

Prototipos de Lentes Fabricadas Mediante Manufactura Aditiva para Ser Utilizadas en la Observación del Fondo de Ojo

D. Gonzalez-Utrera^{1,2}, D. Aguirre-Aguirre^{1,2}, B. Villalobos-Mendoza³, M. Cervantes-Macías⁴, N. Sil-Mejía⁴, F. Carmona-Liceaga⁵, D. Paniagua-Herrera⁶, R. Díaz-Uribe¹

¹Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, dulce.gonzalez@icat.unam.mx, daniel.aguirre@icat.unam.mx, rufino.diaz@icat.unam.mx

²Polo Universitario de Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Apodaca, Nuevo León.

³Departamento de Física y Matemáticas, Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, Nuevo León, brenda.villalobos@udem.edu

⁴Bleps Vision S.A. de C.V., CDMX, bvtoco2020@gmail.com, nsilmejia@hotmail.com

⁵Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, mary.fernanda514@gmail.com

⁶Asociación Mexicana de Diabetes en la Ciudad de México, A.C., CDMX, danielpaniagua@amdiabetes.org

RESUMEN

Las cámaras de fondo de ojo son instrumentos de gran utilidad para un primer diagnóstico de diferentes enfermedades tales como retinopatía diabética o degeneración macular, por mencionar algunas. Teniendo esto en mente, la empresa Bleps Vision ha trabajado para poner al alcance de los optometristas en Latinoamérica, al DiFO; un adaptador para celular con una lente esférica (20D o 30D), entre sus principales ventajas se encuentran la reducción de costos, captura de imágenes, ligereza y facilidad de uso para la observación del fondo de ojo. Sin embargo, un elemento muy importante que incrementa su costo es la lente que utiliza, por lo que en este trabajo se propone un prototipo de lente biconvexa cónica fabricado mediante manufactura aditiva (impresión 3D) para ser utilizada con dicho adaptador. Se diseñaron y fabricaron dos lentes para tener un campo de visión de al menos $\pm 14^\circ$ sobre la retina, además de tener una iluminación uniforme sobre el área de observación. Se presenta la caracterización de la forma de la superficie de los prototipos y las primeras fotografías obtenidas con las lentes fabricadas.

OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es diseñar y fabricar mediante impresión 3D prototipos de lentes biconvexas cónicas para la observación de fondo de ojo que sean compatibles para ser utilizadas con el DiFO de Bleps Vision. Para este diseño, los prototipos deberán contar con las siguientes características: diámetro entre 40mm-50mm; potencia óptica de 20D y 30D; espesor de borde de 2mm. Así como considerar una distancia fija de 181 mm entre la lente al celular.

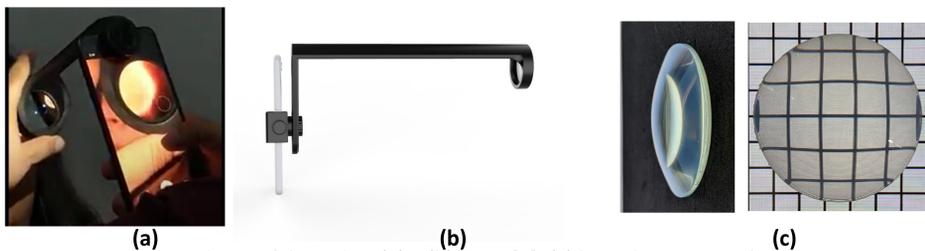


Figura 1: instrumento y lentes fabricadas; (a) y (b) DiFO [1]; (c) lente biconvexa cónica impresa en 3D.

INTRODUCCIÓN

Un oftalmoscopio indirecto forma una imagen intermedia de la retina que es capturada por una cámara adicional [2]. Cuenta con una lente esférica positiva que forma una imagen intermedia plana de la retina, es decir corrigiendo curvatura de campo. El campo de observación sobre la retina está determinado por el diámetro de la lente y la distancia de la lente al ojo. Cabe mencionar que es utilizado como una cámara midriática, siendo necesario dilatar el ojo del paciente para la observación del fondo de ojo.

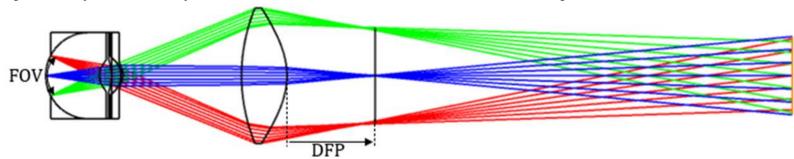


Figura 2: diagrama que muestra la imagen intermedia de la retina y el plano conjugado de la pupila de entrada del ojo.

Al ser una lente esférica, normalmente la lente de Volk descrita en [3], puede resultar muy costosa, es por esto que en este trabajo se explora la idea de diseñar y fabricar lentes esféricas mediante manufactura aditiva explorando distintos diseños a un costo accesible.

METODOLOGÍA

Para explorar la viabilidad de la impresión de las lentes y su posible aplicación para el instrumento, se propusieron 4 diseños de lentes. Se utilizó el programa de trazo de rayos OpticStudio Zemax para hacer un análisis cualitativo del diseño que funcionaría mejor en el instrumento. Para el diseño de la lente, se optó por considerar un modelo de ojo de Arizona [4], ya que normalmente se considera que la luz sale colimada del ojo del paciente.

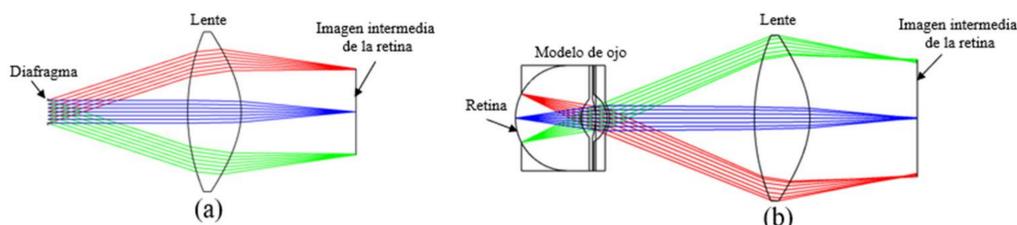


Figura 3: (a) trazo de rayos con una lente de 30D; considerando rayos paralelos; (b) trazo de rayos considerando un modelo de ojo relajado.

Se considera una pupila dilatada de 6 mm. La impresora que se utilizó fue una Form 3 de la marca Formlabs, y el material que se utilizó es la resina clear, el cual cuenta con un índice de refracción previamente caracterizada de $n=1.505$.

RESULTADOS

En la Figura 4 se muestran los cuatro prototipos impresos después del procesado final.



Figura 4: prototipos de lentes finales (a) prototipo 1 diseñada para $FOV=\pm 14^\circ$; (b) prototipo 2 diseñada para $FOV=\pm 12^\circ$; (c) prototipo 3 y (d) prototipo 4 diseñadas para $FOV=\pm 18^\circ$.

Antes de probarlas en DiFO, se realizó la caracterización de las lentes para hacer una comparación entre los datos de diseño y los prototipos fabricados. Los resultados obtenidos en la comparación de los parámetros de diseño y experimentales, incluyendo el error porcentual en potencia óptica se muestran en la Tabla 1.

Tabla 2: comparación de parámetros de diseño y prototipos fabricados

Prototipo	Diámetro (mm)		Espesor central (mm)		Potencia dióptrica (D)		Error porcentual %
	Dis	Exp	Dis	Exp	Dis	Exp	
1	50.00	50.00	13.80	13.81	20.05	19.70	- 1.74
2	42.00	41.98	10.60	10.56	19.99	20.25	+1.27
3	40.00	40.04	14.76	14.71	29.98	29.67	- 1.03
4	42.00	41.96	14.17	14.17	30.00	30.87	+ 2.90

Los prototipos de lentes se montaron en el DiFO y se probaron con un paciente con el ojo dilatado. Se obtuvieron imágenes del fondo de ojo con el prototipo 1 y prototipo 4 (Figura 5).

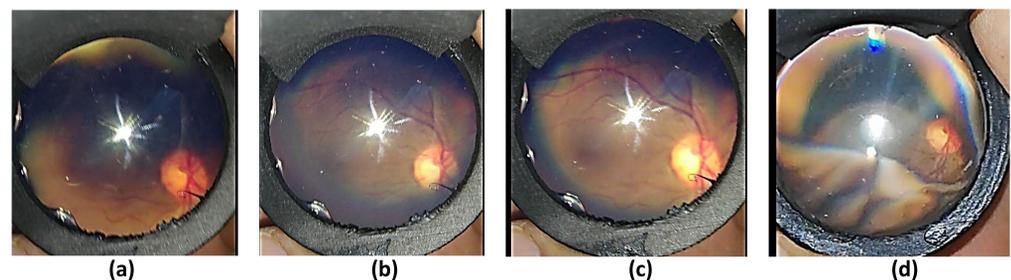


Figura 5: fondo de ojo tomado con DiFO y lentes fabricadas por impresión 3D (a), (b) y (c) prototipo 1 con diferente posición del DiFO con respecto al paciente; (d) con prototipo 4.

Se hizo una comparación entre las imágenes obtenidas con una lente comercial de vidrio Flint y los prototipos impresos (Figura 6).

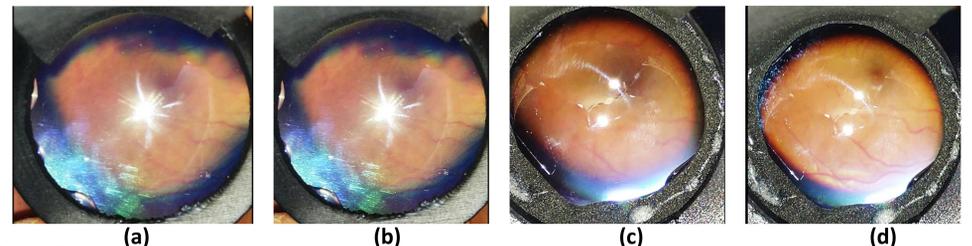


Figura 6: comparación de imágenes en la zona de la mácula con (a) y (b) tomadas con prototipo 1; (c) y (d) tomadas con lente de vidrio Flint de 20 D.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se diseñaron y fabricaron mediante impresión 3D lentes para ser utilizadas en DiFO. Se lograron capturar imágenes de la retina del paciente con algunas lentes, pero se concluyó que para mejorar la calidad de las imágenes obtenidas se requiere un recubrimiento antirreflejante, así como pericia para el manejo del instrumento. Además de que el método de impresión 3D permite fabricar y probar diferentes prototipos de una manera rápida y a bajo costo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo económico para este proyecto de la DGAPA - UNAM, a través del proyecto PAPIIT No: IT100321, "Evaluación de superficies ópticas de forma libre fabricadas mediante manufactura aditiva". Al Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión (LANOV-CONACYT), proyectos No. 293411, No. 299028. González-Utrera agradece al CONACYT (México) por la beca posdoctoral recibida.

REFERENCIAS

- [1] Bleps Vision S.A. de C.V. (18 de mayo de 2022). <https://blepsvision.com/en/567-2/>.
- [2] Navarro Salcedo A. "Desarrollo De Un Prototipo De Cámara De Fondo De Ojo No Midriática". Centro de Investigaciones en Óptica, (2019).
- [3] Volk, David. "Lens for indirect ophthalmoscopy." U.S. Patent No. 4,738,521. 19 Apr. (1988).
- [4] Schwiegerling, Jim. "Field guide to visual and ophthalmic optics." Bellingham, WA, USA: Spie, 2004.