

MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE LA POTENCIA DE ESFERA EN UNALENTE OFTÁLMICA UTILIZANDO UN HAZ COLIMADO DE LUZ

Santiago Abraham Trejo Maldonado, Gerardo Trujillo Schiaffino, Didia Patricia Salas Peimbert, Marcelino Anguiano Morales, Luis Francisco Corral Martínez

Tecnológico Nacional de México/I.T. Chihuahua, División de Estudios de Posgrado e Investigación,
Av. Tecnológico 2909, Chihuahua, Chih., México, 31310, Tel. +52 (614) 2012000

e-mail: satrejo@itchihuahua.edu.mx, gtrujill@itchihuahua.edu.mx

RESUMEN.

El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un nuevo método para la medición de la potencia dióptrica de una lente oftálmica. El método propuesto se basa en hacer pasar un haz colimado de luz con un diámetro conocido a través de la lente oftálmica bajo prueba y medir el cambio en el diámetro del haz. Dichos cambios son medidos a través del procesamiento automatizado de imágenes digitales para obtener la potencia de esfera de la lente oftálmica. Se presenta el modelo teórico, el montaje experimental y los resultados preliminares obtenidos.

Palabras Clave: Lentes oftálmicas, potencia dióptrica.

ABSTRACT.

The present work describes the design and development of a new method for the measurement of the dioptric power of an ophthalmic lens. The proposed method is based on passing a collimated beam of light with a known diameter through the ophthalmic lens under test and measuring the change in beam diameter. These changes are measured through the automated processing of digital images to obtain the sphere power of the ophthalmic lens. The theoretical model, the experimental assembly and the preliminary results obtained are presented.

Keywords: Ophthalmic lenses, dioptric power.

1. INTRODUCCIÓN

La optometría es la ciencia encargada del cuidado primario de la salud visual a través de acciones de prevención, diagnóstico, tratamiento y corrección de defectos refractivos, acomodativos, musculares y por enfermedad. Esta ciencia se ocupa también del diseño, cálculo, adaptación y control de lentes oftálmicas y de contacto.

Un lensómetro es un equipo de diagnóstico que permite determinar características ópticas de una lente tales como: ubicación del centro óptico, medición de la potencia dióptrica y determinación de la dirección del eje óptico [1] [2].

La potencia óptica P es la magnitud física que mide la capacidad de una lente de hacer converger o diverger un haz de luz incidente. Se define como el inverso o recíproco de la distancia focal f de la lente y de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, su unidad es la dioptría (m^{-1}) [3].

$$P = \frac{1}{f} \quad (1)$$

A diferencia de un lensómetro, los autolensómetros cuentan con componentes ópticos modernos y sofisticados sistemas electrónicos y computacionales que les permiten realizar de manera más eficaz mediciones automáticas. Contienen diversas modalidades de entrega de información tales como: despliegue de información gráfica, opciones de almacenamiento y análisis estadístico.

El propósito de este proyecto surgió del interés en sentar las bases para el futuro desarrollo de un auto-lensómetro con tecnología sencilla, confiable y a un costo razonable.

Hoy en día existen diversas técnicas tales como la prueba de Hartmann, la deflectometría de moiré, el focímetro o fronto-focómetro, etc.; utilizadas para medir las propiedades de las lentes oftálmicas, sin embargo, uno de los principales problemas de estos tipos de análisis es que requieren montajes complicados o su análisis se basa en complejos modelos matemáticos.

Este trabajo presenta una opción diferente de los métodos existentes y consiste en el desarrollo de un sencillo montaje capaz de proporcionar una medición confiable de las características ópticas de una lente oftálmica, basado en conceptos básicos de trigonometría y en un modelo matemático simple que permiten encontrar una relación para el cálculo de la potencia dióptrica de una lente oftálmica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Propagación de la luz

La luz emitida por algunas fuentes luminosas se propaga en línea recta y en todas direcciones. Cada una de estas líneas rectas en las que viaja la luz se denomina rayo de luz. La velocidad con que se propaga la luz depende del medio que atraviesa, es decir, su velocidad no es igual en el aire que en el agua. Para fines prácticos, se considera que la velocidad de la luz en el aire es de 3×10^8 metros por segundo.

Cuando la luz incide sobre la interfaz comprendida entre dos medios transparentes de diferente índice de refracción, parte de la energía luminosa se refleja y otra parte se refracta.

2.2 Refracción de la luz

Se presenta como un cambio en la dirección y velocidad de los rayos de luz cuando pasan de un medio a otro cuyos índices de refracción son diferentes [4].

El índice de refracción n es un número adimensional que representa la razón que existe entre la velocidad de la luz en el vacío c dividida por la velocidad de la luz en un medio v . Su valor representa cuánto se reduce la velocidad de la luz dentro de un medio.

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

La refracción de la luz se rige por las siguientes dos leyes.

Primera: El rayo incidente, la normal y el refractado se encuentran en un mismo plano.

Segunda: Se cumple la Ley de Snell la cual afirma que el producto del índice de refracción del primer medio n_1 y el seno del ángulo de incidencia de un rayo θ_1 es igual al producto del índice de refracción del segundo medio n_2 y el seno del ángulo de refracción θ_2 , como se ve en la Figura 1.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3)$$

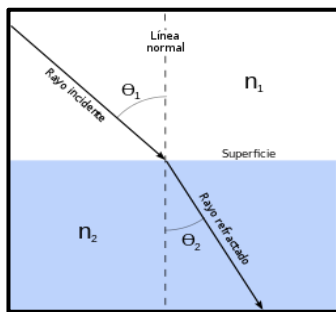


Figura 1 Refracción de la luz.

2.3 Tipos de lentes

En la optometría se utilizan en general dos tipos de lentes: esféricas y cilíndricas, así como combinaciones de éstas para corregir ametropías (errores de refracción) del ojo. Las lentes esféricas corrigen la miopía, la hipermetropía y la presbicia; mientras que las lentes cilíndricas corrigen el astigmatismo.

2.4 Estándar internacional ISO 8598

Es de suma importancia mencionar la relevancia de los estándares internacionales para los aparatos encargados de medir la potencia óptica en las lentes oftálmicas. El estándar ISO 8598 especifica las siguientes definiciones y tolerancias:

- La definición de potencia vértice posterior, es el recíproco del valor paraxial de la distancia vértice posterior medida en metros.
- Las tolerancias de la medición de potencia vértice para un medidor de potencia dióptrica con un rango de medición de ± 0 a ± 20 D, deberá ser desde ± 0.06 a ± 0.18 D [5].

3. MODELO MATEMÁTICO

Mediante este trabajo se busca proporcionar una alternativa confiable y sencilla para la medición de las características ópticas de una lente oftálmica mediante el uso de un modelo matemático comprobado y basado en conceptos básicos de trigonometría que permiten encontrar una relación en el cálculo de la potencia dióptrica de una lente oftálmica en función de: el diámetro del haz colimado de luz que incide sobre la lente bajo prueba, el diámetro del haz refractado y la distancia comprendida entre la lente y la pantalla de proyección. Los datos adquiridos digitalmente son procesados y utilizados en el cálculo de la potencia dióptrica de la lente bajo prueba.

3.1 Análisis matemático

En la Figura 2 se muestra el esquema utilizado para el análisis del modelo matemático:

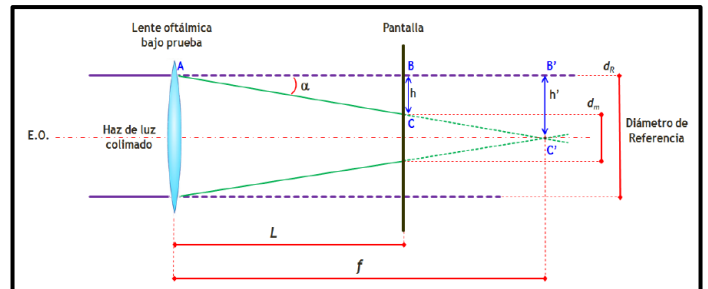


Figura 2 Trazo de rayos en lente oftálmica bajo prueba.

Se observa que al incidir el haz de luz colimado en la lente oftálmica bajo prueba, se proyecta sobre la pantalla un spot con diámetro d_m (diámetro medido) diferente al diámetro d_R (diámetro de referencia) del haz que incide sobre dicha lente. A partir de este comportamiento y usando relación de triángulos se analizaron los siguientes ángulos:

$$\Delta ABC \quad \tan \alpha = \frac{h}{L} \quad (4)$$

$$\Delta AB'C' \quad \tan \alpha = \frac{h'}{f} \quad (5)$$

Analizando las relaciones que existen entre las alturas h y h' , y entre el diámetro de referencia d_R y el diámetro medido d_m se obtienen:

$$h = \frac{d_R - d_m}{2} \quad (6)$$

$$h' = \frac{d_R}{2} \quad (7)$$

Después de igualar las ecuaciones (4) y (5), y despejar la distancia focal f se obtiene:

$$f = \frac{h'L}{h} \quad (8)$$

Sustituyendo las ecuaciones (6) y (7) en la ecuación (8) se obtiene:

$$P = \frac{1}{f} = \frac{(d_R - d_m)}{Ld_R} \quad (9)$$

Finalmente en la ecuación (9) se observa un modelo matemático directo y sencillo para la medición de la potencia dióptrica P en lentes oftálmicas mediante el uso de conceptos básicos de trigonometría [6].

3.2 Interpretación de potencia en lentes esféricas

Este tipo de lentes cuentan únicamente con potencia de esfera. Si se toma como imagen de referencia el resultado de la colimación de una fuente puntual de luz el cual corresponde a un patrón circular y se coloca enseguida una lente esférica (positiva o negativa) centrada sobre el eje óptico, la imagen formada cuenta con dos características principales:

1. Su forma sigue asemejándose a la del haz circular de referencia.
2. El cambio que sufre en su diámetro es uniforme, de la misma magnitud en todas direcciones.

Si se toma como referencia un círculo con un diámetro dado (color negro) y se coloca a su derecha una lente esférica positiva, entonces la imagen formada es un círculo (color azul) con un diámetro menor al de referencia. Si se sustituye esta lente con otra lente esférica negativa, se obtiene un círculo con diámetro mayor al de referencia, ver Figura 3.

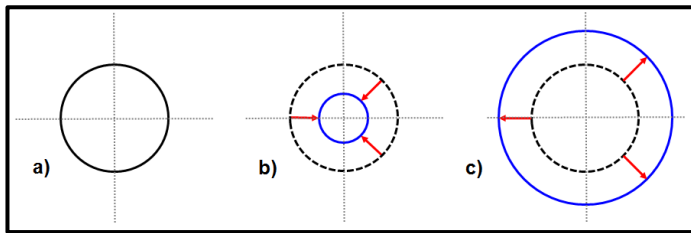


Figura 3 Interpretación en lentes esféricas: a) imagen de referencia, b) imagen producida al colocar una lente esférica positiva e c) imagen producida al colocar una lente esférica negativa.

4. DESARROLLO DEL MODELO EXPERIMENTAL

4.1 Montaje de laboratorio

Para obtener las características ópticas de lentes oftálmicas se implementó un arreglo experimental con las siguientes componentes ópticas, ver Figura 4:

- Una fuente de luz (led amarillo alta potencia de 3W)
- Un diafragma
- Una lente colimadora
- Una lente oftálmica bajo prueba
- Una pantalla de proyección traslúcida
- Una cámara digital

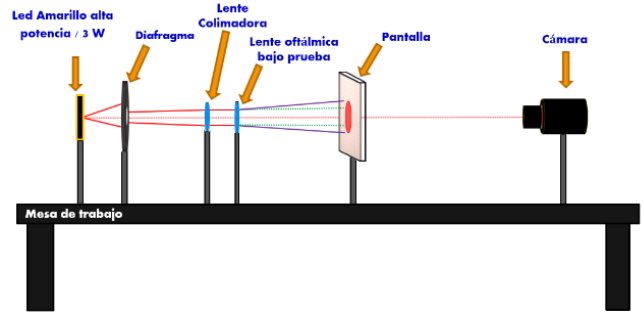


Figura 4 Esquema del montaje experimental.

En la Figura 5 se muestra físicamente el montaje experimental.

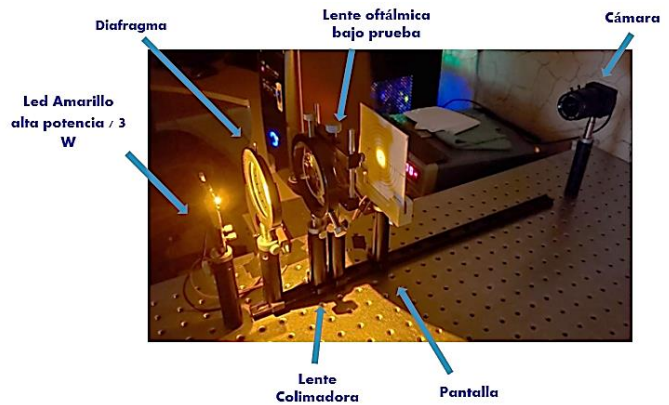


Figura 5 Montaje experimental.

4.2 Software de medición

Se comenzó por hacer la medición de lentes oftálmicas con un autolensómetro comercial marca NIDEK, con lo cual se obtuvo un registro de los valores reales de cada una, posteriormente se desarrolló un programa en el software LabView® que consiste en varios subVis necesarios para la captura, análisis y procesamiento de la información; hasta cuantificar las magnitudes de las características ópticas de las lentes oftálmicas y poder comparar los resultados con el registro de los valores reales. En la Figura 6 se ilustra la interfaz de usuario diseñada.

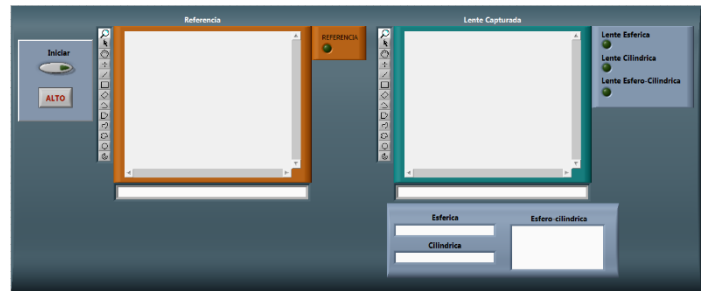


Figura 6 Interfaz de usuario.

La interfaz muestra un panel de control basado en un botón de inicio y otro de paro, así como 2 pantallas de visualización: una para el spot de referencia y otra para el spot de medición. Cuenta además con 4 indicadores booleanos tipo led: uno indicando que la medición del spot de referencia se realizó y los otros tres indicando el tipo de lente bajo medición. Y con 3 indicadores numéricos para desplegar los valores obtenidos de la medición.

5. RESULTADOS

Para comprobar el buen funcionamiento del montaje experimental y sobre todo el desempeño del modelo matemático utilizado se realizaron pruebas con algunas lentes esféricas.

En primer lugar, se realizó la medición del diámetro de referencia, así como la calibración de este mismo, como se muestra en la Figura 7. Al realizar esta medición se tuvo un resultado de -0.08 dioptrías, a pesar de que el resultado esperado era de 0 dioptrías, el resultado obtenido está muy cerca de cumplir con la norma ISO 8598 la cual establece que para una medición de 0 dioptrías la tolerancia permitida es de ± 0.06 dioptrías.

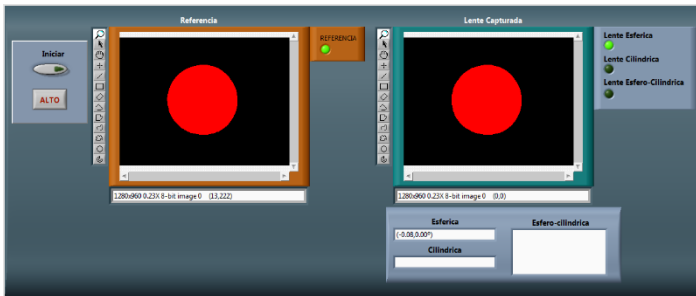


Figura 7 Resultados obtenidos para 0 D.

También se realizaron pruebas con una lente esférica de +3 dioptrías, como se muestra en la Figura 8. Al realizar esta medición se obtuvo un resultado de +3.02 dioptrías.

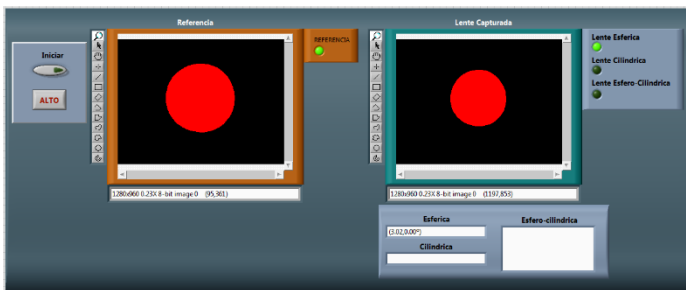


Figura 8 Resultados obtenidos para +3 D.

Por otro lado se hizo la medición de una lente esférica -3 dioptrías, como se muestra en la Figura 9. En el cual se obtuvo un resultado de -3.20 dioptrías.

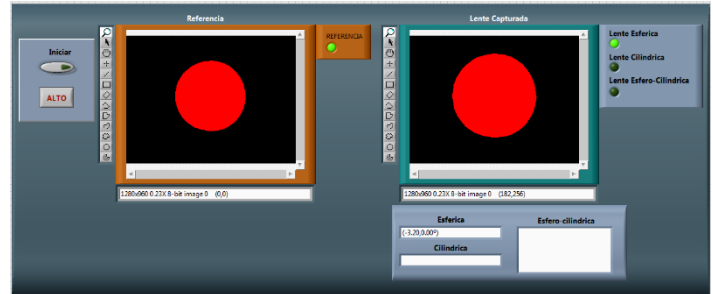


Figura 9 Resultados obtenidos para -3 D.

De igual manera se hizo la medición de una lente esférica +1 dioptrías, como se muestra en la Figura 10. En la cual se obtuvo un resultado de +1.07.

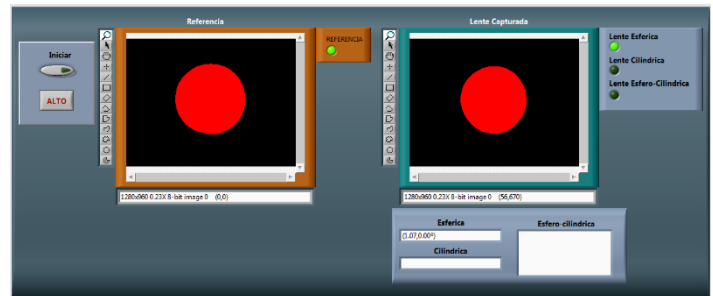


Figura 10 Resultados obtenidos para +1 D.

Por último se realizó una prueba con una lente de -1 dioptrías, como se muestra en la Figura 11. De la cual se obtuvo como resultado -1.13 dioptrías.

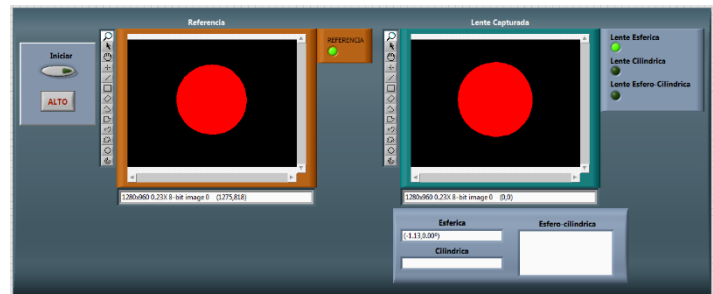


Figura 11 Resultados obtenidos para -1 D.

6. CONCLUSIONES

El arreglo experimental propuesto y el software desarrollado cuentan con la capacidad de medir la potencia de esfera en lentes oftálmicas en base al modelo matemático utilizado.

A pesar de que el sistema todavía no está compensado, los resultados que este arroja son buenos y congruentes.

El error de medición es mayor en las lentes con potencia negativa que en las de potencia positiva, como se muestran en los resultados obtenidos de las lentes de -1D y -3D. Sin embargo, esto puede ser fácilmente compensado.

Como trabajo a futuro, se plantea:

- Realizar pruebas con otros tipos de lentes oftálmicas, tales como cilíndricas y esfero-cilíndricas.
- Calcular las ecuaciones de compensación para garantizar que todas las mediciones cumplan con la norma ISO 8598.
- Caracterizar el sistema desarrollado para determinar su precisión y exactitud.
- Obtener el prototipo de un autolensómetro.

7. REFERENCIAS

- [1] D. Malacara, “Óptica Básica”, *Ediciones Científicas Universitarias*, 2015, pp. 191-193.
- [2] M. Corral, “Instrumentos Ópticos y Optométricos”, *Universidad de Valencia*, 1998, pp. 249-264.
- [3] M. Kane, “Física”, 2ª Edición, *España: Editorial Reverte*, 2007, pp. 555-582.
- [4] E. Hecht, “Óptica”, *Madrid: Addison-Wesley*, 1999, pp. 86-140.
- [5] *Optics and Optical Instruments: Focimeters*, ISO 8598, 1996.
- [6] M. Landeros, “Medición de esfera y cilindro en lentes oftálmicas usando un haz colimado de luz láser”, Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Chihuahua, 2018.