) smartQvision, (C) Delphi EyeTopo, (D) TOCO: topografo corneal portatil

## III. MÉTODO

Como se ha mencionado, la totalidad del proyecto consiste en varias etapas: 1) Captura de imágenes por parte de la aplicación SmartKC mobile App 2) Se suben estas imágenes

a la nube, para ser descargadas en el computador que se encargará del procesamiento de la imagen 3) Se realiza el preprocesamiento de la imagen para resaltar características de la misma con un algoritmo de detección de huellas 4) Se obtienen los mapas de topográficos utilizando el método Arc-Step y polinomios de Zernike.

El principal objetivo de todas estas herramientas son la obtención de los mapas topográficos de la córnea, sin embargo, en este proyecto, nos estaremos centrando en la etapa de preprocesamiento de las imágenes capturadas con la aplicación para smartphones; desarrollando un software alternativo al propuesto por Gairola. Et al [5].

El pipeline propuesto para esta tarea se muestran en la Fig 2:

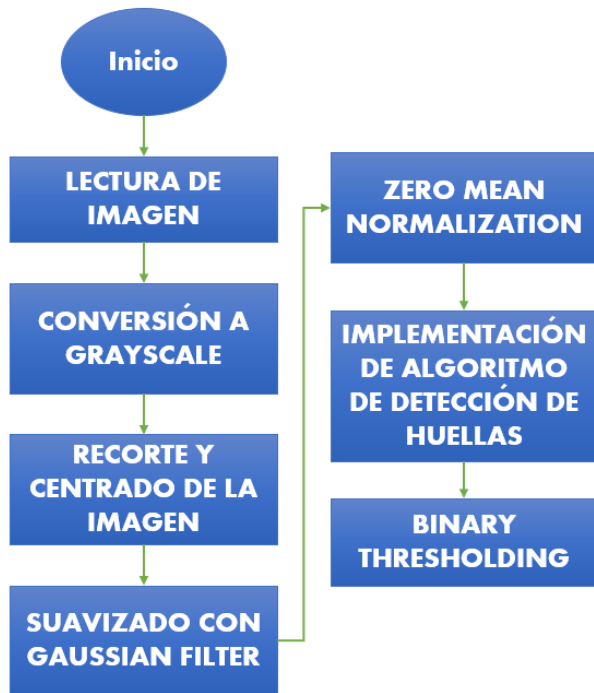


Fig. 3: Pipeline del preprocesamiento de imágenes del software del SmartQVision

#### IV. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS

A continuación se muestra la ejecución de cada paso del preprocesamiento para 2 imágenes de prueba:

- 1) Lectura de imagen. Una vez se tienen las imágenes en una carpeta junto con el archivo main.py, al ejecutar el programa le pedirá al usuario seleccionar el archivo que desee. Las 2 imágenes que se usarán como prueba fueron las que mostraron mejores resultados al momento de obtener los mapas topográficos (Fig. 4).
- 2) Conversión a grayscale. Para mostrar imágenes de gran tamaño se recortaron arbitrariamente en la parte central, que es donde se espera que se encuentre la córnea si se siguen las especificaciones para la captura de imágenes.(Fig. 5)

- 3) Centrado y recorte de la imagen. El centrado de la imagen es vital para dejar únicamente la información que nos interesa que es la córnea y que el software no realce elementos como pestañas y párpados. Para esto se le pide al usuario que haga click con el mouse en el centro de los anillos y se guardan estas coordenadas, para luego dejar el cuadrado de 500x500 pixeles con estas coordenadas como centro. (Fig. 6)
- 4) Suavizado. (Fig. 7)
- 5) Normalización. (Fig. 8)
- 6) Fingerprint Algorithm. (Fig. 9)
- 7) Binary thresholding. (Fig. 10)

Una vez realizado el preprocesamiento, se procede a obtener los mapas topográficos con los polinomios de Zernike, los resultados se muestran en las figuras 11 y 12.



Fig. 4: Proceso de lectura de imágenes tomadas por la aplicación.

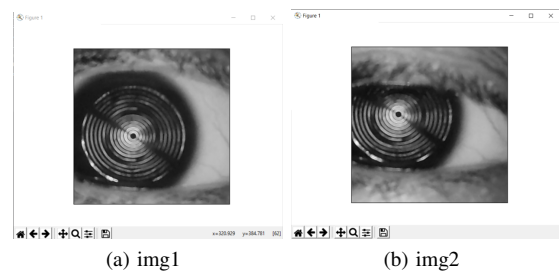


Fig. 5: imágenes en escala de grises

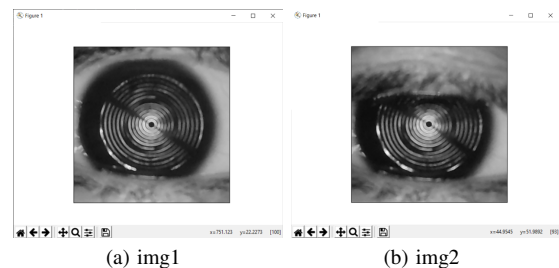


Fig. 6: Recorte y centrado

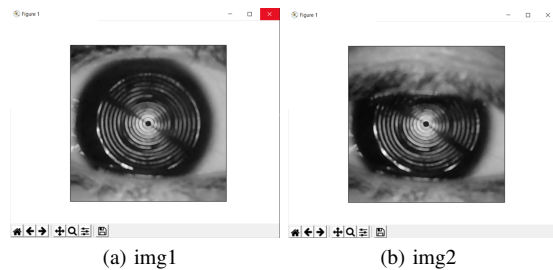


Fig. 7: Suavizado

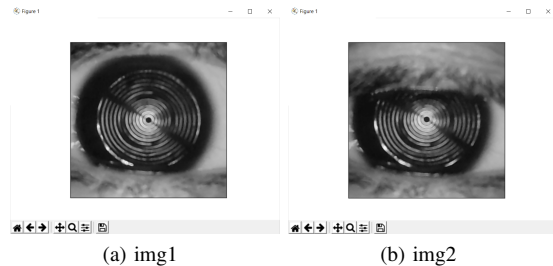


Fig. 8: Normalización

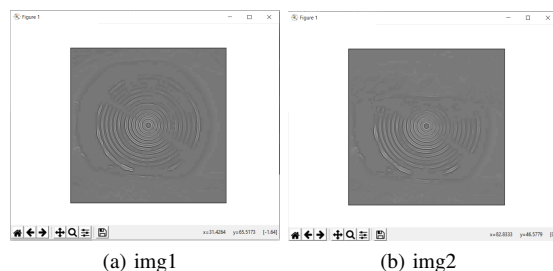


Fig. 9: Fingerprint Algorithm

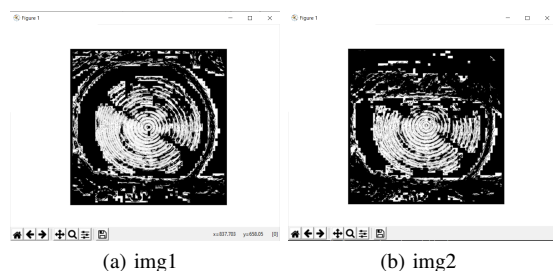


Fig. 10: Binary Thresholding

## V. CONCLUSIONES

Al ver los resultados arrojados, se comprobó el buen funcionamiento de software al momento de procesar las imágenes mostradas. Sin embargo, se observan partes de color blanco en los mapas topográficos, indicando una mala detección en esas zonas. Por ende, es necesario realizar más pruebas para determinar si esto se debe a un problema de software o debido a errores en la toma de imágenes.

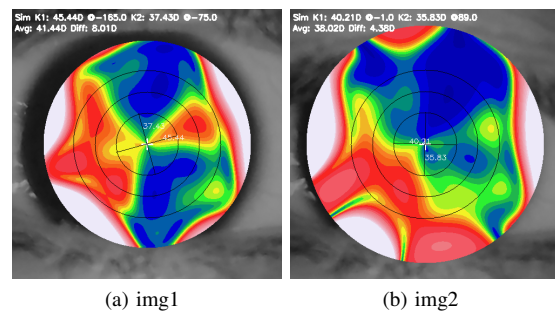


Fig. 11: Mapa Axial

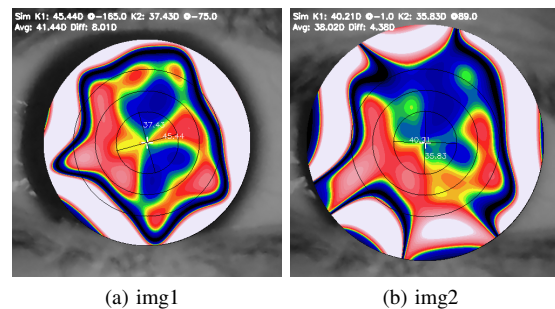


Fig. 12: Mapa Tangencial

## REFERENCES

- [1] M.M. Sinjab. 2012. Corneal Topography in Clinical Practice (Pentacam System)–Basics and Clinical Interpretation. Jaypee Brothers, Medical Publishers
- [2] M. Mora Valencia, C. Bonilla Estévez, O. Vargas Garzón, y O. L. Giraldo Valencia, «Queratocono: una revisión y posible situación epidemiológica en Colombia», nova, vol. 5, n.º 8, pp. 185–196, dic. 2007.
- [3] H. Poor, An Introduction to Signal Detection and Estimation. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [4] Jost B. Jonas, Vinay Nangia, Arshia Matin, Maithili Kulkarni, and Krishna Bhojwani. 2009. Prevalence and Associations of Keratoconus in Rural Maharashtra in Central India: The Central India Eye and Medical Study. American Journal of Ophthalmology 148, 5 (Nov. 2009), 760–765. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2009.06.024>
- [5] Siddhartha Gairola, Murtuza Bohra, Nadeem Shaheer, Navya Jayaprakash, Pallavi Joshi, Anand Balasubramaniam, Kaushik Murali, Nipun Kwatra, and Mohit Jain. 2022. SmartKC: Smartphone-based Corneal Topographer for Keratoconus Detection. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. 5, 4, Article 155 (Dec 2021), 27 pages. <https://doi.org/10.1145/3494982>
- [6] Klyce SD. Computer-assisted corneal topography. High-resolution graphic presentation and analysis of keratoscopy. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984;25(12):1426–35.
- [7] Cavas-Martínez, F., De la Cruz Sánchez, E., Nieto Martínez, J. et al. Corneal topography in keratoconus: state of the art. Eye and Vis 3, 5 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40662-016-0036-8>
- [8] Thomas O. Salmon and Larry N. Thibos, "Videokeratoscope–line-of-sight misalignment and its effect on measurements of corneal and internal ocular aberrations," J. Opt. Soc. Am. A 19, 657-669 (2002) <https://opg.optica.org/josaa/abstract.cfm?URI=josaa-19-4-657>
- [9] "TOCO I Blepsvision". Blepsvision I. <https://blepsvision.com/toco-2/> (accedido el 23 de mayo de 2023).