

## MEDICIÓN DE ESFERA Y CILINDRO EN LENTES OFTÁLMICAS USANDO UN HAZ COLIMADO DE LUZ LÁSER.

Landeros Martínez María Magdalena, Trujillo Schiaffino Gerardo, Salas Peimbert Didia Patricia,  
Anguiano Morales Marcelino, Corral Martínez Luis Francisco  
Instituto Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Ave. Tecnológico #2909 Chihuahua, Chih., México, C.P. 31310  
magdalena.parland@gmail.com

### RESUMEN.

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema óptico capaz de medir la potencia de esfera y la potencia de cilindro en lentes oftálmicas por medio de un haz colimado de luz láser. Se presenta el desarrollo de un modelo matemático y un montaje experimental que permite validar dicho modelo. Las mediciones se realizaron a lentes oftálmicas con potencias de 0 D a  $\pm 8.00$  D, obteniendo por medio de este sistema óptico resultados favorables que cumplen con los requerimientos establecidos por la Norma ISO 8598 para lensómetros comerciales.

**Palabras Clave:** Lensómetros, potencia lente oftálmica, haz colimado luz láser.

### ABSTRACT.

This paper presents the development of an optical system capable of measuring the sphere power and the cylinder power in ophthalmic lenses by means of a collimated beam of laser light. The development of a mathematical model and an experimental set-up that validates this model is presented. The measurements were made to ophthalmic lenses with powers from 0 D to  $\pm 8.00$  D, obtaining by means of this optical system favorable results that meet the requirements established by ISO 8598 for commercial lensometers.

**Keywords:** Lensometers, ophthalmic lens power, collimated beam of laser light.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen distintos tipos de lensómetros y auto-lensómetros utilizados para medir las características ópticas de las lentes oftálmicas, sin embargo utilizan tecnología extranjera, motivo por el cual los costos y el mantenimiento de los mismos son muy elevados. Debido a esto surge el interés por desarrollar un auto-lensómetro con tecnología sencilla, confiable y a un costo razonable.

Existen diversas alternativas de auto-lensómetros realizados previamente, los cuales sirven para medir las distintas propiedades de las lentes oftálmicas [1]–[2]. Una de ellas se realizó implementando un montaje Hartmann [3], el siguiente se llevó a cabo haciendo uso de la ecuación de Gauss y de las ecuaciones de amplificación [4] y finalmente la tercer alternativa mediante la variación de la amplificación lateral [5]. Sin embargo, uno de los principales problemas de estos tipos de

análisis es que debe de existir mucha precisión e incluso en algunos de los casos la fuente de iluminación no ayudaba mucho para la obtención de mejores resultados.

Por la forma en la que se genera la luz láser, la energía de la radiación es muy definida. La luz láser es muy direccional, lo cual le permite propagarse a grandes distancias sin divergir de forma importante. Esta característica hace que con un láser sea posible concentrar una alta cantidad de energía en un punto determinado. En otras palabras, es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para finalmente generar un haz de luz coherente tanto espacial como temporalmente [6].

Un expansor de haz es un sistema óptico de dos o más elementos, los cuales sirven para cambiar el tamaño del haz y sus características de divergencia. Los expansores de haz tienen numerosos usos, dentro de los cuales los más relevantes son mejorar la colimación y reducir el diámetro del haz [7].

Al momento de colimar el haz de luz láser, el flujo de la energía es unidireccional, de modo que cada trayectoria o rayo emitido por este mismo puede considerarse paralelo a cualquier otro [8].

Los lensómetros y auto-lensómetros se basan en principios de operación muy diferentes [9]– [15], pero todos ellos con la misma finalidad, la cual consiste en medir las distintas propiedades de las lentes oftálmicas.

Este trabajo presenta una alternativa a los métodos existentes, la cual consiste en desarrollar un sistema óptico capaz de medir la potencia de esfera y la potencia de cilindro en lentes oftálmicas por medio de un haz de luz láser colimado, mediante un modelo matemático simple y confiable, así mismo un prototipo experimental robusto, sencillo y económico en comparación con los ya existentes en el mercado.

### 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y MODELO EXPERIMENTAL

En esta sección se detallan algunos de los aspectos referentes a la elaboración del modelo matemático y el modelo experimental. También se da una descripción de los elementos utilizados para la implementación del prototipo del sistema óptico.

### 2.1. Modelo matemático.

En la realización del sistema óptico se busca proporcionar una alternativa confiable y sencilla para la medición de las características ópticas de una lente oftálmica basada en conceptos básicos de trigonometría, los cuales permitan encontrar una relación para el cálculo de la potencia dióptrica de una lente oftálmica, en función del diámetro del haz de luz láser colimado que incide sobre la lente bajo prueba, el diámetro del haz refractado y la distancia comprendida entre la lente y la pantalla de proyección.

Para el planteamiento del modelo matemático se realizó un análisis mediante la relación existente entre diámetros.

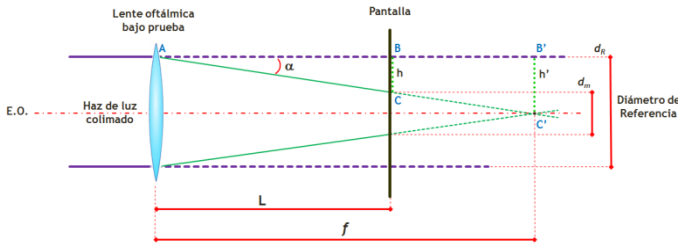


Figura 1. Trazo de rayos en lente oftálmica.

En la Figura 1 se observa que al incidir el haz de luz colimado en la lente oftálmica bajo prueba, se genera un spot  $d_m$  de diferente tamaño que el de referencia  $d_R$ , a partir de este comportamiento se analizó que de los puntos  $ABC$ , existe una altura  $h$ , de igual manera al analizar los puntos de  $AB'C'$  se observa una altura  $h'$ , si se utiliza la semejanza de triángulos se visualiza lo siguiente:

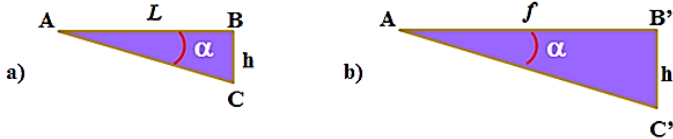


Figura 2. Triángulos formados de los puntos a)  $ABC$  y b)  $AB'C'$ .

A partir de los triángulos formados y visualizados en la Figura 2 se establece que la divergencia del haz en ambos casos poseen un mismo ángulo  $\alpha$ , debido a éste motivo en la Figura 2a la relación trigonométrica de la tangente del ángulo  $\alpha$  está definida como la razón que existe entre la altura  $h$  sobre la distancia  $L$  comprendida entre la lente oftálmica bajo prueba y la pantalla de visualización. De igual manera en la Figura 2b la relación trigonométrica de la tangente del ángulo  $\alpha$  está definida como la razón que existe entre la altura  $h'$  sobre la distancia focal  $f$  de la lente oftálmica bajo prueba.

Si las identidades obtenidas en los triángulos formados a partir de las trayectorias de los rayos del haz de referencia y la lente oftálmica bajo prueba son igualadas cada una se obtiene lo siguiente:

$$h = \frac{d_R - d_m}{2} \quad (1)$$

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

Si las ecuaciones 1 y 2 son igualadas se obtiene que la razón de  $h'$  sobre la distancia  $L$  comprendida entre la lente oftálmica bajo prueba y la pantalla de visualización es igual a la razón que existe entre la altura  $h'$  sobre la distancia focal  $f$  de la lente oftálmica bajo prueba.

$$\frac{h}{L} = \frac{h'}{f} \quad (3)$$

Al despejar la distancia focal  $f$  se obtiene que ésta es igual a la razón existente entre el producto de la altura  $h'$  por la distancia  $L$  sobre la altura  $h$ .

$$f = \frac{h'L}{h} \quad (4)$$

Si se sustituyen las ecuaciones 1 y 2 en la ecuación 4 se obtiene una distancia focal  $f$  igual a:

$$f = \frac{Ld_R}{(d_R - d_m)} \quad (5)$$

Por otro lado se sabe que la potencia de una lente oftálmica es inversamente proporcional a la distancia focal de la misma y partiendo de la ecuación 5 se establece que la potencia  $P$  de la lente es igual a la razón existente entre la diferencia del diámetro del spot de referencia  $d_R$  menos el diámetro medido  $d_m$  del spot generado por la lente oftálmica bajo prueba sobre el producto de la distancia  $L$  comprendida entre la lente oftálmica bajo prueba y la pantalla de visualización por el diámetro del spot de referencia  $d_R$ .

$$P = \frac{1}{f} = \frac{(d_R - d_m)}{Ld_R} \quad (6)$$

Finalmente en la ecuación 6 se logra observar un modelo matemático directo y sencillo para la medición de la potencia en lentes oftálmicas mediante el uso de conceptos básicos de trigonometría.

### 2.2. Modelo experimental.

El montaje experimental propuesto se puede observar en la Figura 3, en la cual se tiene en el número 1 el láser He-Ne de 633 nm/20 mW, 2 el expansor de haz con amplificación de 20X junto con el sistema colimador, 3 diafragma tipo iris, 4 montura para la sujeción de las lentes oftálmicas bajo prueba y por

último en el 5 la pantalla de visualización de acrílico de 5x5 cm con papel milimétrico sobre ella.

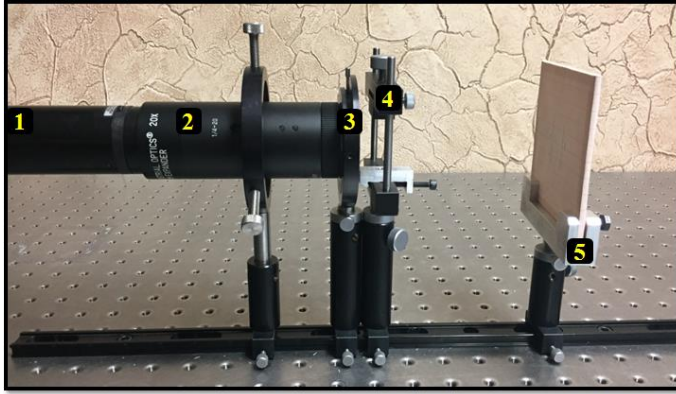


Figura 3. Montaje experimental.

Cabe mencionar que debido a las dimensiones de las monturas de sujeción, la distancia entre el diafragma tipo iris y la lente oftálmica bajo prueba es igual a 2.5 cm.

Sin embargo para determinar la distancia  $L$  comprendida entre la lente oftálmica y la pantalla de visualización fue necesario calcular la distancia focal de la lente con máxima potencia con las que se trabajó, la cual fue de +8.00 D. En base a este resultado se estableció una  $L=12.5$  cm.

Una de las partes primordiales para asegurar que el sistema óptico funcione correctamente es la de tener el haz de luz láser perfectamente alineado y colimado. Para lograr esto en el montaje experimental primero se coloraron tres puntas metálicas, la primera a 0 cm de distancia del láser He-Ne, la segunda justo a 12.5 cm y finalmente la tercera a 25 cm. Después de la última punta se colocó la pantalla de visualización justo a 2.5 cm de distancia de la punta.

Una vez establecidas las distancias se hizo incidir el haz por las tres puntas a lo cual en la pantalla se logró observar que todas las imágenes producidas por cada una coincidían.

Ya alineado el láser se procedió al ajuste de la colimación del haz por medio del expansor de 20X con sistema colimador integrado. Esto sirvió como punto de partida para establecer el spot de referencia  $d_R$  el cual es igual a 2 cm.

Para la toma de las mediciones de los spots proyectados, se marcaron estos mismos en la hoja de papel milimétrico con un lapicero de 0.5 mm y se utilizó un Vernier marca Truper con una tolerancia de  $0.0005'' \cong 0.01mm$ .

### 2.3. Prueba de Bondad de ajuste Chi-cuadrado $\chi^2$ , exactitud y precisión del sistema.

Para determinar si los datos obtenidos se ajustan a una distribución normal, se midió 30 veces una lente esférica con potencia de +4.00 D. De los resultados de esas mediciones se obtuvieron una  $x_{max}=4.06$ , una  $x_{min}=3.88$ , un número de intervalos  $K \cong 6$ , un rango de datos  $R=0.17$ , una longitud de intervalos  $l=0.03$ , una media  $\mu=3.97$  y una desviación estándar

$\sigma=0.03$ . Una vez obtenidos los datos anteriores se generó el histograma mostrado en la Figura 4.

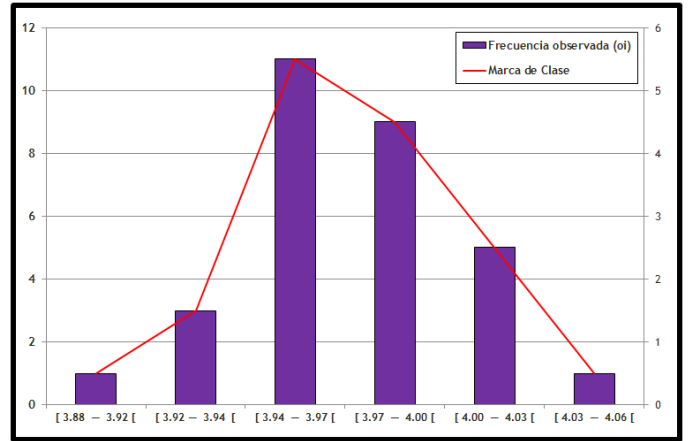


Figura 4. Histograma generado para lentes esféricas positivas con potencia de +4.00 D.

Después se calcularon los parámetros para obtener chi-cuadrado. A lo cual se obtuvo la Tabla 1 la cual contiene los rangos, las frecuencias observadas  $o_i$ , la variable estándar  $Z$  para cada rango, las probabilidades  $P$ , las frecuencias esperadas  $e_i$ , y los chi-cuadrados  $\chi^2$  de cada rango.

Tabla 1. Parámetros para calcular chi-cuadrado.

RANGOS	$o_i$	$Z_1$	$Z_2$	P	$e_i$	$\chi^2$
3.88 3.91	1	-2.9750	-1.9910	0.0215	0.645	0.1953
3.91 3.94	3	-1.9910	-1.0070	0.1359	4.077	0.2845
3.94 3.97	11	-1.0070	-0.0230	0.3413	10.239	0.0565
3.97 4.00	9	-0.0230	0.9610	0.3413	10.239	0.1499
4.00 4.03	5	0.9610	1.9450	0.1359	4.077	0.2089
4.03 4.06	1	1.9450	3.0000	0.0215	0.645	0.1953

Al calcular el estadístico de contraste  $\chi^2$ , donde el número de grados de libertad  $Gl$  está dado por el número de intervalos menos el número de parámetros a estimar ( $\mu$  y  $\sigma$ ) menos uno es igual a 3, se obtiene que es igual a 1.0904. En base a que el estadístico teórico con grado de libertad igual a tres es igual a 7.8147, y como  $1.0904 < 7.8147$ , se acepta la hipótesis nula  $H_0$  a un nivel de significación del 5%.

Por lo tanto se tiene como consecuencia que las mediciones realizadas a las lentes oftálmicas siguen una distribución normal  $N(3.97, 0.03)$  con un nivel de aceptación del 95%.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS.

#### 3.1. En lentes esféricas.

Cuando una lente oftálmica posee únicamente potencia de esfera, la imagen que se crea a partir de un objeto de referencia centrado sobre el eje óptico de la lente deberá sufrir un cambio uniforme de la misma magnitud en todas direcciones.

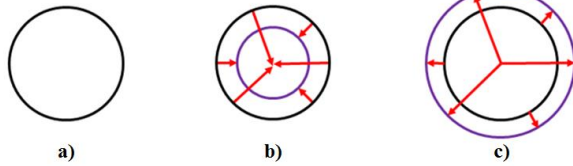


Figura 5. Amplificación en lentes esféricas: a) imagen de referencia b) imagen con lente esférica positiva y c) imagen con lente esférica negativa.

La Figura 5 muestra el efecto producido por el spot de una lente esférica. En la cual en la Figura 5a si se toma como objeto de referencia un círculo con un diámetro dado (indicado con color negro) y se coloca una lente esférica positiva como se muestra en la Figura 5b, el spot producido convergerá y entonces la imagen obtenida es un círculo con un diámetro menor al del objeto. Por otro lado, si se coloca una lente esférica negativa como se muestra en la Figura 5c, el spot producido divergerá a lo cual se obtiene como resultado un círculo con diámetro mayor al del objeto de referencia.

A continuación se muestran los valores de las mediciones obtenidas en las lentes esféricas positivas con potencias dentro del rango de  $0 D$  a  $+8.00 D$ .

Tabla 2. Datos obtenidos para las lentes esféricas positivas.

	P. Lente	$d_m$ (mts)	P. Medida ( $1/d$ )	Error
1	0.00	0.02000	0.00000	0.00000
2	0.50	0.01867	0.55417	0.05417
3	1.00	0.01758	1.00833	0.00833
4	1.50	0.01632	1.53333	0.03333
5	2.00	0.01519	2.00417	0.00417
6	2.50	0.01410	2.45833	-0.04167
7	3.00	0.01294	2.94167	-0.05833
8	3.50	0.01173	3.44583	-0.05417
9	4.00	0.01048	3.96667	-0.03333
10	4.50	0.00930	4.45833	-0.04167
11	5.00	0.00793	5.02917	0.02917
12	5.50	0.00686	5.47500	-0.02500
13	6.00	0.00567	5.97083	-0.02917
14	6.50	0.00436	6.51667	0.01667
15	7.00	0.00304	7.06667	0.06667
16	7.50	0.00201	7.49583	-0.00417
17	8.00	0.00092	7.95000	-0.05000

En la Tabla 2 y en base a lo establecido por la norma *ISO 8598* la cual indica que el error máximo aceptable para lentes de  $0 D$  a  $\pm 8.00 D$  es de  $\pm 0.108 D$ , se observa que todos los valores medidos quedan dentro de lo permitido. En la Figura 6 se logra

observar que la diferencia entre la potencia real de la lente y la potencia medida de la misma, es mínima.

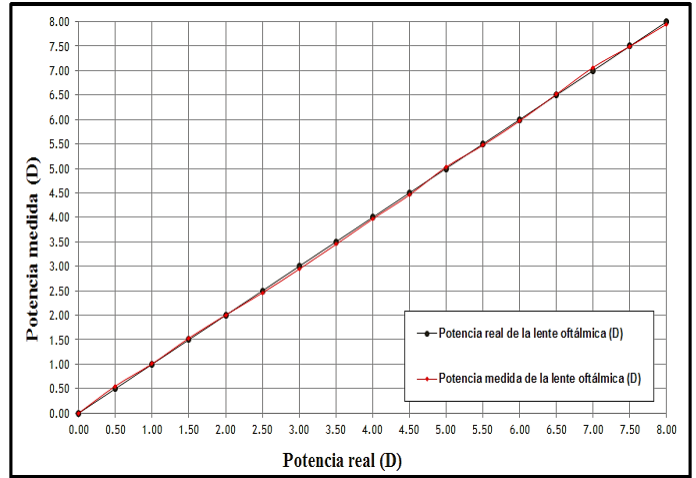


Figura 6. Potencia real (D) vs Potencia medida (D) en lentes esféricas positivas.

En la Tabla 3 se muestran los valores de las mediciones obtenidas en las lentes esféricas negativas con potencias dentro del rango de  $0 D$  a  $-8.00 D$ , para las cuales se realizó el mismo procedimiento que en las positivas.

Tabla 3. Datos obtenidos para las lentes esféricas negativas.

	P. Lente	$d_m$ (mts)	P. Medida ( $1/d$ )	Error
1	0.00	0.02000	0.00000	0.00000
2	-0.50	0.02119	-0.49583	0.00417
3	-1.00	0.02229	-0.95417	0.04583
4	-1.50	0.02344	-1.43333	0.06667
5	-2.00	0.02473	-1.97083	0.02917
6	-2.50	0.02599	-2.49583	0.00417
7	-3.00	0.02715	-2.97917	0.02083
8	-3.50	0.02840	-3.50000	0.00000
9	-4.00	0.02958	-3.99167	0.00833
10	-4.50	0.03069	-4.45417	0.04583
11	-5.00	0.03194	-4.97500	0.02500
12	-5.50	0.03332	-5.55000	-0.05000
13	-6.00	0.03454	-6.05833	-0.05833
14	-6.50	0.03570	-6.54167	-0.04167
15	-7.00	0.03663	-6.92917	0.07083
16	-7.50	0.03797	-7.48750	0.01250
17	-8.00	0.03925	-8.02083	-0.02083

De igual manera que en las mediciones realizadas a las lentes esféricas positivas se observa que en la Tabla 3 y en base a lo establecido por la norma *ISO 8598*, todos los valores medidos quedan dentro del rango permitido. En la Figura 7 se logra visualizar que la diferencia entre la potencia real de la lente y la potencia medida de la misma, es mínima.

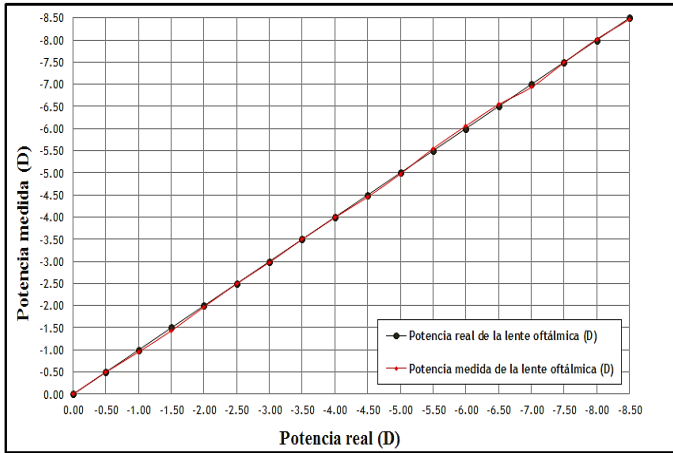


Figura 7. Potencia real (D) vs Potencia medida (D) en lentes esféricas negativas.

Para poder comprobar la exactitud y precisión en la medición de potencia de esfera se utilizaron los 34 valores medidos para calcular la media aritmética  $\mu$  del error y la desviación estándar  $\sigma$  del error.

La exactitud de un sistema de medición es igual a la media aritmética del error y la precisión es igual a  $\pm$ tres veces la desviación estándar del error.

Por lo tanto el sistema de medición propuesto tiene una exactitud de  $0.00114 D$  y una precisión de  $\pm 0.11677 D$  para la medición de lentes esféricas en el rango de  $\pm 8.00 D$ .

### 3.2. En lentes cilíndricas.

Las lentes cilíndricas cuentan con dos meridianos principales, uno en el cual tendrá potencia nula (eje del cilindro) y el otro se encuentra ubicado a  $90^\circ$  de dicho eje (contra-eje) en el cual se encuentra la potencia máxima (de cilindro) y su valor es absoluto, justo como se muestra en la Figura 8.

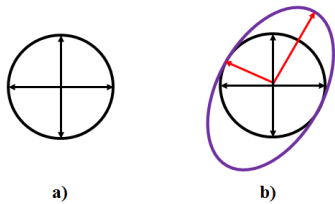


Figura 8. Comportamiento de una lente cilíndrica: a) imagen del spot de referencia y b) imagen producida al colocar una lente cilíndrica.

Se analizaron las lentes oftálmicas cilíndricas con potencias desde  $\pm 1.00 D$  hasta  $\pm 4.00 D$ .

En la Tabla 4 se encuentran los valores de las mediciones obtenidas para las lentes cilíndricas positivas dentro del rango de  $+1.00 D$  a  $+4.00 D$ . Se muestra la potencia de la lente, el diámetro medido en metros, la potencia medida de la lente, el error, la colocación de la lente oftálmica, el spot generado por la lente y por último el método de medición del spot por medio del vernier.

Tabla 4. Datos obtenidos para las lentes cilíndricas positivas.

P. Lente	$d_m$ (mts)	P. Medida ( $\hat{\rho}$ )	ERROR	Colocación de la lente oftálmica	Spot generado por la lente	Medición del spot	
1	1.00	0.01752	1.03333	0.03333			
2	2.00	0.01520	2.00000	0.00000			
3	3.00	0.01277	3.01250	0.01250			
4	4.00	0.01038	4.00833	0.00833			

En la Tabla 5 se muestran los valores de las mediciones obtenidas para las lentes cilíndricas positivas dentro del rango de  $-1.00 D$  a  $-4.00 D$ . Se muestra la potencia de la lente, el diámetro medido en metros, la potencia medida de la lente, el error, la colocación de la lente oftálmica, el spot generado por la lente y por último el método de medición del spot por medio del Vernier. Como se logra observar tanto para lentes cilíndricas positivas como para lentes cilíndricas negativas, se cumple con lo requerido.

Tabla 5. Datos obtenidos para las lentes cilíndricas negativas.

P. LENTE	P. Medida ( $\hat{\rho}$ )	ERROR	Colocación de la lente oftálmica	Spot generado por la lente	Medición del spot	
1	-1.00	-0.99583	0.00417			
2	-2.00	-1.98750	0.01250			
3	-3.00	-3.00833	-0.00833			
4	-4.00	-3.99167	0.00833			

### 3.3. En lentes esfero-cilíndricas.



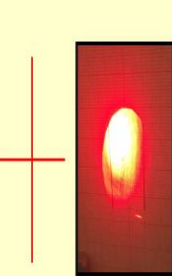



Una lente oftálmica esfero-cilíndrica consta de dos superficies, una esférica y una cilíndrica, por lo tanto cuenta con ambas potencias. Tiene dos meridianos principales, uno es el eje donde la potencia del eje del cilindro es nulo y la única potencia representante es la de esfera. El otro eje es el contra-eje ubicado a  $90^\circ$  del eje y el cual contiene una potencia total

que es la suma de las potencias de cilindro y esfera. Por convencionalismo el valor de la graduación de una lente esfero-cilíndrica se prescribe como: *Potencia de Esfera, Potencia de Cilindro y Eje*.

Para lograr tomar una medición de una lente esfero-cilíndrica fue necesario juntar dos lente, una esférica con  $-4.00 D$  y una cilíndrica con  $-4.00 D$ .

Una vez colocadas las marcas de los límites del spot de la lente esfero-cilíndrica se procede a tomar las mediciones por medio del *Vernier*, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos obtenidos para las lentes esfero-cilíndricas.

	P. Lente	$d_o$ (mm)	$d_e$ (mm)	EYES	P. Medida (D)	ERROR	P. ESFERO-CILÍNDRICA
ESFERA	-4.00	 29.58	0.02958		-3.99167	0.00833	
CILINDRO	-4.00	 39.18	0.03918		-7.99167	0.00833	 -3.99 D, -7.99 D 0°

#### 4. CONCLUSIONES

Los valores medidos de las lentes oftálmicas quedan dentro de lo permitido según lo establecido por la *Norma ISO 8598*, la cual señala que el error máximo aceptable para lentes oftálmicas dentro del rango de  $0 D$  a  $\pm 8.00 D$  es de  $\pm 0.108 D$ . En base a esto el sistema final es capaz de arrojar resultados de las mediciones de las potencias de esfera, cilindro y esfero-cilíndrica con errores mínimos entre el valor de la potencia real de la lente y la potencia medida de la misma.

Sin embargo a pesar de que las mediciones fueron favorables, se plantea la hipótesis de que probablemente los errores presentes en las mediciones, puedan deberse a una mala colocación de las lentes oftálmicas bajo prueba, e incluso, también pueden ser debido al registro manual y la medición con el *Vernier* cuya tolerancia corresponde a  $0.0005" \cong 0.01mm$ .

En general se puede concluir que el sistema desarrollado cumplió satisfactoriamente con el objetivo y meta planeado debido a que se obtuvo un modelo teórico basado en conocimientos básicos de trigonometría lo cual resultó ser simple y confiable, además de un modelo experimental robusto, sencillo y económico en comparación con los lensómetros y auto-lensómetros existentes en el mercado.

#### 5. REFERENCIAS.

- [1] J. Schwiegerling, "Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics", Bellingham, United States, 30 Nov 2004.
- [2] A. Bhootra, "Ophthalmic Lenses", Jaypee Brothers Medical Publishers; UK ed. Edition, 1 Oct. 2009.
- [3] J. González, "Sistema láser para medición de potencia de corrección refractiva en lentes oftálmicas", Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Chihuahua, División de Estudios de Posgrado e Investigación, 2005.
- [4] A. Bustillos, "Medición de la potencia de esfera en lentes oftálmicas", Tesis de Maestría, Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Chihuahua, División de estudios de posgrado e investigación, 2010.
- [5] P. Mendoza, "Medición de esfera, cilindro y eje en lentes oftálmicas por variación de amplificación lateral", Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico de Chihuahua, División de estudios de posgrado e investigación, 2015.
- [6] B. Alonso, R. Borrego, C. Hernández, J. Pérez, C. Romero, "El láser la luz de nuestro tiempo", editado por el grupo OSAL (Salamanca OSA Student Chapter), 2010, pp. 23-36.
- [7] Edmund Optics Worldwide. Internet: <https://www.edmundoptics.com/optics/laser-optics/laser-beam-expanders/20x-hene-fixed-beam-expander/>, 2018.
- [8] E. Hecht, "Óptica", tercera edición, Addison Wesley Iberoamericana, Madrid, 2000, pp. 151-240.
- [9] W. E. Humphrey. "Lensometer utilizing non-parallel light", US patent 4,182,572, Ene. 8, 1980.
- [10] C. Zhou, W Wang, K. Yang, X. Chai, Q. Ren, "Measurement and comparison of the optical performance of an ophthalmic lens based on a Hartmann-Shack wavefront sensor in real viewing conditions", *Applied Optics* Vol. 47, 2008, pp 6434-6441.
- [11] X. Wei, T. V. Heugten, L. Thibos, "Validation of a Hartmann-moiré wavefront sensor with large dynamic range", *Opt. Exp.* Vol. 17, 2009, pp. 14180 1-14180 5.
- [12] J. Vargas, J. Gómez-Pedrero, J. Alonso, J. Quiroga, "Deflectometric method for the measurement of user power for ophthalmic lenses", *Applied Optics*, Vol. 49, 2010, pp. 5125-5132.
- [13] E. Pateras, "An interferometric method for measuring the dioptric and prismatic power of ophthalmic lenses", *e-Journal of Science & Technology*, Vol. 3, 2010, pp. 41-48.
- [14] D. Salas-Peimbert, G. Trujillo-Schiaffino, J. González-Silva, S. Almazan-Cuellar, D. Malacara-Doblado, "Simple Hartmann test data interpretation for ophthalmic lenses" *Review of ophthalmic instruments*, Vol. 77, 2006, pp. 043102 1-043102 5.
- [15] C. Illueca, C. Vázquez, C. Hernández, V. Viqueira, "The use of Newton's rings for characterizing ophthalmic lenses", *e-Journal of Science & Technology*, Vol. 3, 2010, pp. 41-48.