

DETERMINACIÓN DE LAS ABERRACIONES DE ALTO ORDEN PARA LA EVALUACIÓN DE RESULTADOS QUIRÚRGICOS

Luis Gabriel Valdivieso-González^a, Andrea Fernanda Muñoz-Potosi^a, Eduardo Tepichin-Rodríguez^b,

^aUniversidad de Investigación y Desarrollo, Bucaramanga, Santander. Colombia,
lvaldiviesol@udi.edu.co, amunoz7@udi.edu.co

^bInstituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Pue. Puebla,
tepichin@inaoep.mx

RESUMEN

En la actualidad el estudio de las aberraciones de alto orden representa gran interés para los optometristas y científicos de la visión porque en situaciones de baja luminosidad, éstas afectan de manera importante la calidad de visión del paciente; además, no son susceptibles de ser corregidas usando métodos convencionales. Por otro lado, la importancia de determinar las aberraciones de alto orden radica en su utilidad para evaluar los resultados quirúrgicos individuales y estudiar la respuesta biomecánica de la córnea, que es responsable de aproximadamente dos tercios del poder refractivo del ojo. En este trabajo se presentan los resultados de las aberraciones oculares de alto orden de un grupo de voluntarios, obtenidos a través de un aberrómetro diseñado e implementado en el Grupo de Ciencias de la Imagen y Física de la Visión, los cuales se comparan a través de tres diferentes métricas, utilizando como referencia los resultados obtenidos con un aberrómetro comercial.

Palabras clave: Aberraciones; Ojo humano; Polinomios de Zernike.

ABSTRACT

Currently the study of higher order aberrations, represents a great interest for optometrists and vision scientists because significantly affect the quality of vision of the patient in situations with low illumination; in addition, they can't be corrected using conventional methods. On the other hand, the importance of determining higher-order aberrations lies in its utility for evaluating individual surgical results and studying the biomechanical response of the cornea, which is responsible for approximately two-thirds of the eye's refractive power. The results of higher order ocular aberrations obtained from a group of volunteers, through an aberrometer designed and implemented in the Image and Vision Physics Sciences Group, are presented. Experimental results are compared through three different metrics, using as a reference the results obtained with a commercial aberrometer.

Keywords: Aberrations; Human eye; Zernike Polynomials.

1. INTRODUCCIÓN

El ojo humano es un sistema formador de imagen que principalmente consta de la córnea y el cristalino como las lentes que focalizan la imagen en la retina. Generalmente, este sistema de lentes presenta imperfecciones que generan aberraciones de frente de onda, las cuales producen una imagen borrosa. Como sucede con los sistemas ópticos, conocer las aberraciones de frente de onda permite modificar la forma como la luz entra al sistema, de tal manera que se obtenga una imagen nítida. Esto es equivalente con la prescripción médica de lentes oftálmicos.

Matemáticamente es conveniente representar al frente de onda como una suma ponderada de funciones que corresponden con aberraciones individuales. Dichas funciones constituyen entonces una base vectorial. La base vectorial más usada en la actualidad corresponde con los polinomios de Zernike [1]

Las aberraciones de frente de onda pueden ser cromáticas o monocromáticas y estas últimas pueden dividirse a su vez, en aberraciones de bajo y alto orden. Las aberraciones de bajo orden, asociadas con los polinomios de Zernike hasta el segundo orden, representan matemáticamente los errores refractivos como la miopía, hipermetropía y astigmatismo [1]. Estas aberraciones representan aproximadamente el 85% de todas las aberraciones del ojo.

Por otro lado, las aberraciones de alto orden corresponden con el 15% restante de todas las aberraciones del ojo y son imperfecciones que no pueden ser corregidas por métodos convencionales. En general, todos los ojos tienen algún grado de aberraciones de alto orden [2].

En este trabajo se presentarán los resultados de medir aberraciones de alto orden usando un aberrómetro de tipo Shack-Hartmann. Los resultados obtenidos se comparan con las mediciones realizadas usando un equipo comercial.

2. ABERRACIONES OCULARES DE ALTO ORDEN

Los avances en los métodos terapéuticos y de diagnóstico han llamado la atención de oftalmólogos y optometristas debido a que han permitido diagnosticar de manera apropiada las aberraciones de alto orden, las cuales producen un deterioro en la calidad de la imagen en la retina afectando el rendimiento visual y la sensibilidad al contraste. Desde el punto de vista de la calidad de visión de un paciente, las aberraciones de alto orden producen dificultad para ver en entornos de baja luminosidad.

En la actualidad, el aumento en el número de cirugías refractivas con láser y la implantación de lentes intraoculares, ha incrementado la necesidad de medir las aberraciones de alto orden.

Por otro lado, el conocimiento de la distribución de estos errores en la población normal puede ser útil para correcciones más precisas utilizando técnicas novedosas en cirugía refractiva o lentes de contacto personalizadas. El conocimiento de los valores normales de

aberraciones de alto orden en la población normal también puede ser útil en el diagnóstico temprano de afecciones patológicas como el queratocono [3].

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Usando un arreglo experimental basado en un sensor de frente de onda tipo Shack – Hartmann [4,5], se midieron las aberraciones de alto orden de un conjunto de tres voluntarios. Con el fin de evaluar la exactitud de los datos adquiridos se utilizaron tres diferentes métricas usando como datos de referencia la medición de aberraciones oculares de los voluntarios tomada con un aberrómetro marca *Imagine eyes* modelo irx3.

En la figura 1, se presentan las aberraciones de alto orden medidas usando el arreglo experimental descrito en [4,5] para los tres voluntarios. La figura 2 presenta los resultados obtenidos usando el aberrómetro irx3.

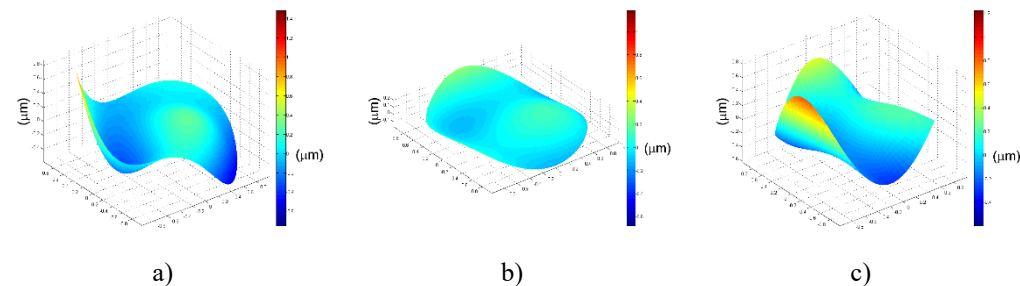


Figura 1. Aberraciones de alto orden medidas. a) Voluntario 1, b) Voluntario 2, c) Voluntario 3

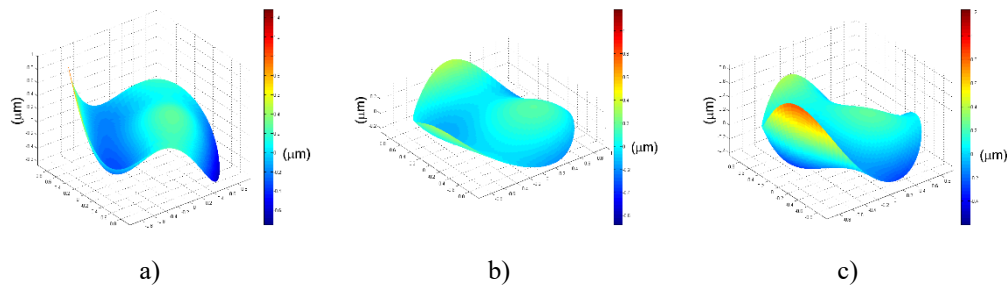


Figura 2. Aberraciones de alto orden de referencia. a) Voluntario 1, b) Voluntario 2, c) Voluntario 3

Con el fin de validar los mapas de aberraciones medidos, se utilizaron tres métricas. La primera de estas métricas corresponde al promedio de la relación porcentual entre la diferencia de ambas mediciones para el mismo voluntario y el valor de referencia.

Por otro lado, el error pico valle se calcula como la diferencia entre el valor máximo y el mínimo del mapa resultante del valor absoluto de la resta entre los mapas de aberraciones obtenidos para cada voluntario. Este valor se reporta en micrómetros (μm).

Finalmente, la raíz cuadrática media es una medida estadística que se calcula como la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de las diferencias entre el mapa de referencia y el mapa de aberraciones medido.

En la tabla 1 se presenta el resultado de las métricas aplicadas a cada uno de los voluntarios: porcentaje de error ($\%E$), error pico-valle ($P-V$) y raíz media cuadrática (RMS).

Tabla 1: Resultado de métricas aplicadas

Voluntario	$\%E$ (%)	$P-V$ (μm)	RMS (μm)
1	17.42	0.319	0.036
2	25.75	0.251	0.029
3	12.39	0.754	0.091

A partir de los resultados de la tabla se puede apreciar que, a pesar de que el porcentaje de error es alto, el error pico-valle y la raíz cuadrática media resultan en valores muy pequeños.

4. CONCLUSIONES

El arreglo experimental propuesto permitió medir aberraciones de alto orden las cuales fueron comparadas con las reportadas por un dispositivo comercial. Las diferencias máximas porcentuales reportadas se presentaron para el voluntario 2 con aproximadamente el 26% de error y las mínimas para el voluntario 3 con aproximadamente 12%.

5. REFERENCIAS

- [1] Mahajan, Virendra N., "Zernike circle polynomials and optical aberrations of systems with circular pupils" *Applied optics* 33(34), 8121-8124 (1994).
- [2] Resan, Mirko, Miroslav Vukosavljević, and Milorad Milivojević. "Wavefront aberrations." *Advances in Ophthalmology*. IntechOpen, (2012).
- [3] Hashemi, Hassan, et al. "Higher order aberrations in a normal adult population." *Journal of current ophthalmology* 27(3-4), 115-124 (2015).
- [4] Valdivieso-González, L.G., Ramírez Zavaleta, G., López Olazagasti, E., Balderas-Mata, S.E., y Tepichín Rodríguez, E. "Construction and validation of a shack-hartmann type aberrometer". *Second International Conference on Applications of Optics and Photonics*, 9286, 92861S (2014).
- [5] Valdivieso-González, L.G., "Sistema optimizado para la captura de imágenes de fondo de ojo". PhD thesis, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, <http://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/161>, (2014).