

# Efecto del descentramiento e inclinación sobre la calidad óptica de lentes difractivas

Sheila García-Vicente, Laura Remón<sup>2</sup>, Francisco José Torcal-Milla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnologías Ópticas Láser

<sup>2</sup> Applied Mechanics and Bioengineering

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762594, e-mail: [ftorcal@unizar.es](mailto:ftorcal@unizar.es)

## Resumen

La corrección de afecciones oculares tales como la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo puede llevarse a cabo mediante tres técnicas: con gafa, lentes de contacto y lentes intraoculares. La sustitución del cristalino del paciente por una lente intraocular se lleva a cabo, principalmente, ligada a otras patologías como las cataratas, que impiden la correcta visión por parte del sujeto. Existen diversos tipos de lentes intraoculares: refractivas y refracto-difractivas. Estas últimas ofrecen características deseables como multifocalidad, lo cual es beneficioso para el paciente, pudiendo paliar, al menos de forma parcial, la pérdida de acomodación debida a la extracción del cristalino. En este trabajo se presenta un estudio preliminar del efecto del descentramiento e inclinación de lentes difractivas sobre la función de transferencia de modulación (MTF) y la anchura del foco.

## Introducción

El aumento progresivo de la longevidad ha conllevado en las últimas décadas la proliferación de enfermedades ligadas mayoritariamente a la edad, tales como la hipertensión, la artritis o las cataratas oculares. Hasta la fecha, la única manera de abordar las cataratas oculares es mediante la sustitución quirúrgica del cristalino del paciente por una Lente Intraocular (LIO). Existen en el mercado gran cantidad de LIOs disponibles a disposición del paciente. Al sustituir el cristalino por una LIO, el sujeto pierde la capacidad de acomodación, es decir, la de enfocar la vista a distintas distancias, lo que afecta directamente a la calidad visual del mismo. Lo más habitual es insertar una LIO que permita al paciente tener visión lejana pero necesite gafa o lente de contacto, para la visión media y cercana. Otras alternativas consisten en el uso de lentes bifocales, multifocales o de foco extendido, [1, 2]. Estas lentes combinan efectos refractivos y difractivos, es decir, se graban perfiles de fase difractivos en una o ambas superficies de la LIO (véase Figura 1).

Durante y tras la cirugía existen ciertas variables que son difíciles de determinar a priori. Si bien las lentes se anclan al saco capsular mediante los hápticos, es altamente probable que queden ligeramente descentradas y/o inclinadas respecto a su posición nominal. Es por ello de suma importancia analizar el comportamiento óptico de este tipo de lentes sujetas a descentramientos e inclinaciones, ayudando al diseño de LIOs más tolerantes a estas desviaciones.

En este trabajo se lleva a cabo un estudio numérico preliminar del efecto de estas dos desviaciones en lentes difractivas, como paso previo al análisis de lentes refracto-difractivas. Como parámetros de calidad se han seleccionado la anchura del foco principal y la función de transferencia de la modulación.

## Diseño de la lente difractiva

Para el análisis se ha elegido una lente difractiva estándar, del tipo Placa zonal de Fresnel. Se trata de una serie de anillos concéntricos con el perfil de fase de una lente refractiva módulo  $2\pi$ , Figura 2, cuyos radios de los anillos vienen dados por:

$$r_n = \sqrt{n \lambda f}, \quad (1)$$

donde  $n$  es el orden del anillo (entero),  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz y  $f$  es la distancia focal de diseño de la lente.

## Simulaciones numéricas

Para llevar a cabo las simulaciones numéricas del comportamiento de las lentes se ha utilizado el paquete Diffractio de Python, [3]. Se trata de un paquete especialmente diseñado para el cómputo y simulación de fenómenos ópticos tales como difracción, refracción o interferencia de la luz, permitiendo la implementación de elementos ópticos y frentes de onda a elección del usuario. Todas las

ciones han sido realizadas para tres tamaños de pupila, ya que este afecta enormemente al comportamiento paraxial de la lente.

## Efecto del descentramiento de la lente

En primer lugar se evaluó el efecto del descentramiento en la anchura del foco y la función de transferencia de la modulación, Figura 3. Tal y como puede verse, la anchura del foco permanece aproximadamente estable para los descentramientos evaluados, siendo estos los habituales tras la cirugía. Por otro lado, la frecuencia a la que la función de transferencia de la modulación cae a la mitad de su valor máximo también resultan estables, incluso incrementándose ligeramente para descentramientos.

## Efecto de la inclinación de la lente

En el caso de inclinar la lente, la anchura del foco permanece aproximadamente constante, Figura 4a). Por el contrario, la frecuencia a la que la función de transferencia de la modulación cae a la mitad de su valor máximo sí que se ve afectada, reduciéndose drásticamente para descentramientos, Figura 4b). Este efecto es aún más visible para una pupila de 4 mm de diámetro.

## Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio numérico preliminar del efecto de descentramientos e inclinaciones sobre la calidad óptica de una lente difractiva. Para ello se han evaluado la anchura del foco principal y la función de transferencia de modulación para tres tamaños pupilares. De los resultados se concluye que el descentramiento dentro de los límites establecidos no afecta prácticamente a la calidad óptica de la lente mientras que la inclinación de esta sí lo hace, sobre todo en la función de transferencia de modulación.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el i3A mediante una beca obtenida en la convocatoria 2025 de Becas para Prácticas de Estudiantes de Grado Universitario en el marco de su TFG y el Grupo de Tecnologías Ópticas Láser del i3A (proyecto E44\_23R).

## REFERENCIAS

- [1]. REMÓN, L., et al. Fractal-structured multifocal intraocular lens. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no 7, p. e0200197.

- [2]. SORIA-GARCIA, A., et al. Fourier series diffractive lens with extended depth of focus. *Optics & Laser Technology*, 2023, vol. 164, p. 109491.
- [3]. SANCHEZ-BREA, L. M., et al. Diffractio: an open-source library for diffraction and interference calculations. *En Optics and Photonics for Advanced Dimensional Metrology III. SPIE*, 2024. p. 236-243.

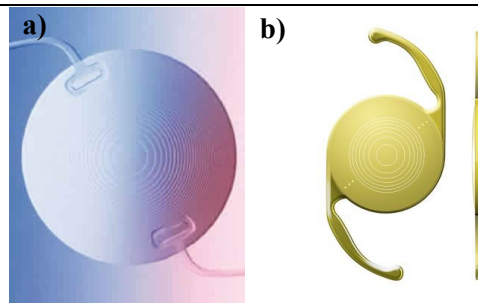


Fig. 1. Ejemplos de lente refracto-difractiva comercial. a) Tecnis ZM900, b) ReSTOR.

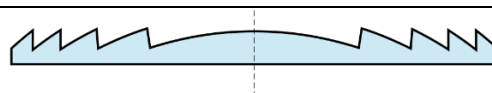


Fig. 2. Ejemplo de perfil de una lente difractiva. Nótese que la lente tiene simetría de rotación.

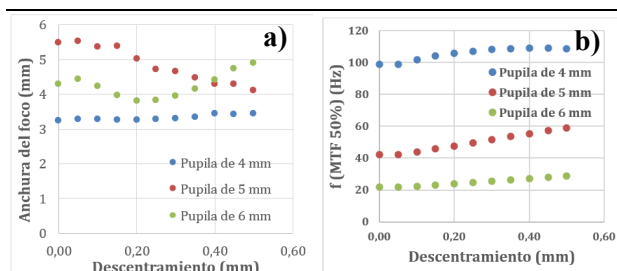


Fig. 3. Efecto del descentramiento de la lente difractiva sobre a) la anchura del foco y b) la frecuencia espacial a la que la Función de Transferencia de la Modulación cae a la mitad de su valor máximo.

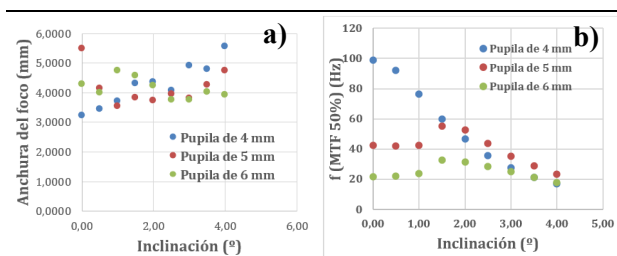


Fig. 4. Efecto de la inclinación de la lente difractiva sobre a) la anchura del foco y b) la frecuencia espacial a la que la Función de Transferencia de la Modulación cae a la mitad de su valor máximo.