

DESEMPEÑO DE TELESCOPIOS GALILEANOS EN PACIENTES INFORMADOS CON DIAGNÓSTICO DE BAJA VISIÓN

I. Muñoz-Juárez^a, M. I. Rodríguez-Rodríguez^a, D. Aguirre-Aguirre^b, R. Hernández-Carbajal^a

^a Carrera de Optometría FES Iztacala-UNAM,
314192439@iztacala.unam.mx, martin.isaias.rodriguez@iztacala.unam.mx,
ruth.hernandez.carbajal@iztacala.unam.mx

^b Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México
daniel.aguirre@icat.unam.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desempeño de dos telescopios Galileanos; uno fabricado mediante lentes de manufactura aditiva (impresión 3D), y el otro construido con lentes comerciales de tiendas especializadas, ambos diseños son caracterizados para obtener un poder de amplificación de 2X con un campo de visión entre 9 a 14 grados aproximadamente. Además, se estudia la funcionalidad de ambos instrumentos mediante pruebas de agudeza visual con cartilla Feinbloom, así como pruebas de sensibilidad al contraste. Para llevar a cabo esta propuesta, se identifica al paciente con diagnóstico de baja visión. Se muestran los resultados obtenidos con ambos telescopios, los cuales reportan un aumento de agudeza visual de un 50% al ser adaptados al paciente en cuestión.

Palabras clave: Telescopio galileano, baja visión, agudeza visual, sensibilidad al contraste

ABSTRACT

This research project explores the performance of two Galilean telescopes: one constructed using lenses produced through additive manufacturing (3D printing), and the other assembled with commercially available lenses from specialized stores. Both designs are characterized to achieve a 2X magnification power with an approximate field of view ranging from 9 to 14 degrees. Furthermore, the operational effectiveness of both optical instruments is evaluated through visual acuity assessments employing a Feinbloom chart, as well as contrast sensitivity examinations. To carry out this study, individuals diagnosed with low vision are recruited as participants. The outcomes of this investigation demonstrate a remarkable 50% improvement in visual acuity when these telescopes are tailored to the specific needs of the patients involved.

Key words: Galilean telescopes, low vision patient, visual acuity, contrast sensitivity

1. INTRODUCCIÓN

La baja visión o vista parcial, se define como la agudeza central reducida o la pérdida de campo visual irreversible [1], la cual, no se puede corregir con el uso de lentes oftálmicas o de contacto, y limita las actividades de la vida diaria de las personas que lo padecen, por lo cual, es necesario recurrir al uso de algún tipo de sistema óptico que permita mejorar esta condición del paciente. En México, de acuerdo con el INEGI 2020, hay 6,179,890 de personas con algún tipo de discapacidad, el 44% representa a la población que tiene discapacidad visual [2]. Los Telescopios Galileanos y Keplerianos, son las opciones utilizadas como ayuda óptica en el caso de visión intermedia-lejana [1,3-6]. Estos instrumentos suelen ser diseños compactos que le permiten al paciente incrementar su agudeza visual. Su utilidad principal es mejorar la zona central de visión. En la Fig. 1 se muestra un arreglo compacto de un telescopio Galileano.

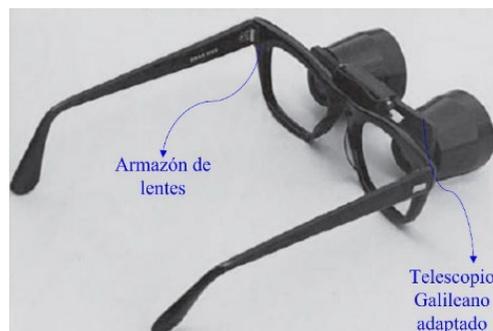


Figura 1. Telescopio Galileano adaptado a un armazón de lentes [2]

Para estudiar la funcionalidad de estos instrumentos en pacientes diagnosticados con baja visión, es necesario aplicar pruebas de agudeza visual con cartilla de Feinbloom y sensibilidad al contraste con la prueba de Sensibilidad al Contraste (CSV 1000). De acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE 11), la baja visión lejana se clasifica en cuatro grupos los cuales se especifican en la tabla 1[7]:

Tabla 1. Clasificación de problemas de Agudeza Visual

Agudeza Visual	Clasificación
Leve	Inferior a 6/12
Moderado	Inferior a 6/18
Grave	Inferior a 6/60
Ceguera	Inferior a 3/60

2. TEORÍA

De manera general, los telescopios están formados por dos lentes denominadas; lente objetivo y lente ocular. El lente objetivo tiene la función de formar una imagen real de un objeto lejano, mientras que la lente ocular cumple con la función de examinar dicha imagen real como si fuera una lupa, tal como se muestra en la Fig. 2.

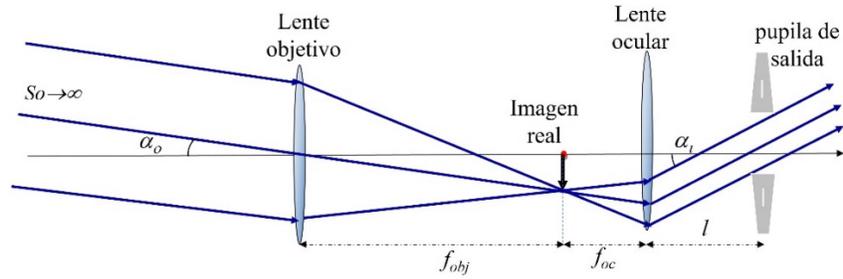


Figura 2. Diagrama de un Telescopio

Para el caso de los telescopios se considera que el objeto está situado muy lejano al lente objetivo, de tal manera que podemos suponer que todos los rayos que llegan a él provienen del infinito, es decir, son todos paralelos entre sí. El ocular, se coloca de tal forma que su plano focal anterior coincida con la imagen formada por el objetivo, de esta manera la imagen resultante estará formada al infinito [3].

El objeto visto a ojo desnudo, como se suele decir técnicamente, tiene un diámetro angular definido por (α_o) , mientras que el mismo objeto visto a través del instrumento tiene un diámetro angular aparente denominado (α_i) , con lo cual, el poder de amplificación angular del instrumento puede calcularse como:

$$P. A_{Exp} = \frac{\tan \alpha_i}{\tan \alpha_o} \quad (1)$$

Por otro lado, para el caso de los telescopios, al tener dos lentes (objetivo y ocular), cada una de ellas tiene su correspondiente distancia focal, definidas como $f_{objetivo}$ y f_{ocular} , de tal manera que su poder de amplificación experimental se expresa como:

$$P. A_T = -\frac{f_{objetivo}}{f_{ocular}} \quad (2)$$

El signo negativo de la Ec. (2) físicamente significa que la imagen intermedia aparece invertida. Otra expresión conveniente para el poder de amplificación surge cuando consideramos los diámetros de la pupila de entrada y salida del telescopio, es decir, D_1 es el diámetro del lente objetivo y D_2 es el diámetro de la pupila de salida, entonces:

$$P. A = \frac{D_1}{D_2} \quad (3)$$

2.1 Telescopios Galileanos

Los telescopios refractores son sistemas ópticos que tienen un propósito mayor que una lente simple, de tal manera que deben tenerse en cuenta las principales aberraciones ópticas corregidas, donde, las aberraciones de esfericidad, la coma y la aberración cromática son las más importantes.

Entre los objetivos refractores más importantes se encuentra el telescopio Galileano, el cual se compone de igual manera de dos lentes; un lente objetivo y un ocular, en el caso de los telescopios Galileanos se utiliza una lente positiva como objetivo y una lente negativa como ocular, preferentemente de alto poder dióptrico.

Para el área de baja visión en óptica oftálmica, los telescopios Galileanos tienen la peculiaridad de que son arreglos compactos, de unos cuantos centímetros, además, tienen la ventaja de que forman una imagen ampliada derecha. Por el contrario, una posible desventaja es que no alcanzan poderes de ampliación mayores a 5x, sin embargo, usados como ayudas ópticas en pacientes con diagnóstico de baja visión es suficiente el poder de ampliación que proporcionan. Un detalle para considerar es que la pupila de salida de este instrumento se encuentra dentro del mismo telescopio, por lo cual, al ver con este instrumento se tiene la sensación de ver a través de un tubo [3]. En la figura 3 se muestra un arreglo esquemático de un telescopio Galileano.

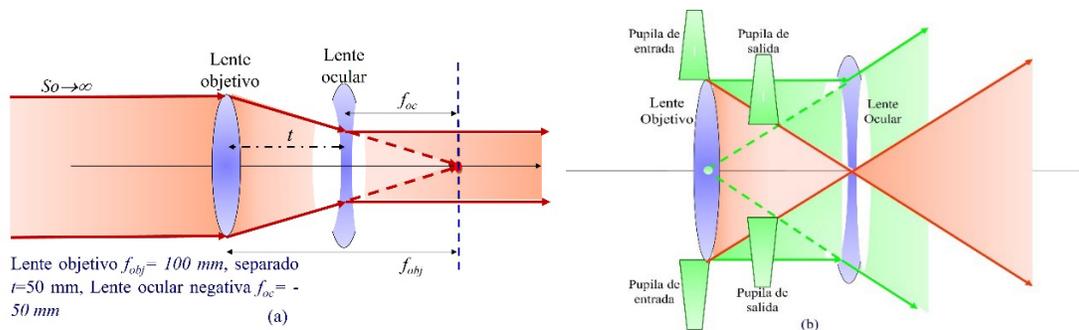


Figura 3. a) Diagrama que representa un Telescopio Galileano. b) Diagrama cualitativo con trazo de rayos en un Telescopio Galileano localizando las pupilas de entrada y salida del sistema

El telescopio Galileano es un instrumento afocal, esto debido a que sus dos focos están en el infinito. Su campo visual está determinado por el diámetro del lente objetivo y la distancia del ocular al ojo del observador [1,3,4].

Las lentes que hemos propuesto para llevar a cabo la construcción de nuestros telescopios son; lentes compradas en tiendas especializadas, las cuales se propone comparar con lentes impresas mediante ingeniería aditiva. En ambos casos se busca obtener un poder de ampliación de 2X. Esta es nuestra primera propuesta para evaluar el desempeño de lentes que se imprimen por ingeniería aditiva, por lo cual, se optó por propuesta de poder de ampliación (2X) por sencillas para la construcción e implementación del instrumento.

Para el caso del telescopio Galileano, la Ec. (2) definida previamente sigue siendo válida, con la salvedad que ahora la lente ocular es negativa, de tal manera que la expresión se modifica mediante la ecuación (3) [5].

$$P.A. = \frac{f_{ob}}{f_{oc}} \quad (4)$$

Donde f_{ob} representa la distancia focal del lente objetivo (positiva) y f_{oc} es la distancia focal de la lente ocular (negativa). Por otro lado, el poder de ampliación experimental se sigue

calculando tal como se mostró en la Ec. (1), sin embargo, dicha ecuación se puede simplificar como se muestra en la Ec. (5). [5].

$$P.A. \frac{\alpha_i \text{ valor medido a través del telescopio}}{\alpha_o \text{ valor medido directamente}} \quad (5)$$

En este caso α_i representa el tamaño angular de la imagen vista a través del telescopio y α_o representa el tamaño angular del objeto medida a ojo desnudo.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se construyeron dos telescopios Galileanos, uno instrumentado con lentes de vidrio BK-7 de tiendas especializadas y el otro con lentes fabricadas mediante impresión 3D por manufactura aditiva como se describe en refs. [8-10]. Para las lentes fabricadas mediante manufactura aditiva se usó la resina Clear de Form Labs [10].

El primer telescopio fue construido con una montura especial de Thorlabs, con un lente objetivo de 50 mm y una lente ocular de -25 mm. El segundo telescopio fue construido con un tubo de material accesible, mediante una lente objetivo de 100 mm y una lente ocular de -50 mm, para ambos casos se obtiene un Poder de Amplificación teórica de 2x. La lente ocular (lente negativa) es colocada en una posición intermedia entre la lente objetivo (lente positiva) y su punto focal posterior. En este caso como se trata de lentes delgadas por lo que sus planos principales de ambas lentes se localizan en el vértice de la superficie. Ambos telescopios (Comercial y fabricado por ingeniería aditiva) se muestran en la Fig. 4.



Figura 4. a) Lentes marca Thorlabs, b) Lentes de resina generadas mediante manufactura aditiva, c) Instrumentación de Telescopio con lentes y montura Thorlabs, d) Instrumentación de Telescopio con lentes de resina y tubo de material accesible

Tomando en cuenta las ecuaciones Ecs. (4) y (5), se puede calcular el poder de amplificación teórico y experimental, el cual se define de la siguiente manera para cada instrumento.

$$P. A_{\text{teórico}} = -\frac{50 \text{ mm}}{-25 \text{ mm}} = 2X, \quad (6)$$

$$P. A_{\text{teórico}} = -\frac{100 \text{ mm}}{-50 \text{ mm}} = 2X. \quad (7)$$

Para el cálculo del poder de amplificación experimental se toma en cuenta la Ec. 5. Para esto, se mide el tamaño angular del objeto directamente, y el de la imagen vista a través del instrumento, estos valores se sustituyen en la expresión correspondiente.

Para el tamaño angular del objeto se tiene.

$$\alpha_o = \frac{h_o}{d_s} = \frac{6.5 \text{ mm}}{670 \text{ mm}} = 0.00895 \quad (8)$$

h_o representa la altura del objeto, d_s es la distancia del objeto al lente objetivo. Correspondientemente, para el tamaño angular de la imagen se tiene.

$$\alpha_i = \frac{h_i}{d} = \frac{6.5 \text{ mm}}{310 \text{ mm}} = 0.0209 \quad (9)$$

h_i representa la altura de la imagen visto a través del instrumento, y d es la distancia de la lente ocular a la zona peri orbitaria del observador. Con ambos datos obtenidos se calcular el Poder de Amplificación experimental

$$P. A_{\text{exp}} = \frac{0.0209}{0.00895} \quad (10)$$

3.1 Análisis del Campo Visual

Se propuso una metodología para calcular el campo visual que se puede observar a través de ambos telescopios a diferentes distancias. Para esto, se tomó como objeto de referencia un letrero de la clínica de optometría de la FES Iztacala medido a diferentes distancias.

La primera distancia fue; a 1.20 metros, a esta distancia se calculó el campo visual, para eso hicimos uso de la Ec. 11, después, nos alejamos a 1.80 metros donde nuevamente calculamos el campo visual, así sucesivamente hasta llegar a 4.8 metros, en pasos de sesenta centímetros como se muestra esquemáticamente en la Fig. 5. Adicionalmente, se muestra una tabla 2 de los valores del campo visual calculados a cada distancia.

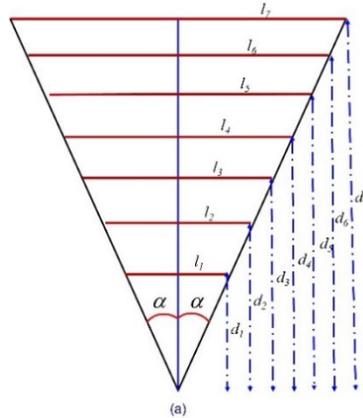


Figura 5. a) Esquema de campo visual, donde l subíndice representa la medida del tamaño del objeto, d subíndice es la distancia del objeto al observador, α es el ángulo de campo visual

Tabla 2. Lista de valores de campo visual a diferentes distancias

Distancias d_i (cm)	Tamaño Imagen l_i (cm)	Campo Visual α (grados)
120	15	14.25
180	19.4	12.30
240	26	12.37
300	31	11.80
360	36.1	11.45
420	40.9	11.12
480	52.1	12.30

Haciendo uso de la relación trigonométrica mostrada en la Ec. (11), se puede determinar el campo visual (α), como se muestra en las gráficas de la Fig. 6., para el desempeño de ambos telescopios.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{l}{d} \equiv \frac{\text{semicampo visual}}{\text{dist. de observación}} \quad (11)$$

Con los datos obtenidos se realizó una gráfica del campo visual vs la distancia de observación usando ambos telescopios (Línea negra de la gráfica de la Fig. 6.). Se puede observar que se presentan algunas variaciones del campo visual calculado a diferentes distancias, esto es debido a que el instrumento usado para medir fue un flexómetro con resolución de ± 1 mm, esto conlleva a errores experimentales en la medición de cada dato, sin embargo, los datos experimentales del campo visual caen entre dos desviaciones estándar, por otro lado, el campo visual esperado sería un valor constante (línea azul de la gráfica de la Fig. 6). Con este procedimiento se logró analizar el desempeño de dichos instrumentos en un análisis preliminar.

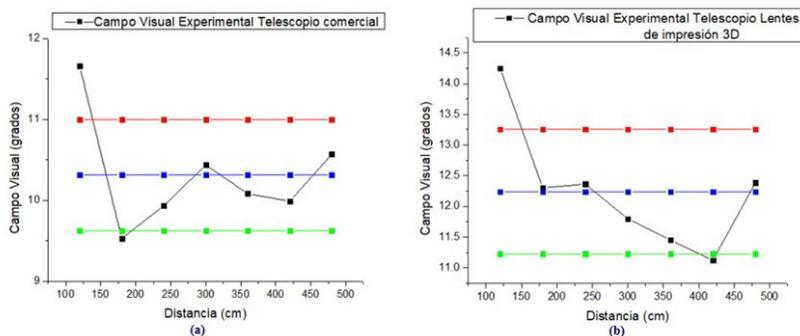


Figura 6. A) Campo visual de Lentes Comerciales de Thorlabs y b) Campo visual Lentes de manufactura aditiva. (Las mediciones se encuentran en negro, el promedio en azul, y las dos desviaciones estándar en color rojo y verde)

4 FUNCIONALIDAD CLÍNICA DE TELESCOPIOS

4.1 Datos del paciente a evaluar

Paciente femenino de 77 años con padecimiento: Degeneración Macular asociada a la Edad (DMAE), Exotropía, Catarata Nuclear en Ojo Derecho y Catarata Posterior en Ojo Izquierdo. Estos padecimientos son característicos para un diagnóstico de baja visión moderada. Se midió la Agudeza Visual de ambos ojos con una cartilla especial para pacientes con baja visión (Cartilla de Feinbloom), para esto, debe utilizarse una buena iluminación.

Agudeza Visual del paciente con uso de lentes oftálmicas (mediante cartilla de Feinbloom), antes de adaptar Telescopio:

- (Ojo Derecho) OD: 20/160
- (Ojo Izquierdo) OI: 20/800

Los anteriores se interpretan de la siguiente manera:

Para este caso, el paciente puede ver a 20 pies o 6 metros aproximadamente lo que una persona normovisual (20/20) realmente puede ver a 160 pies o 48 metros aproximadamente. Al adaptar un telescopio Galileano afocal permite amplificar la imagen y mejorar la condición del paciente.

4.2 Adaptación de telescopio Galileano

Se adaptó ambos telescopios, el de lentes comerciales y el de lentes de manufactura aditiva, como ayuda óptica, estos se deben adaptar en el ojo con mejor visión, pero para pruebas de desempeño en ambos instrumentos, se utilizó en ambos ojos. Se dejó a la paciente manipular los instrumentos hasta que ella se sintiera cómoda y pudiera enfocar los optotipos de lejos y se midió nuevamente la Agudeza Visual.

Agudeza visual del paciente con uso de Telescopio Galileano de Thorlabs (lentes comerciales).

- Ojo Derecho (OD): 20/80
- Ojo Izquierdo (OI): 20/720

Agudeza visual del paciente con uso de Telescopio Galileano de lentes de manufactura aditiva (3D).

- Ojo Derecho (OD): 20/120
- Ojo Izquierdo (OI): 20/800

4.3 Resultados de Agudeza Visual (usando cartilla de Feinbloom)

Para ojo derecho, mejoró de moderado a leve con el uso del Telescopio de lentes comerciales, mientras que con el uso de lentes de manufactura aditiva se mantuvo en moderado, de acuerdo con la clasificación de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE 11).

Para ojo izquierdo no hubo mejoría visible con ninguno de los dos telescopios ya que reporta una condición grave de acuerdo con la clasificación de baja visión.

4.4 Resultados de sensibilidad al contraste (usando test CSV 1000)

La sensibilidad al contraste se relaciona con la realización de algunas actividades de la vida diaria, como la percepción de caras, movilidad suficiente y reconocimiento de distancias y objetos [6].

La prueba se realizó con una prueba CSV 1000, para medir la sensibilidad al contraste lejana antes de la adaptación del telescopio y después de la adaptación, como se muestra en la fig.7.

Al adaptar ambos telescopios se observa una mejoría de contraste, sin embargo, no existe una diferencia significativa entre el uso del telescopio de lentes especializadas y el de lentes de manufactura aditiva. En la Fig. 7 se muestra el procedimiento de toma de Agudeza Visual con cartilla de Feinbloom. Al igual que la prueba de sensibilidad al contraste con el test CSV 1000 y sus resultados.

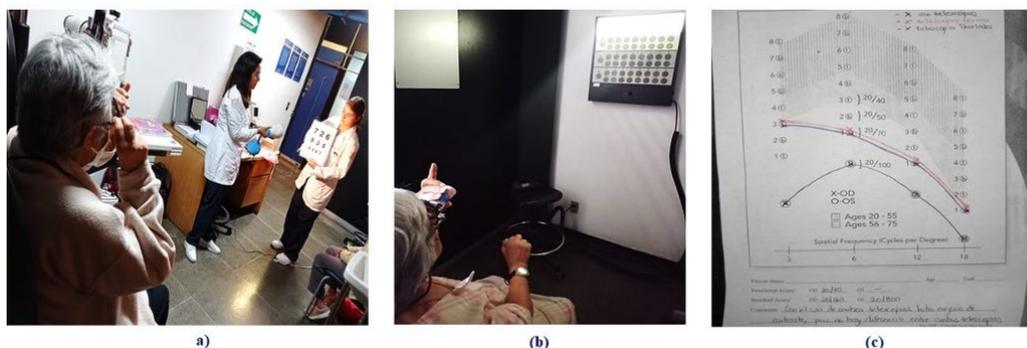


Figura 7. a) Evaluación de Agudeza Visual con Cartilla de Feinbloom y Telescopio adaptado al paciente. b) Evaluación Prueba de Sensibilidad al Contraste con Telescopio adaptado al paciente. c) Resultados de Prueba de Sensibilidad al Contraste con ambos Telescopios

5. CONCLUSIONES

La propuesta desarrollada en este trabajo muestra la implementación de telescopios Galileanos para débiles visuales, los cuales, permiten mejorar la condición y agudeza visual del paciente en un 50% con lentes comerciales y un 35% con lentes impresas en 3D. La función principal de este instrumento es amplificar del orden de 2X las imágenes, de esta manera, proporciona una mejor calidad y nitidez en las imágenes por la amplificación que produce, más que por una corrección refractiva. Por otro lado, el desempeño de ambos instrumentos en cuanto a campo visual, permiten observar en un rango de 8° de campo visual para las lentes comerciales de Thorlabs y 11° para las lentes de resina. Adicionalmente, se realizaron pruebas de sensibilidad al contraste; se observó una mejoría de contraste con el uso de ambos telescopios, sin embargo, no existe diferencia significativa entre el uso del telescopio de lentes comerciales y el de lentes de manufactura aditiva. Finalmente, el telescopio adaptado proporciona mayor calidad óptica, lo cual le permite al paciente obtener mayor nitidez, mayor entrada de luz y una mejor respuesta visual.

Agradecimientos

Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) (IA106823, IT100321), and FESI-PAPCA 2021-2022-43. PAPIME (PE 109023). Al Dr. R. Díaz-Uribe por prestar lentes especiales para realizar una exploración preliminar. A la Maestra María Concepción Rodríguez Salgado por sus asesorías en el área de baja visión.

6. REFERENCIAS

- [1]. Fannin T., Grosvener T., [Óptica Clínica], Ediciones Omega, Barcelona, 375-381, (2007).
- [2]. INEGI., [Discapacidad]., México, (2020). Recuperado el 29/09/2023 [Internet] <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Censo,mujeres%20y%2047%20%25%20son%20hombres.>
- [3]. Malacara D., [Óptica Básica], Fondo de Cultura Económica, 3er Edición, México, 149-150, (2015).
- [4]. Hecht E., [Optica], Addison Wesley Iberoamericana, Madrid, 2002.
- [5]. Díaz Uribe J., [Laboratorio de Óptica Teoría y Práctica,] Las prensas de ciencias, 1ª. Edición 25 de septiembre de 2018.
- [6]. Rodríguez S., [Efecto de la rehabilitación en pacientes con baja visión, utilizando ayudas ópticas no convencionales], Aguascalientes, (noviembre 2016).
- [7]. Clasificación Internacional de Enfermedades. undécima revisión (CIE-11), [Deficiencia de la visión, incluida la ceguera]. Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019/2021). Recuperado el 29/09/2023 [Internet] <http://id.who.int/icd/entity/1103667651>
- [8]. 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).

- [9]. 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).
- [10]. 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).