

DESEMPEÑO DE TELESCOPIOS GALILEANOS HÍBRIDOS EN PACIENTES CON DIAGNOSTICO DE BAJA VISIÓN

I. Muñoz Juárez^a, M. I. Rodríguez-Rodríguez^a, D.T. Zarco-López^a, R.E. Hernández-Carbajal^a, R. Izazaga Pérez^b, D. Aguirre-Aguirre^c,

^aCarrera de Optometría FES Iztacala-UNAM, Edo. de México, México,
314192439@iztacala.unam.mx, martin.isaias.rodriguez@iztacala.unam.mx,
316080204@iztacala.unam.mx, ruth.hernandez.carbajal@iztacala.unam.mx,

^bInstituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Puebla, México,
izazagax@inaoep.mx

^cInstituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Mx., México,
daniel.aguirre@icat.unam.mx

RESUMEN

Este trabajo presenta el estudio de telescopios Galileanos híbridos utilizados en voluntarios informados con diagnóstico de baja visión. Para el diseño de estos instrumentos, se emplean lentes adquiridas en tiendas especializadas combinadas con lentes fabricadas mediante manufactura aditiva (impresión 3D). Adicionalmente, se muestra la fabricación de la carcasa para dichos telescopios. Se muestra la caracterización de cada una de las lentes utilizadas, así como el poder de amplificación obtenido con el instrumento. Para evaluar la funcionalidad del telescopio híbrido, se realiza una comparación con telescopios construidos mediante lentes de tiendas especializadas, así como con aquellos diseñados con lentes de impresión 3D. Finalmente, se muestran resultados de pruebas clínicas de agudeza visual y sensibilidad al contraste en pacientes con diagnóstico de baja visión con los tres instrumentos.

Palabras claves: Telescopios Galileanos, baja visión, manufactura aditiva

ABSTRACT

This work presents a study of hybrid Galilean telescopes used in patients diagnosed with low vision. The design of these instruments involves using lenses acquired from specialized stores combined with lenses manufactured through additive manufacturing (3D printing). Additionally, the fabrication of the mount for these telescopes is developed. The characterization of each lens used is shown, along with an evaluation of the amplification power obtained with the instrument. To assess the functionality of the hybrid telescope, a comparison is made with telescopes constructed solely with lenses from specialized stores, as well as with those designed with 3D-printed lenses. Finally, results from clinical tests of visual acuity and contrast sensitivity in low vision patients using all three instruments are presented.

Key Words: Galilean telescopes, low vision patient, additive manufacturing

1. INTRODUCCIÓN

La baja visión es una disminución en las funciones visuales causadas por enfermedades oculares y/o errores refractivos. Esta condición se clasifica a partir de una agudeza visual de 20/40 en el mejor ojo, y que no se puede corregir con el uso de lentes simples o cirugía, lo que limita las actividades de la vida diaria e independencia de las personas [1]. De acuerdo con el informe mundial sobre la visión, la deficiencia visual es mucho más prevalente en países de ingresos bajos y medianos, especialmente entre personas mayores en comunidades rurales y desfavorecidas [1].

Para abordar esta problemática, es necesario la adaptación de ayudas ópticas para visión lejana o cercana, dependiendo del caso y las actividades del paciente. Los telescopios Galileanos son utilizados por pacientes con diagnóstico de baja visión, ya que proporcionan un poder de amplificación adecuados para cada paciente y sus necesidades. Para la construcción de estos instrumentos es necesario una lente objetivo-positiva y una lente ocular-negativa, esto nos proporciona una imagen amplificada derecha, como se describe en las referencias [2-4].

Un detalle para considerar es que, a mayor poder de amplificación, menor campo visual del instrumento. Por lo tanto, al adaptar un telescopio Galileano, es importante prestar atención a las necesidades y actividades del paciente con diagnóstico de baja visión [2].

En la industria óptica, se busca nuevas tecnologías aplicables en tratamientos para pacientes, la manufactura aditiva (impresión 3D) se ha convertido en una opción más asequible para la impresión de lentes esféricas y asféricas [5]. Es por lo anterior que, en este trabajo se presenta una modificación a la memoria en extenso de ACONTACS publicada en 2023 [2], integrando el uso de un telescopio híbrido, el proceso de pulido tradicional en las lentes de manufactura aditiva y el diseño de la montura para los tres telescopios, comparando sus desempeños en voluntarios informados.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se desarrolló un telescopio Galileano híbrido que combina una lente ocular fabricada mediante manufactura aditiva y un lente objetivo de vidrio. Este diseño se comparó en términos de rendimiento y calidad de imagen con telescopios que utilizan lentes de vidrio y de resina. Además, se presenta el diseño tanto de la óptica seleccionada como del tubo utilizado para los telescopios Galileanos construidos, los cuales presentan un poder de amplificación 2X. Se detallarán los componentes ópticos elegidos y su disposición en el sistema, así como las características principales del diseño del tubo del telescopio, destacando aspectos como la ergonomía, portabilidad y facilidad de uso. Adicionalmente, se analiza la calidad de imagen, lo que proporciona una comprensión integral del rendimiento y la utilidad del telescopio adaptado en la mejora de la experiencia de observación para el paciente.

2.1 Selección Óptica

Para lograr un poder de amplificación 2X, se seleccionaron lentes con una distancia focal de 100 mm para el lente objetivo y de -50 mm para el lente ocular.

Debido a que el objetivo principal del trabajo es examinar el rendimiento óptico de un telescopio híbrido y determinar su capacidad para competir con telescopios con lentes de resina y con un telescopio con lentes convencionales de vidrio, se construyeron dos telescopios Galileanos adicionales: uno con lentes de vidrio BK-7 de tiendas especializadas (Thorlabs) y otro con lentes fabricadas mediante impresión 3D, siguiendo el procedimiento descrito en las referencias [6-8]. Las lentes de vidrio seleccionadas fueron la lente planoconvexa LA1509-A y la lente planocóncava LC1715-A, fabricadas por la compañía Thorlabs. En la Fig. 1. a), se presenta un render detallado de estas lentes, mientras que en la Fig. 1. b) se muestran los parámetros de diseño de dicha lente.



Figura 1. a) Render de las lentes LA1509-A y LC1715-A, b) Parámetros de diseño de cada lente

Para la fabricación de las lentes mediante manufactura aditiva, se empleó la resina Clear junto con la impresora comercial Form3 de la marca FormLabs, como se detalla en la referencia [8]. Se utilizaron los mismos parámetros de diseño que se muestran en la Fig. 1. b), asegurando así una reproducción fiel de las especificaciones ópticas requeridas. En la Fig. 2. se muestra la impresora con la que se realiza el proceso de impresión y las lentes finales impresas.

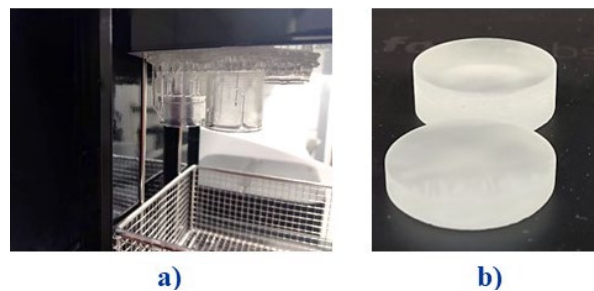


Figura 2. Proceso de impresión. a) Ultrasonido. b) Lentes impresas sin proceso de pulido

El post-procesado de las lentes se llevó a cabo con pulido tradicional, esta etapa se realizó en el Taller de Óptica "Dr. Alejandro Cornejo Rodríguez" del INAOE.

2.2 Diseño de tubo

Con el fin de proporcionar un soporte adecuado a las lentes durante su uso, se ha desarrollado un diseño de tubo para el telescopio Galileano utilizando el software AutoCAD, reconocido

por su capacidad de diseño asistido por computadora (CAD). El objetivo principal de este diseño es mejorar y optimizar la experiencia de observación para este grupo de pacientes [ver Fig. 3. a)].

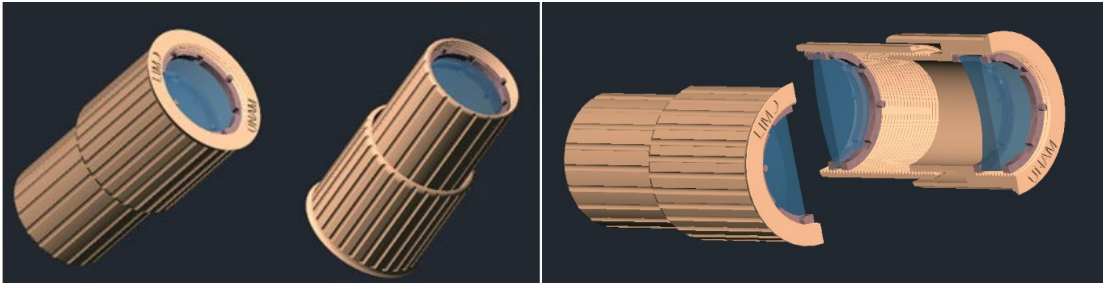


Figura 3. a) Render de montura para Telescopios Galileanos, b) Partes del tubo del telescopio diseñado

En primer lugar, se ha prestado especial atención a la ergonomía del tubo. Por ello, se ha diseñado con un diámetro amplio para facilitar el agarre y la manipulación. El objetivo tiene un diámetro de 29.4 mm, mientras que el ocular mide 34 mm. El tubo tiene una longitud total de 70.5 mm en su extensión máxima, reduciéndose a solo 53.5 mm cuando está completamente comprimido. Cada sección del tubo presenta roscas internas, como se muestra en la Fig. 3. b), lo que añade versatilidad al diseño al permitir la colocación de las lentes, con sus respectivos anillos de sujeción, en diversas posiciones según la distancia focal y el ajuste de la acomodación deseada. Adicionalmente, el telescopio ha sido equipado con superficies texturizadas para mejorar la adherencia, una característica especialmente útil para personas con discapacidad visual. Además, se ha incorporado un sistema de ajuste de enfoque de fácil manejo, con una capacidad de acomodación de 17 mm y un recorrido lineal de un milímetro por vuelta, lo que permite un ajuste preciso según las necesidades individuales de cada usuario [ver Fig. 3. b)].

En cuanto al diseño del tubo, se ha dado gran importancia a la portabilidad y facilidad de transporte. Para ello, se ha dividido el tubo en dos secciones: la primera parte corresponde al ocular, mientras que la segunda corresponde al objetivo. Además, se ha optimizado el peso total del dispositivo para hacerlo lo más ligero posible sin comprometer su estabilidad y durabilidad.

2.3 Simulación de calidad de imagen

Con el fin de evaluar el rendimiento teórico de los telescopios, tanto los que utilizan lentes de vidrio como los fabricados con resina, se llevó a cabo una simulación de imagen mediante el programa comercial Zemax. Este software cuenta con un catálogo integrado de lentes de marcas comerciales, por lo que se procedió a buscar y agregar las lentes correspondientes a la simulación. Además, para esta simulación se empleó el modelo de ojo de Liou y Brennan de 1997 [9], como se muestra en la Fig. 4. Este modelo es ampliamente reconocido en el campo de la óptica para simular de manera precisa la formación de imágenes en el ojo humano, teniendo en cuenta sus características anatómicas y ópticas.

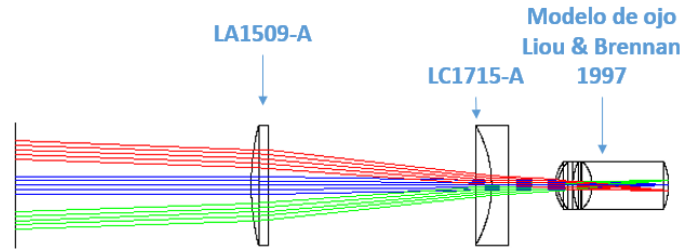


Figura 4. Simulación del telescopio Galileano mediante Zemax

Además de emplear los parámetros mostrados en la Fig.1., para cada lente se utilizaron diferentes índices de refracción. Para el vidrio, se tomó el índice de refracción del vidrio N-BK7, establecido en 1.5168, mientras que para la resina se utilizó un índice de refracción de 1.505, como se obtiene en [8]. Además, se tuvieron en cuenta los números de Abbe, con un valor de $V_d = 64.17$ para el vidrio y $V_d = 56.44$ para la resina, según se describe en [10]. En la Fig. 5., se presenta la calidad de la imagen que se observaría a través de los tres sistemas telescópicos. Estas representaciones visuales proporcionan una comparación directa de la imagen resultante de cada telescopio, mostrando una vez más una gran similitud en la calidad de la imagen, resaltando un rendimiento óptico similar entre los instrumentos.

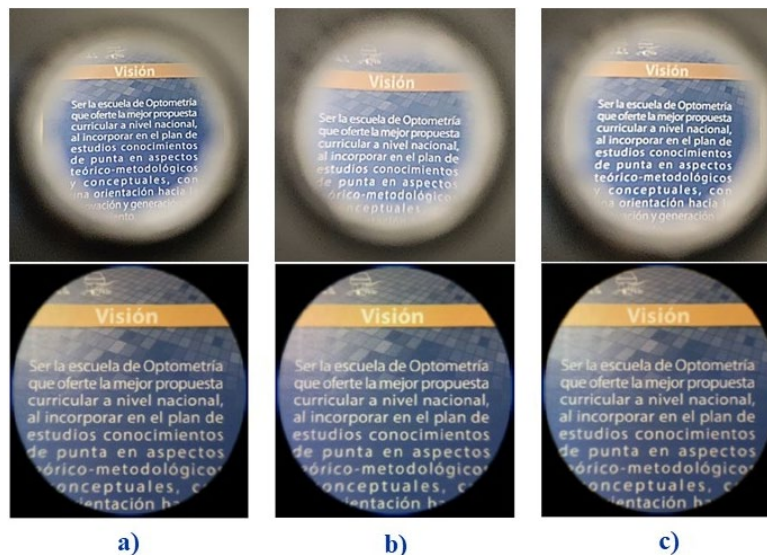


Figura 5. Simulación de imagen de tres telescopios Galileanos en Zemax, modelos de lentes: a) Vidrio, b) Resina, c) Híbrido

La consistencia en la calidad de la imagen entre los telescopios de vidrio y resina subraya la eficacia de ambos diseños en la producción de imágenes claras y nítidas. Este hallazgo respalda aún más la viabilidad y el potencial de la manufactura aditiva de lentes en la fabricación de instrumentos ópticos empleados en pacientes diagnosticados con baja visión.

2.4 Análisis de Campo Visual

Se utilizó la metodología propuesta en la referencia [2] para medir el campo visual de los tres instrumentos. Las distancias para determinar el campo visual son las que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis del campo visual obtenido con los tres telescopios Galileanos

Distancias d_i (cm)	Vidrio		Resina		Híbrido	
	Tamaño imagen l_i (mm)	Campo visual α (grados)	Tamaño imagen l_i (mm)	Campo visual α (grados)	Tamaño imagen l_i (mm)	Campo visual α (grados)
72.2	8	12.64	7.7	12.17	7.5	11.86
132.2	12.6	10.88	12.2	10.54	14.35	12.39
192.2	18.5	10.99	16.9	10.05	20.3	12.05
252.2	24.55	11.11	21.15	9.58	27.35	12.37
312.2	30.55	11.17	27.3	9.99	30.25	11.06
372.2	36.25	11.12	32.25	9.90	38.45	11.79
432.2	42.5	11.23	37.45	9.90	42.8	11.31
	Promedio:	11.31	Promedio:	10.31	Promedio:	11.83

Usando la relación trigonométrica mostrada en la Ec. (11), de la referencia [2] se puede determinar el campo visual (α) obtenido con los tres Telescopios. Mediante los resultados de la Tabla 1 se obtiene el comportamiento del campo visual, como se muestran en la Fig. 6.

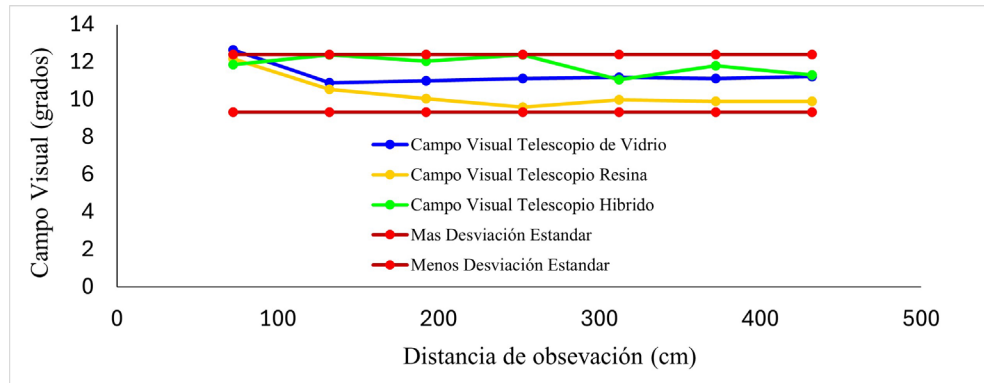


Figura 6. Gráfica de campo visual obtenida con los tres instrumentos

Como se puede observar en la Fig. 6, existen variaciones en las mediciones del campo visual, esto es debido al error aleatorio en el procedimiento realizado, con un error instrumental de ± 1 mm. Sin embargo, los datos obtenidos se encuentran entre dos desviaciones estándar. Con este método, se logró analizar el comportamiento del campo visual proporcionado por los tres instrumentos.

2.5 Funcionalidad clínica de los instrumentos

2.5.1 Datos de paciente a evaluar

Paciente femenino de 75 años con diagnóstico de miopía magna, pseudofaquia (Lente Intra Ocular), infarto ocular con hemorragia, adelgazamiento de retina, desprendimiento de retina en ojo derecho y escotoma central en ojo derecho. Se coloca su mejor corrección en ambos ojos y se midió la agudeza visual con la cartilla LEA, que es especial para pacientes con diagnóstico de baja visión.

2.5.2 Agudeza Visual de la paciente con lentes oftálmicas (mediante cartilla LEA) previa adaptación de Telescopios Galileanos

La agudeza visual de la paciente fue evaluada con lentes oftálmicas utilizando la cartilla LEA. Los resultados indicaron que la visión en el ojo derecho (OD) era de 10/200, mientras que en el ojo izquierdo (OI) era de 10/100. Además, al utilizar un filtro oftálmico 440, la agudeza visual en el ojo izquierdo mejoró a 10/80. De acuerdo con la Clasificación Internacional de las Enfermedades (CIE 11), la paciente presenta una baja visión moderada [2,11].

Estos datos indican que la paciente puede ver a 10 pies o 3 metros lo que una persona normovisual podría ver a 100 pies o 30 metros aproximadamente. La paciente también reporta una mejoría de una línea de agudeza visual al colocar un filtro oftálmico.

2.5.3 Adaptación de Telescopios Galileanos

Para adaptar las ayudas ópticas lejanas, como los telescopios, se selecciona el ojo que mejor agudeza visual tenga después de colocar su mejor corrección. en el caso de la paciente, se adapta el instrumento en el ojo izquierdo. Se explicó detalladamente como manipular los instrumentos y se le permitió utilizarlos hasta que se sintiera cómoda y pudiera enfocar correctamente los optotipos de la cartilla LEA.

2.5.4 Agudeza Visual con adaptación de telescopios Galileanos

Tras la adaptación de los telescopios Galileanos, se obtuvieron las siguientes medidas de agudeza visual en el ojo izquierdo. Con el telescopio que tenía lentes de vidrio, la agudeza visual fue de 10/40. En el caso del telescopio con lentes de resina, la agudeza visual mejoró a 10/32. El telescopio híbrido, que combinaba una lente ocular impresa con un objetivo de vidrio, también proporcionó una agudeza visual de 10/32.

2.5.5 Resultados de Agudeza Visual

La adaptación de los tres instrumentos mostró una mejora en la agudeza visual. En particular, el telescopio de lentes de vidrio permitió una mejora de 4 líneas. Tanto el telescopio de lentes de resina como el telescopio híbrido lograron una mejoría de hasta 5 líneas en la agudeza visual.

2.5.6 Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste es crucial para la vida diaria, ya que está relacionada con la percepción de rostros, el subir y bajar escaleras y en general el reconocimiento de distancias y objetos [12]. Antes de la adaptación de los telescopios, la sensibilidad al contraste se midió utilizando la prueba FACT (Functional Acuity Contrast Test) y se encontró que en el ojo izquierdo (OI) era de C8. Esto indicaba que la paciente no lograba una visión funcional adecuada, limitando sus actividades diarias.

Después de la adaptación de los telescopios Galileanos, la sensibilidad al contraste en el ojo izquierdo (OI) mostró mejoras significativas. Con el telescopio de lentes de vidrio, la sensibilidad al contraste fue de E4. La misma medida se observó con el telescopio de lentes de resina. Sin embargo, con el telescopio híbrido, que combinaba una lente ocular impresa y un objetivo de vidrio, la sensibilidad al contraste mejoró a E1.

2.5.7 Resultados de Sensibilidad al Contraste

Con la adaptación de los tres telescopios la paciente mostró una mejora en la sensibilidad al contraste. Aunque el telescopio híbrido presentó una mejora ligeramente menor en comparación con los telescopios de lentes de vidrio y resina, todos los dispositivos evidenciaron mejoras significativas que se sitúan dentro de la curva de normalidad.

3. CONCLUSIONES

La implementación de los tres telescopios Galileanos resultó de gran utilidad para la paciente con baja visión, la cual reportan una mejora en la agudeza visual medida con la cartilla LEA. Tanto el telescopio híbrido como el de resina permitieron una mejorara de hasta 5 líneas en la agudeza visual, mientras que el telescopio de vidrio mostró una mejora de 4 líneas. En cuanto a la sensibilidad al contraste, todos los telescopios ofrecieron mejoras que se ubicaron dentro de la curva de normalidad, contribuyendo a una mejora en la agudeza visual funcional. Además, los telescopios construidos equilibraron de manera óptimo funcionalidad, comodidad, facilidad de uso, bajo peso y costo, gracias a la fabricación mediante impresión 3D.

4. AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio Nacional de Óptica de la Visión (LaNOV) mediante el proyecto (Apoyos LNC-2023-121), DGAPA-UNAM mediante el proyecto PAPIIT IA106823 y a Diagnostico Especializado Ocular Snellen.

5. REFERENCIAS

- [1]. Informe mundial sobre la visión [World report on vision]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; (2020). Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [2]. Muñoz-Juárez I., Rodríguez-Rodríguez M., Aguirre-Aguirre D., and Hernández-Carbajal R. "Desempeño de telescopios galileanos en pacientes informados con diagnóstico de baja visión," Actas del Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud, Vol. 5, 2023, recuperado de https://www-optica.inaoep.mx/~tecnologia_salud/acontacs/volumenes/Vol-5-2023.php
- [3]. Malacara D., [Óptica Básica,] Fondo de cultura Económica, México (1989).
- [4]. Hecht Eugene., [Optica], Addison Wesley Iberoamericana, Madrid, (2002).
- [5]. Aguirre-Aguirre D., Gonzalez-Utrera D., Villalobos-Mendoza B., and Díaz-Uribe R., "Fabrication of biconvex spherical and aspherical lenses using 3D printing," Appl. Opt. 62, C14-C20 (2023).

- [6]. Aguirre-Aguirre D., Gonzalez-Utrera D., Villalobos-Mendoza B., and Díaz-Urbe R., "Fabrication of biconvex spherical and aspherical lenses using 3D printing," *Appl. Opt.* 62, C14-C20 (2023).
- [7]. Aguirre-Aguirre D., Gonzalez-Utrera D., Villalobos-Mendoza B., and Campos-Garcia M., "Biconvex Lens Fabrication Using a 3D Printer," in *Frontiers in Optics + Laser Science 2022 (FIO, LS)*, Technical Digest Series, Optica Publishing Group (2022).
- [8]. Bautista-Hernández A., Villalobos-Mendoza B., Pérez-Tijerina E., and Aguirre-Aguirre D., "Study and characterization of components fabricated in a 3D printer," *J. Phys.: Conf. Ser.* 2307, 1-7 (2022).
- [9]. Liou H. L. and Brennan N. A., "Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling," *J. Opt. Soc. Am. A* 14, 1684-1695 (1997)
- [10]. Reynoso M., Gauli I., and Measor P., "Refractive index and dispersion of transparent 3D printing photoresins," *Opt. Mater. Express* 11, 3392-3397 (2021)
- [11]. Clasificación Internacional de Enfermedades. undécima revisión (CIE-11), [Deficiencia de la visión, incluida la ceguera]. Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019/2021).
- [12]. Rodríguez C., [Efecto de la rehabilitación en pacientes con baja visión, utilizando ayudas ópticas no convencionales], Tesis de maestría, UAA, (noviembre 2016).