

# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y  
MATEMÁTICAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA**

**TESIS**

Diseño y construcción de un sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software Oslo.

**Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física.**

**INVESTIGADOR**

Manuel Gabriel Velásquez Albán

**ASESOR DE ESPECIALIDAD**

M.Sc. Lic. Fis. Justo Vladimir Tuñoque Gutiérrez

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:**

18 de Febrero de 2026

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2026**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**



**TESIS**

Diseño y construcción de un sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.

**Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física**

Bachiller:

Velásquez Albán Manuel Gabriel

Asesor:

M.Sc. Lic. Fis. Tuñoque Gutiérrez Justo Vladimir

**Lambayeque – Perú**

**2026**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**



**TESIS**

Diseño y construcción de un sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.

**Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Física**

**Sustentado y aprobado ante los siguientes miembros del jurado:**

---

**Dr. Lic. Fís. Luis Alberto Curo Maquén**

---

**Mg. Lic. Fís. Jara Hernán Prada Marchena**

---

**Dr. Lic. Fís. Elmer Augusto Cueva Guevara**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
LAMBAYEQUE  
0044



## ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 19-2026-D/FACyM

Siendo las 10:30 am del día 18 de febrero del 2026 se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

"Diseño y Construcción de un sistema óptico experimental para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica Geométrica de nivel básico e intermedio haciendo uso del software OSLO"

Designados por Resolución N° 166 - 2024 - D/FACyM de fecha 09 de febrero de 2024

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Lic. Fis. Luis Alberto Curo Maquén

Presidente

Mg. Lic. Fis. Jara Hernán Prada Marchena

Secretario

Dr. Lic. Fis. Elmer Augusto Cueva Guevara

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) M. Sc. Lic. Fis. Justo Vladimír Tuñoque Gutiérrez nombrado por Resolución N° 166 - 2024 - D/FACyM de fecha 09 de febrero de 2024

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 085 - 2026 - D/FACyM de fecha 04 de febrero de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Velásquez Albañ Manuel Gabriel y tuvo una duración de 50 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Dieciseis (16) en la escala vigesimal, mención (Buena).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Licenciado en Física, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:40 am se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Dr. Lic. Fis. Luis Alberto Curo Maquén  
Presidente

Mg. Lic. Fis. Jara Hernán Prada Marchena  
Secretario

Dr. Lic. Fis. Elmer Augusto Cueva Guevara  
Vocal

M. Sc. Lic. Fis. Justo Vladimír Tuñoque Gutiérrez  
Asesor

## CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

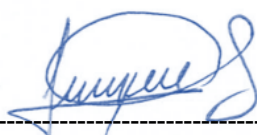
Yo, JUSTO VLADIMIR TUÑOQUE GUTIÉRREZ, usuario revisor del documento titulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ÓPTICO EXPERIMENTAL, PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN ÓPTICA GEOMÉTRICA DE NIVEL BÁSICO E INTERMEDIO, HACIENDO USO DEL SOFTWARE OSLO.

Cuyo autor es: MANUEL GABRIEL VELÁSQUEZ ALBÁN, Identificado con Documento de Identidad 43378731; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 6 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 30 de enero de 2026



-----  
FIRMA

NOMBRES Y APELLIDOS: JUSTO VLADIMIR TUÑOQUE GUTIÉRREZ

DNI: 16756567

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

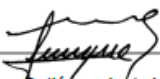
### INFORME FINAL

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>dokumen.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>rua.ua.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unan.edu.ni</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>www.academia.edu</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>futur.upc.edu</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.paginaspersonales.unam.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>virtual.urbe.edu</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>repositorio.uladech.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

  
Tuñoque Gutiérrez Justo Vladimir  
DNI N° 16756567  
ASESOR

11	Submitted to National University College - Online Trabajo del estudiante	<1 %
12	kupdf.net Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Estatal Amazonica- Trabajo del estudiante	<1 %
15	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
16	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Apagado  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      < 30 palabras

Tuñoque Gutiérrez Justo Vladimir  
DNI N° 16756567  
ASESOR

## RECIBO DIGITAL TURNITIN



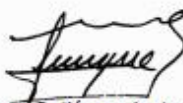
### Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Manuel Gabriel VELÁSQUEZ ALBÁN  
Título del ejercicio: INFORME FINAL  
Título de la entrega: INFORME FINAL  
Nombre del archivo: INVESTIGACI\_N\_PTICA\_0SLO\_1.pdf  
Tamaño del archivo: 8.29M  
Total páginas: 125  
Total de palabras: 27,942  
Total de caracteres: 150,832  
Fecha de entrega: 31-mar-2026 11:24p.m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2919479093



  
Tuñoque Gutiérrez Justo Vladimír  
DNI 16756567  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación se lo dedico de una manera muy especial, a mis padres, quienes fueron el pilar fundamental de mi formación, tanto en el aspecto personal como en el profesional, a ellos no solo les debo la oportunidad de haber iniciado este camino académico, sino también ese respaldo y apoyo constante, la paciencia y la fe inquebrantable que siempre depositaron en mí, incluso cuando diversas circunstancias hicieron que la culminación de este objetivo se fuera postergando.

A pesar de todas las responsabilidades personales y familiares asumidas a lo largo de este camino, el anhelo de mis padres por verme concluir esta etapa académica, así como mi ímpetu por alcanzar este objetivo, nunca se apagó, al contrario, siempre fueron una motivación para continuar y es así como esta tesis representa, el saldar una deuda moral y emocional con ellos, así como la materialización de un sueño que siempre hemos compartido.

Por su esfuerzo silencioso, su confianza y su amor incondicional, les dedico este logro alcanzado.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional siempre ha sido fundamental en cada etapa de mi formación profesional, su comprensión, paciencia y acompañamiento constante en cada una de estas etapas, han sido determinantes para la culminación de este trabajo de investigación. Sin ellos, no sería la persona que soy, ni habría sido posible alcanzar este esperado objetivo académico.

Asimismo, también agradezco a todas las personas que, de alguna manera, ya sea directa o indirectamente, contribuyeron al desarrollo de esta tesis, brindando orientación, motivación y apoyo a lo largo de este proceso.

## RESÚMEN

En la enseñanza de la óptica geométrica, en el curso de física, tanto en los niveles básicos como los intermedios, siempre se presentan grandes dificultades significativas, debido al carácter abstracto de los conceptos, lo cual hace que se limite la comprensión en los estudiantes, esto se refleja más, cuando únicamente se emplean metodologías teóricas, es por ello que ante esta problemática, mi tesis tiene como objetivo principal, el diseñar, construir e implementar un sistema óptico experimental para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica, haciendo uso del software OSLO Edu 6.6, con la finalidad de facilitar la comprensión de los conceptos fundamentales de esta parte de la física.

La metodología empleada en esta investigación, fue cuantitativa y con diseño experimental, también se han empleado encuestas tipo Likert a 25 estudiantes de quinto grado de educación secundaria de un colegio del distrito de Santa María, de la provincia de Huacho, antes y después de la implementación de este sistema experimental, así entonces, en todos estos resultados se evidenciaron un incremento significativo en el nivel de la comprensión en los estudiantes, pasando así de un promedio de comprensión aproximado del 45 %, antes de realizar las experimentaciones, a estar en un 95% después de la realización de estas prácticas de laboratorio.

Ahora, por último, puedo concluir indicando que este sistema óptico experimental constituye un recurso didáctico eficaz y que favorece el aprendizaje significativo de la óptica geométrica en los estudiantes.

**Palabras clave:** Óptica geométrica, Sistema óptico experimental, Pentaláser, OSLO Edu 6.6.

## **ABSTRACT**

In the teaching of geometrical optics within the physics course, at both basic and intermediate levels, significant difficulties are frequently encountered due to the abstract nature of its concepts, which limits students' understanding, especially when only theoretical methodologies are employed. In response to this problem, the main objective of this thesis is to design, construct, and implement an experimental optical system for the development of laboratory practices in geometrical optics, using the OSLO Edu 6.6 software, in order to facilitate the understanding of the fundamental concepts of this branch of physics.

The methodology employed in this research was quantitative, with an experimental design. Likert type surveys were applied to 25 fifth grade secondary education students from a school located in the district of Santa María, province of Huacho, before and after the implementation of the experimental system. The results evidenced a significant increase in the students' level of understanding, rising from an approximate average comprehension of 45% prior to experimentation to nearly 98% after carrying out the laboratory practices.

Finally, it is concluded that the proposed experimental optical system constitutes an effective didactic resource that promotes meaningful learning of geometrical optics among students.

**Keywords:** Geometrical optics, Experimental optical system, Pentalaser, OSLO Edu 6.6.

## Índice

INTRODUCCIÓN.....	19
I. DISEÑO TEÓRICO.....	20
1.1    Antecedentes de la investigación:.....	20
1.2    Bases teóricas.....	22
1.2.1    La luz.....	22
1.2.2    El espectro electromagnético.....	22
1.2.3    Óptica geométrica y óptica física.....	23
1.2.4    El sistema óptico.....	23
1.2.5    Postulados de la óptica geométrica.....	24
1.2.6    Propagación de la luz en un medio homogéneo.....	25
1.2.7    Refracción de la luz.....	26
1.2.8    Longitud de onda.....	27
1.2.9    Experimentos en óptica geométrica nivel básico e intermedio.....	30
1.2.10    Lentes positivas o Biconvexas.....	30
1.2.11    Lentes negativas o cóncavas.....	31
1.2.12    Distancia focal.....	31
1.2.13    Regulador de voltaje LM317.....	32
1.2.14    Potenciómetro.....	32
1.2.15    Condensador electrolítico.....	32
1.2.16    Fuente de voltaje.....	33
1.2.17    Resistor.....	33
1.2.18    Bornera.....	33
1.2.19    Interruptor.....	33
1.2.20    Diodo láser rojo 5 V / 650 nm / 5 mW / 6 mm.....	34
1.2.21    Desviación estándar muestral.....	34
1.2.22    Oslo Edu 6.6.....	34
1.2.23    Proteus Profesional 8.....	35
II. DISEÑO METODOLÓGICO.....	36
2.1    Diseño y materialización del sistema óptico experimental.....	36
2.1.1 <i>Etapa 1: Diseño de lentes y análisis en OSLO EDU.....</i>	37
2.1.1.1 <i>Configuración de la lente bicóncava o lente negativa:.....</i>	37
2.1.1.2 <i>Configuración de la lente biconvexa o lente positiva:.....</i>	48
2.1.1.3 <i>Configuración de la lente Plano convexa:.....</i>	52
2.1.2 <i>Etapa 2: Diseño, ensamblaje y validación del circuito regulador de voltaje:.....</i>	57
2.1.2.1 <i>Diseño del circuito electrónico:.....</i>	57

2.1.2.2	<i>Ensamblaje del circuito regulador de voltaje para el funcionamiento de los diodos láser rojo 650nm 5mW 5V 6mm:</i>	60
<b>2.2</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA:</b>	66
<b>2.3</b>	<b>PRUEBAS EXPERIMENTALES Y VERIFICACIÓN:</b>	67
<b>2.3.1</b>	<b>Validación de la intensidad luminosa de los diodos láser en el Penta láser:</b>	67
<b>2.3.2</b>	<b>Pruebas de las lentes ópticas:</b>	69
2.3.2.1	<i>Lente planoconvexo:</i>	70
2.3.2.2	<i>Lente biconvexa:</i>	72
2.3.2.3	<i>Lente bicóncava:</i>	74
<b>2.3.3</b>	<b>Práctica de laboratorio realizada:</b>	76
<b>2.3.3.1</b>	<b>Título de la práctica de laboratorio (P.L.): “Cuando la Luz se Adelanta: Visualizando y Corrigiendo la Miopía con Lentes convergentes y divergentes”</b>	76
<b>2.3.3.2</b>	<b>Introducción de la P.L.</b>	76
<b>2.3.3.3</b>	<b>Objetivos de la P.L.</b>	77
<b>2.3.3.4</b>	<b>Pregunta de investigación de la P.L.</b>	77
<b>2.3.3.5</b>	<b>Definición de variables en la P.L.</b>	78
<b>2.3.3.6</b>	<b>Formulación de la hipótesis de la P.L.</b>	78
<b>2.3.3.7</b>	<b>Materiales utilizados en la P.L.</b>	78
<b>2.3.3.8</b>	<b>Diseño experimental en la P.L.</b>	79
<b>2.3.3.9</b>	<b>Procedimiento experimental en la P.L.</b>	80
<b>2.3.3.10</b>	<b>Toma de datos en la P.L.</b>	81
<b>2.3.3.11</b>	<b>Preguntas sobre la P.L.</b>	82
<b>2.3.3.12</b>	<b>Conclusiones obtenidas en la P.L.</b>	84
<b>2.3.3.13</b>	<b>Evaluación del método en la P.L.</b>	85
<b>2.3.4</b>	<b>Simulación del ojo humano mediante el software OSLO EDU como complemento a la práctica experimental.</b>	86
<b>2.3.4.1</b>	<b>Parámetros iniciales para la simulación del ojo con objeto en el infinito.</b>	86
2.3.4.1.1	<b>Análisis del trazado de los rayos y las aberraciones, en el ojo humano sano.</b>	87
2.3.4.1.2	<b>Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF), para el ojo humano sano.</b>	89
2.3.4.1.3	<b>Análisis de la calidad de la imagen formada en el ojo humano sano.</b>	90
<b>2.3.4.2</b>	<b>Parámetros iniciales para el modelo del ojo con lupa (corrección)...</b>	92
2.3.4.2.1	<b>Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF), para el ojo humano con lupa.</b>	93

2.3.4.2.2	Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa y una tarjeta de prueba a 38,2 mm de distancia.....	94
2.3.4.2.3	Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa y una tarjeta de prueba a 45 mm de distancia. ....	96
2.3.4.2.4	Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa y una tarjeta de prueba a 50 mm de distancia. ....	98
2.3.5	Encuestas realizadas para la validación del sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.....	100
2.3.5.1	ENCUESTA 1: Sin experimentación. ....	100
2.3.5.2	ENCUESTA 2: Después de la experimentación. ....	102
III.	RESULTADOS.....	104
3.1	Resultados del diseño en OSLO EDU 6.6. ....	104
3.1.1	<i>Resumen comparativo de los resultados sobre la materialización de las lentes: .....</i>	<i>104</i>
3.1.2	<i>Resultados de las encuestas aplicadas antes y después de las prácticas experimentales:.....</i>	<i>105</i>
3.1.2.1	<i>Descripción general de los resultados en las encuestas. ....</i>	<i>107</i>
3.1.2.2	<i>Comparación descriptiva entre las encuestas. ....</i>	<i>108</i>
IV.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	110
V.	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES.....	115
	REFERENCIAS .....	117
	ANEXOS .....	120

## Índice de tablas

Tabla 1:	Índices de refracción (n) para la Luz Amarilla con $\lambda = 589 \text{ nm}$ .....	25
Tabla 2:	Medición de la intensidad luminosa de cada diodo láser. ....	68
Tabla 3:	Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Planoconvexo. ....	71
Tabla 4:	Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Biconvexa.....	73
Tabla 5:	Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Bicóncava.....	75
Tabla 6:	Posición del foco en el ojo miope (sin corrección) .....	81
Tabla 7:	Corrección de la miopía con lente bicóncava.....	81
Tabla 8:	ENCUESTA 1, antes de realizar las prácticas de laboratorio. ....	101

Tabla 9: ENCUESTA 2, después de haber realizado las experimentaciones.....	102
Tabla 10: Resumen comparativo de los resultados de los diseños en OSLO EDU 6.6 y los resultados experimentales de la materialización de las lentes diseñadas: .....	104
Tabla 11: comparación cuantitativa sobre los aspectos evaluados en las encuestas propuestas.....	108

## Índice de Figuras

Figura 1: El espectro Electromagnético.....	23
Figura 2: Propagación de la luz en un medio homogéneo. ....	26
Figura 3: Refracción de un rayo de luz.....	26
Figura 4: Experimento de Young .....	27
Figura 5: Interferencia constructiva e Interferencia destructiva. ....	28
Figura 6: Figura 06: Geometría para el cálculo de la longitud de onda. ....	29
Figura 7: Experimentos en óptica geométrica, Nivel básico e intermedio.....	30
Figura 8: Lente Positiva o Convexa. ....	31
Figura 9: Lente Negativa o Cóncava.....	31
Figura 10: Parámetros establecidos para la configuración de la lente bicóncava en el software OSLO EDU.....	45
Figura 11: Diseño de la lente bicóncava, con distancia focal de -200 mm, en el software OSLO EDU. ....	45
Figura 12: Lente bicóncava, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, distancia entre los vértices de 17mm y una distancia focal de -200 mm y longitud de 102 mm, verificados con un vernier. ....	47
Figura 13: Parámetros establecidos para la configuración de la lente biconvexa en el software OSLO EDU.....	50
Figura 14: Diseño de la lente biconvexa, con distancia focal de 200 mm, en el software OSLO EDU. ....	50
Figura 15: Lente biconvexa, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, distancia d entre los vértices de 21 mm y una distancia focal de -200 mm y longitud de 102 mm, verificados con un vernier. ....	51
Figura 16: Parámetros establecidos para la configuración de la lente Planoconvexa en el software OSLO EDU. ....	53
Figura 17: Diseño de la lente Planoconvexo en el software OSLO EDU.....	54

Figura 18: Lente planoconvexo, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, longitud de 144 mm, verificados con un vernier.....	55
Figura 19: Circuito básico de funcionamiento del LM317. ....	57
Figura 20: Circuito para el funcionamiento de los 5 diodos láser rojo5v/650nm/5mW/6mm, diseñado en Proteus 8 Profesional. ....	58
Figura 21: Simulación del Circuito para el funcionamiento de los diodos láser rojo5v/650nm/5mW/6mm, diseñado en Proteus 8 Profesional. ....	59
Figura 22: Rutas para la placa impresa del circuito para el funcionamiento de los diodos láser rojo5v/650nm/5mW/6mm, diseñado en Proteus 8 Profesional. ....	59
Figura 23: Implementos electrónicos para el ensamblaje del circuito.....	61
Figura 24: (a) Circuito dibujado en la baquelita; (b) Grabado artesanal del circuito; (c) Circuito grabado artesanalmente; (d) Circuito limpio; (e) Perforaciones en el circuito. ....	63
Figura 25: (a) Inicio de ensamblado del circuito; (b) Circuito listo para la implementación de los diodos láser, vista inferior; (c) Circuito listo para la implementación de los diodos laser, vista superior. ....	64
Figura 26: Pruebas de funcionamiento de los diodos láser implementados con el circuito regulador de voltaje a base del LM317. ....	65
Figura 27: Sistema para las pruebas de la medición de luminosidad de los diodos laser .....	68
Figura 28: a: Lente plano convexa, b: Lente bicóncava, c: biconvexa.....	70
Figura 29: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Planoconvexo, donde se indica el foco en mm.....	72
Figura 30: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Biconvexa, donde se indica el foco en mm.....	74
Figura 31: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Bicóncava, donde se indica el foco virtual en mm. ....	76
Figura 32: Montaje del ojo humano, con miopía.....	79
Figura 33: Montaje del ojo humano, con corrección de miopía. ....	80
Figura 34: Parámetros iniciales del ojo humano en OSLO EDU 6.6.....	86
Figura 35: Trayectoria de rayos incidentes provenientes de un objeto ubicado en el infinito, en el modelo del ojo humano sano. ....	87
Figura 36: Análisis de trazado de rayos y aberraciones del modelo del ojo humano para un objeto ubicado en el infinito mediante OSLO EDU 6.6. ....	87
Figura 37: Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF) del modelo del ojo humano para visión lejana, objeto en el infinito. ....	89

Figura 38: Evaluación del ojo humano con una tarjeta de prueba de 8,9 mm de largo y a 6 m de distancia.....	90
Figura 39: Parámetros iniciales del ojo humano con lupa, en OSLO EDU 6.6. ....	92
Figura 40: Trayectoria de rayos incidentes provenientes de un objeto ubicado en el infinito, en el modelo del ojo humano con lupa.....	92
Figura 41: Análisis de la función de transferencia de modulación, para el ojo humano con lupa, simulada en OSLO EDU 6.6. ....	93
Figura 42: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 38,2 mm de distancia. ....	94
Figura 43: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 38,2mm de distancia.....	95
Figura 44: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 45 mm de distancia. ....	96
Figura 45: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 45 mm de distancia.....	97
Figura 46: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 50mm de distancia. ....	98
Figura 47: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 50 mm de distancia.....	99
Figura 48: Resultados cuantitativos de la Encuesta 1, realizada a los 25 estudiantes de quinto grado de secundaria de un colegio del distrito de Santa María de la provincia de Huacho. ....	106
Figura 49: Resultados cuantitativos de la Encuesta 2, realizada a los 25 estudiantes de quinto grado de secundaria de un colegio del distrito de Santa María de la provincia de Huacho. ....	107

### **Índice de Anexos**

Anexo 1: Guía de laboratorio de óptica geométrica.....	120
Anexo 2: Resultados de la encuesta antes de la experimentación.....	110
Anexo 3: Resultados de la encuesta después de la experimentación.....	110
Anexo 4: Manual de uso y mantenimiento del sistema óptico experimental para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica del nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.....	125
Anexo 5: Registro fotográfico de prácticas experimentales adicionales. ....	130

## INTRODUCCIÓN

Como se conoce, la enseñanza del curso de física en la educación peruana, enfrenta desafíos significativos, ya que para muchos de los estudiantes, la percepción de esta disciplina es abstracta y muchas veces compleja, esto se origina, en parte por la desconexión entre los conceptos teóricos y su aplicación con las prácticas de laboratorio, contribuyendo a que los estudiantes no logren visualizar adecuadamente los fenómenos físicos, mostrando en su mayoría el uso de la memorización,

Por lo cual, el objetivo principal de este trabajo es el diseño y la materialización de un sistema óptico experimental, conformado por un Pentaláser, lentes Plano convexo, Biconvexa y Bicóncava, además de plantillas de acuerdo a la naturaleza de la experimentación a realizar, destinado a estudiantes de secundaria de los niveles, tanto básicos como intermedios, enfocado en la realización de prácticas de laboratorio en óptica geométrica, ya que esta rama de la física es una de las cuales siempre me ha apasionado por sus múltiples posibilidades experimentales que permite explorar fenómenos esenciales de la luz, y que son aspectos difíciles de asimilar solo a través de la teoría.

El desarrollo de esta tesis ha seguido una metodología rigurosa que integra componentes físicos con herramientas especializadas como el software OSLO EDU 6.6 y PROTEUS PROFESIONAL 8, los cuales han sido esenciales en el diseño y análisis tanto de las lentes como del circuito controlador del Pentaláser, que constituyen el núcleo del sistema óptico propuesto. Estos programas no solo facilitan el diseño, sino que también permiten realizar simulaciones muy didácticas y necesarias para garantizar un sistema óptico adecuado para diversas prácticas en óptica geométrica del nivel básico e intermedio.

## I. DISEÑO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes de la investigación:

Mendiola et al. (2020), en su tesis titulada “Prácticas de laboratorio para el aprendizaje del contenido Espejos planos y esféricos”, desarrollada en Estelí, Nicaragua, estos autores abordaron las dificultades en la comprensión lectora de fenómenos físicos vinculados a su entorno, el objetivo principal de esta tesis, fue diseñar estrategias metodológicas que facilitan el aprendizaje en el aula y evaluar así, su efectividad. Entre las estrategias que aplicaron, ellos incluyeron la experimentación, evaluaciones dinámicas y el uso educativo de la tecnología, es así que los resultados que obtuvieron, demostraron que estas herramientas ayudaron a los estudiantes a integrar lo práctico, teórico y tecnológico, mejorando así significativamente su comprensión de los temas. Asimismo, se pudo observar una mayor participación e interés por parte de los estudiantes, es por ello que, la investigación concluye que estas estrategias fortalecen el vínculo entre la teoría y la práctica, facilitando así el proceso de enseñanza y el aprendizaje en la Física.

Laguna y Balmaceda (2020), en su tesis titulada “Estrategias metodológicas para facilitar el contenido de la Reflexión especular de la luz”, realizada también en Estelí, Nicaragua, tuvieron los autores como propósito diseñar, aplicar y evaluar estrategias metodológicas que mejoren la comprensión de los fenómenos físicos relacionados justamente con dicho contenido. Entre las estrategias metodológicas empleadas, incluyeron indudablemente la experimentación, las evaluaciones y el uso de la tecnología con simuladores educativos. Estas estrategias permitieron que los estudiantes integraran lo práctico, lo teórico y lo tecnológico, favoreciendo también una comprensión más profunda del tema. En este caso los resultados evidenciaron mejoras significativas en el aprendizaje y una mayor participación estudiantil y al final concluyeron que estas estrategias propuestas son eficaces para así fortalecer la enseñanza de la Física, ya que vinculan teoría y práctica, promoviendo y optimizando el proceso de enseñanza aprendizaje.

Carmona et al. (2016), en su proyecto de investigación titulado “Diseño e implementación de guías didácticas de laboratorio modular de óptica para la enseñanza de la física en el grado 11”, realizado en el Instituto Tecnológico de Dos Quebradas y en la Institución Educativa Santa Isabel, los autores proponen mejorar la enseñanza de la óptica mediante el uso de guías didácticas con enfoque práctico. Esta investigación consistió netamente, en el diseño de guías modulares que incorporaban experimentos, actividades de laboratorio y el uso de recursos tecnológicos como simuladores y software educativo; todos estos materiales permitieron a los estudiantes interactuar con los fenómenos de la óptica, de manera más visual y dinámica, lo que facilitó la comprensión de todos estos conceptos teóricos. Finalmente los resultados, basados en encuestas aplicadas a los estudiantes, reflejaron un aumento en la motivación, el aprovechamiento de los recursos disponibles y una mejora notable en la comprensión de los contenidos de la óptica, este estudio concluye con que, la integración de las prácticas experimentales y tecnologías educativas, fortalece significativamente en el proceso de enseñanza y aprendizaje en el curso de la Física.

## **1.2 Bases teóricas.**

### **1.2.1 La luz.**

Durante el siglo XVIII, coexistieron dos posturas principales respecto a la naturaleza de la luz, la primera correspondía a la teoría corpuscular de la luz, la cual postulaba que “La luz estaba constituida por partículas”, esta postura recibió el respaldo de figuras prominentes como Isaac Newton y Pierre de Laplace; luego la segunda postura era la teoría ondulatoria, que enunciaba que “La luz era una perturbación ondulatoria” y fue defendida por investigadores como Robert Hooke, Christiaan Huygens, Thomas Young y Augustin Jean Fresnel.

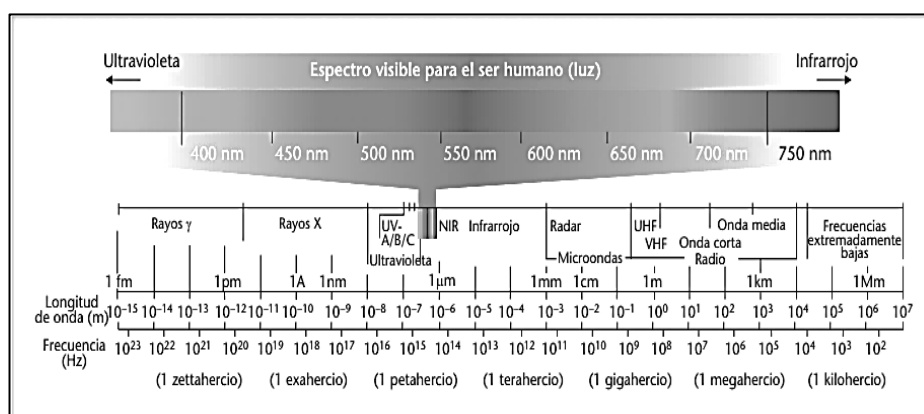
Pero a pesar de que la mayoría de las experimentaciones de estos fenómenos, como la interferencia y la difracción, sugerían un comportamiento claramente ondulatorio, se mantenía una objeción fundamental que asumía que toda onda requería necesariamente de un medio material para propagarse y dado que la luz demostraba propagarse en el vacío sin dificultades aparentes, este hecho se interpretó como un argumento en contra de la teoría ondulatoria y a favor de la concepción corpuscular, (Figueras, 2013).

### **1.2.2 El espectro electromagnético.**

A medida que fue avanzando el estudio de la luz y sus propiedades, se llegó a determinar que las ondas electromagnéticas comprenden un amplio rango de frecuencias, desde las más bajas hasta las más elevadas y que los distintos intervalos dentro de este rango reciben denominaciones específicas que suelen ser ampliamente conocidas actualmente y entre las principales se encuentran las ondas de radio, también denominadas ondas radioeléctricas o radioondas, las ondas de microondas, la radiación infrarroja, la luz visible, los rayos ultravioletas, los rayos X y los rayos  $\gamma$  (gamma).

Justamente como ya se había mencionado, el conjunto completo de todas estas frecuencias constituye el espectro electromagnético, el cual se muestra en la figura 1, (Figueras, 2013).

Figura 1: El espectro Electromagnético.



Fuente: Figueras, 2000, p. 09.

### 1.2.3 Óptica geométrica y óptica física.

La óptica se puede abordar desde varias perspectivas y es así que esta rama de la física, analiza la propagación de la luz, suponiendo que avanza siguiendo trayectorias rectas y un planteamiento que permite describirla mediante rayos y resulta útil en el diseño de sistemas como lentes o prismas y espejos.

También se tiene que tomar en cuenta que existe otra línea de estudio que considera la luz como una manifestación de naturaleza ondulatoria, lo que hace posible explicar fenómenos como la interferencia y la difracción; además a todo esto se le suma un enfoque más reciente que surge del desarrollo de la mecánica cuántica, en el cual la luz se examina mediante conceptos asociados a los cuantos y a su relación con sistemas atómicos, integrando así propiedades que indica que la luz puede comportarse como partícula y como onda según el contexto, (Figueras, 2013).

### 1.2.4 El sistema óptico.

Un sistema óptico, es considerado a aquel conjunto de materiales transparentes o semitransparentes cuya geometría está delimitada por superficies que pueden reflejar o desviar la luz, habitualmente estas superficies presentan formas simples, como planos o curvaturas que pueden ser esféricas o asféricas, los elementos como un espejo, una placa de vidrio, un prisma o una lente constituyen ejemplos de sistemas ópticos, al igual que la combinación de varias lentes, como por ejemplo

los utilizados en instrumentos como los telescopios, (Centro de Investigación en Matemáticas [CIM], 2016).

### 1.2.5 Postulados de la óptica geométrica.

Los postulados nos indican que “La luz se desplaza siguiendo trayectorias denominadas rayos” y estos rayos se originan en fuentes luminosas y que pueden ser detectados cuando inciden sobre un instrumento o dispositivo óptico.

Para poder describir el comportamiento de la luz en los distintos materiales, se define el concepto de medio óptico, el cual se caracteriza mediante un parámetro  $n \geq 1$ , llamado índice de refracción; justamente este índice de refracción se establece como la razón entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío ( $c$ ), y su velocidad dentro del medio considerado ( $v$ ), de lo cual se puede enunciar la ecuación (1):

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Esta definición del índice de refracción implica que, exceptuando el caso del vacío, dicho índice es siempre superior a uno, puesto que la velocidad de la luz en un medio material es menor o igual que en el vacío (donde se cumple  $c = v$ ). En la tabla 01 se presentan los valores del índice de refracción de diversos materiales bajo condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica, considerando una longitud de onda de 589 nm.

A partir de la ecuación (1), igualándola con la ecuación de cinemática, puede determinarse el tiempo  $t$  que emplea la luz en recorrer una distancia  $s$ , obteniéndose la siguiente relación:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{ns}{c} = \frac{L}{c} \quad (2)$$

Es decir en otras palabras, que el tiempo empleado por la luz resulta proporcional al producto del índice de refracción, multiplicado por la distancia recorrida ( $n \cdot s$ ). Hay que tener en cuenta que la magnitud  $n \cdot s = L$ , recibe el nombre de CAMINO ÓPTICO, (Sánchez, 2020).

Tabla 1: Índices de refracción ( $n$ ) para la Luz Amarilla con  $\lambda = 589 \text{ nm}$

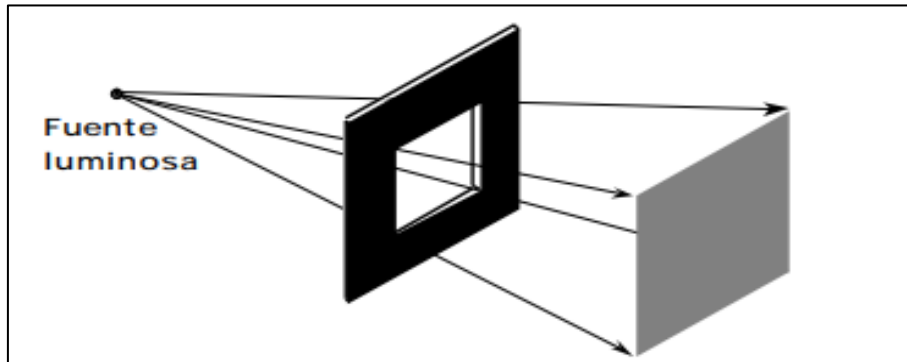
Sustancia	N	Sustancia	N
Sólidos		Líquidos a 20°C	
Hielo	1.309	Alcohol metílico	1.329
Fluorita	1.434	Agua	1.333
Sal de roca	1.544	Alcohol etílico	1.36
Cuarzo	1.544	Tetracloruro de carbono	1.460
Circonio	1.923	Trementina	1.472
Diamante	2.417	Glicerina	1.473
		Benceno	1.501
		Disulfuro de carbono	1.628
Vidrios (valores típicos)			
Crown	1.52		
Flint ligero	1.58		
Flint medio	1.62		
Flint denso	1.66		

Fuente: Beléndez, 1996, p. 02.

### 1.2.6 Propagación de la luz en un medio homogéneo.

Si se tiene un medio homogéneo, entonces se puede afirmar que el índice de refracción se mantiene constante en toda su extensión y, en consecuencia, también permanece constante la velocidad de propagación de la luz en ese medio. Es por ello que en este caso, el Principio de Fermat establece que el recorrido que requiere el menor tiempo, coincide con el de menor longitud, dado que se cumple  $L = n \cdot s$ , es decir, en medios homogéneos, las trayectorias seguidas por los rayos luminosos son rectilíneas, ver la Figura 02, es así que se afirma que los trayectos seguidos por los rayos de luz pueden ser reversibles, (Sánchez, 2020).

Figura 2: Propagación de la luz en un medio homogéneo.



Fuente: Beléndez, 1996, p. 03.

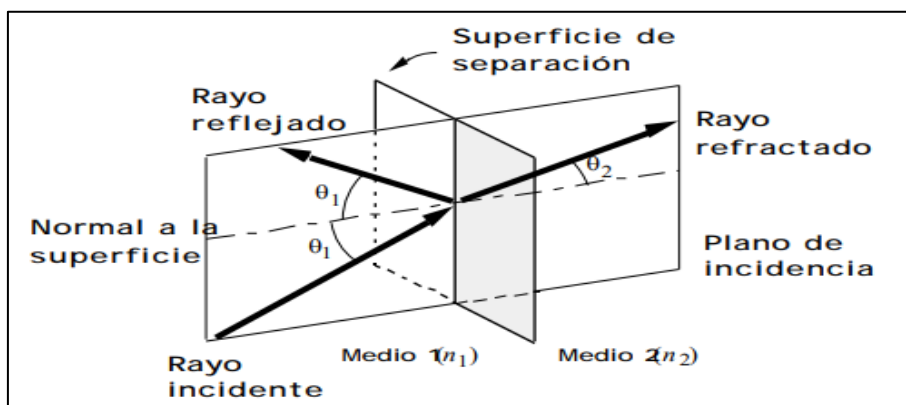
### 1.2.7 Refracción de la luz.

Para esto, consideremos una superficie que separa dos medios con índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ , entonces al incidir un rayo luminoso sobre dicha superficie, una parte de su energía se transmite al segundo medio dando lugar al rayo refractado entonces este rayo permanece en el plano de incidencia y forma un ángulo  $\theta_2$  con la normal a la superficie, ver Figura 03; por lo tanto el ángulo de refracción  $\theta_2$  se encuentra relacionado con el ángulo de incidencia  $\theta_1$  mediante la conocida Ley de Snell:

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

De igual manera, el rayo reflejado obedece la ley de la reflexión, la cual establece que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, (Sánchez, 2020).

Figura 3: Refracción de un rayo de luz.



Fuente: Beléndez, 1996, p. 04.

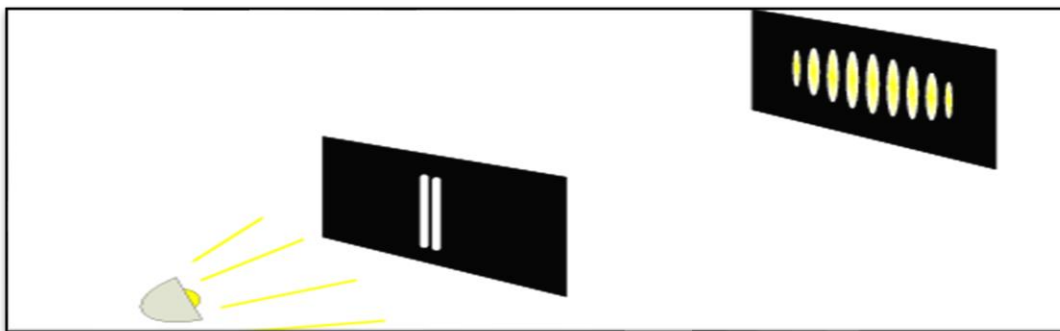
### 1.2.8 Longitud de onda.

La longitud de onda se puede definir como el período espacial de la onda, es decir, es la distancia a la cual su forma de la onda se reproduce nuevamente, (Figueras, 2013).

Para poder determinar la longitud de la onda de la luz, es necesario utilizar una fuente que emita, preferentemente una sola longitud de onda y para esto el instrumento más común y accesible es el láser, incluso en sus versiones de bajo costo, como los apuntadores láser.

El primer procedimiento experimental orientado a poder medir la longitud de onda de la luz, fue desarrollado por Thomas Young en 1801, el cual realizó un experimento, en el que hizo pasar luz a través de dos rendijas, generando un patrón de interferencia en una pantalla situada a cierta distancia, tal como se muestra en la Figura 04.

Figura 4: Experimento de Young

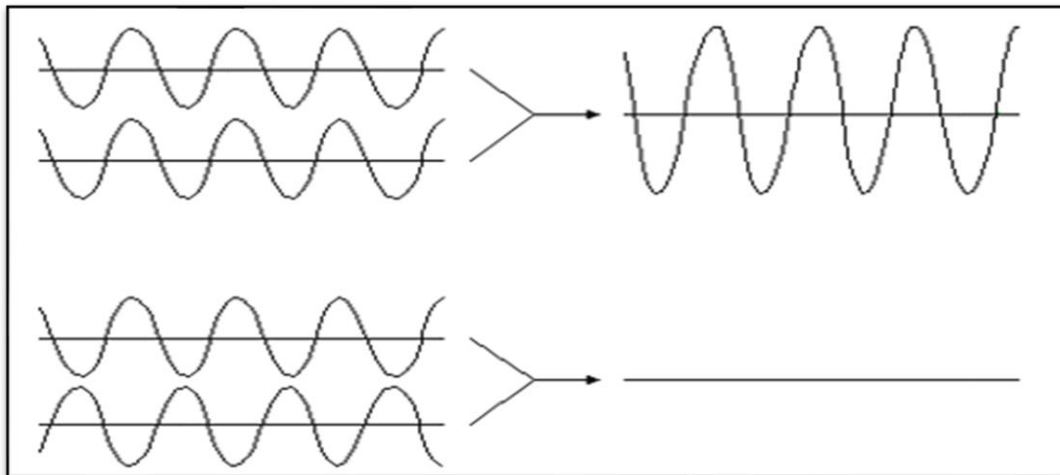


Fuente: Estrada et al., 2017 p.05.

Este fenómeno se puede interpretar considerando que, en la pantalla, las ondas provenientes de ambas rendijas se superponen en determinados puntos y dicha superposición ocurre de una manera constructiva, mientras que en otros lo hace de una manera destructiva, tal como se aprecia en la Figura 05.

en este experimento, para que en un punto específico se observe una franja luminosa, fue necesario que la diferencia de recorrido entre los haces de luz sea igual a un múltiplo entero de la longitud de onda y con base en este criterio, la disposición geométrica empleada para calcular la longitud de onda se explicará a continuación.

Figura 5: Interferencia constructiva e Interferencia destructiva.



Fuente: Estrada et al., 2017 p. 01.

Sabiendo que la diferencia del camino óptico entre las trayectorias  $r_1$  y  $r_2$ , como se muestra en la figura 6, puede aproximarse mediante la distancia  $s$  y a partir del triángulo  $ABD$ , es posible establecer que el seno del ángulo  $\theta$  viene dado por la relación:

$$\sin \theta = \frac{s}{d} \quad (4)$$

Y además sabiendo que esta expresión,  $d$  representa la separación entre las rendijas y  $s$  corresponde a la diferencia del camino óptico y sabiendo que para que tenga lugar una interferencia constructiva, dicha diferencia debe ser igual a un múltiplo entero de la longitud de onda de la luz, entonces se puede verificar que:

$$s = n \cdot \lambda \quad (5)$$

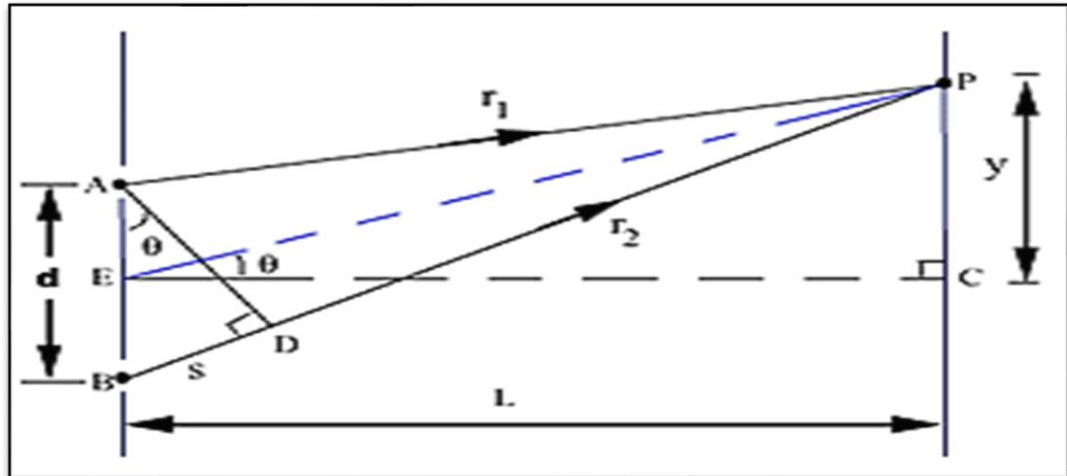
Por otra parte, dado que los triángulos  $ABD$  y  $ECP$  son semejantes debido a la perpendicularidad correspondiente entre sus lados, es posible emplear el triángulo  $ECP$  para obtener la relación trigonométrica, entonces de este modo, la tangente del ángulo  $\theta$  viene dada por:

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \quad (6)$$

Y dado que el ángulo  $\theta$  suele ser muy pequeño en este tipo de configuraciones experimentales, los valores del seno y de la tangente pueden considerarse prácticamente equivalentes:

$$\sin \theta \approx \tan \theta \quad (7)$$

Figura 6: Geometría para el cálculo de la longitud de onda.



Fuente: Estrada et al., 2017 p. 01.

Entonces, se puede establecer la siguiente relación aproximada entre las magnitudes involucradas:

$$\frac{s}{d} = \frac{n\lambda}{d} = \frac{y}{L} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{y \cdot d}{n \cdot L} \quad (9)$$

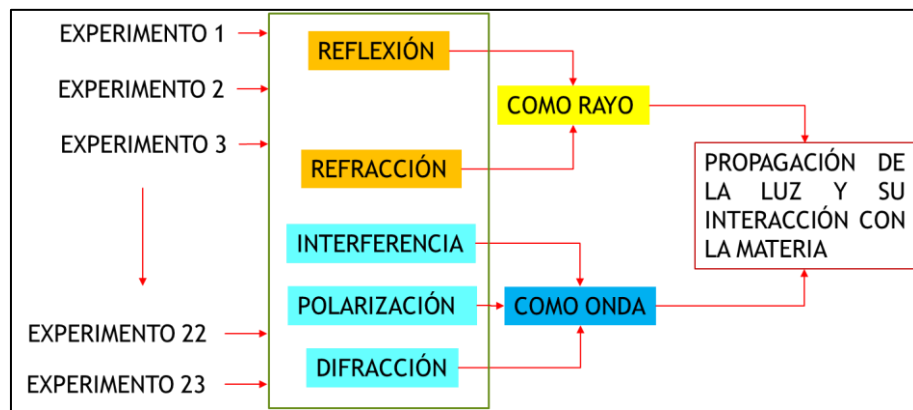
A partir de la ecuación (9), es posible determinar experimentalmente la longitud de onda de la luz mediante un montaje de doble rendija de Young y en la cual pueden realizarse mediciones directas con una cinta métrica de las siguientes magnitudes:

- $y$ : la distancia entre la franja central y la franja brillante correspondiente a un orden  $n$ .
- $d$ : la separación entre las dos rendijas empleadas en el experimento.
- $n$ : el orden de la franja brillante considerada para la medición de  $y$ .
- $L$ : la distancia entre las rendijas y la pantalla donde se registra el patrón de interferencia, (CIM, 2016).

### 1.2.9 Experimentos en óptica geométrica nivel básico e intermedio.

Teniendo presente las teorías generales de la luz ya antes mencionadas, se pueden distinguir los experimentos fundamentales en óptica geométrica, utilizando el modelo de la luz tanto como rayo, así también el modelo de la luz como onda, de la siguiente manera como se muestra en la figura 7, (Mazo et al., 2016):

Figura 7: Experimentos en óptica geométrica, Nivel básico e intermedio.

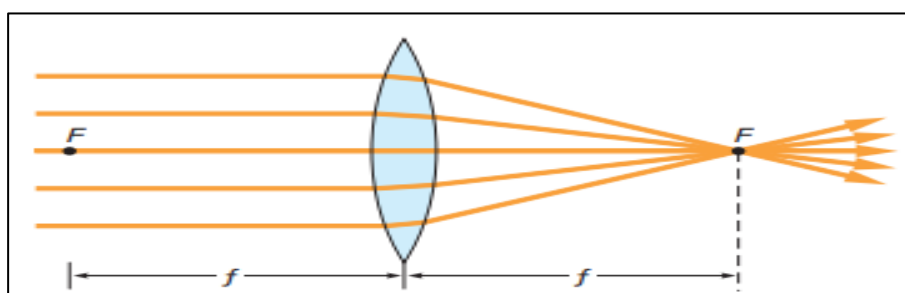


Fuente: Mazo et al., 2016, p. 81.

### 1.2.10 Lentes positivas o Biconvexas.

Son aquellas lentes o prismas, que tienen las superficies de ambos lados esféricas, es decir, con los lados convexas uno frente al otro y que, de acuerdo con la ley de la refracción, los rayos de la luz inciden hacia la normal, en la primera superficie, yendo del aire hacia la lente, y se alejan de ella en la segunda superficie, yendo de la lente hacia el aire. Si las dos superficies son convexas, como se muestra en la figura 8, cada una de estas refracciones desvía el rayo hacia el eje, que es una línea que pasa por el centro de la lente y es perpendicular a ella. Una lente como ésta hace que los rayos de luz converjan, (Griffith, 2008).

Figura 8: Lente Positiva o Convexa.

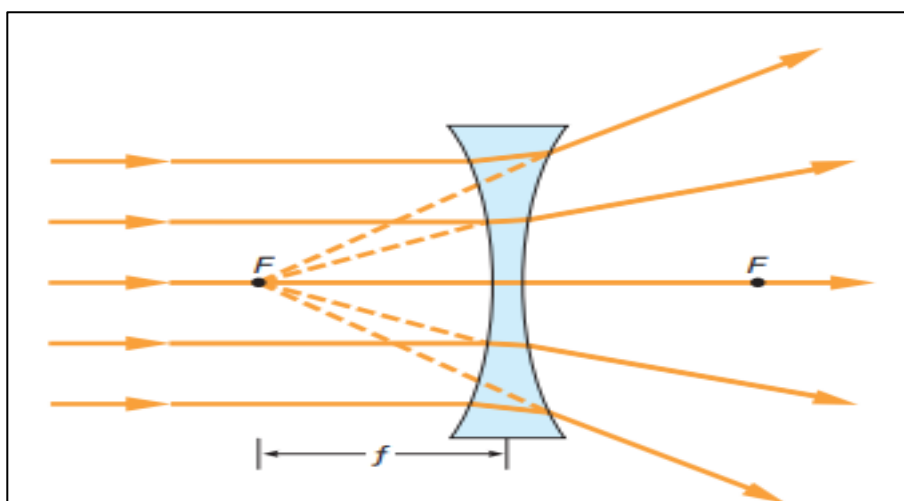


Fuente: Griffith, 2008 p. 356.

### 1.2.11 Lentes negativas o cóncavas.

Este tipo de lentes o prismas, son aquellas que tiene las superficies de ambos lados invertidos en comparación con las convexas, como se puede apreciar en la figura 09. Es decir en estas secciones del prisma desvían los rayos de luz alejándose del eje en vez de hacia él, formando un foco virtual, el cual está ubicado al mismo lado de donde incide la luz. Una lente como ésta hace que los rayos de luz diverjan, (Griffith, 2008).

Figura 9: Lente Negativa o Cóncava.



Fuente: Griffith, 2008 p. 358.

### 1.2.12 Distancia focal.

Para el cálculo de la distancia focal en las lentes, se trabajó con la “ecuación del fabricante de lentes”, que justamente determina la distancia focal “f” de una lente, que es la distancia desde el foco con respecto al radio de curvatura, hecha con un material de índice de refracción “n” y cuyas superficies tienen radios de curvatura  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente y está dada por:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(n-1)^2 \cdot d}{n \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (10)$$

Donde “d” es la distancia entre vértices de las superficies.

Si el radio de curvatura es negativo, entonces es una superficie convexa y si es positiva es una superficie cóncava, (Cruz, 2017).

### **1.2.13 Regulador de voltaje LM317.**

Este es un tipo de regulador de voltaje de corriente directa, ajustable de tres terminales y que es capaz de suministrar corrientes superiores a 1,5 A dentro de un intervalo de voltaje de salida que abarca un rango aproximadamente entre los 1,2 V a 37 V. el diseño de este regulador permite una configuración sencilla, pues únicamente requiere el uso de dos resistencias externas para fijar el voltaje deseado, además, incorpora mecanismos internos de protección como la limitación de corriente y también cuenta con apagado térmico, lo que lo convierte así en un dispositivo altamente confiable y con elevada tolerancia a los fallos, (Mazo et al., 2016).

### **1.2.14 Potenciómetro.**

Este es un dispositivo electrónico que en sí, es un componente electromecánico constituido por un elemento resistivo y una perilla móvil que permite variar su resistencia interna efectiva, mediante el desplazamiento del eje o también llamado dial; el valor resistivo puede ajustarse con facilidad, lo que posibilita controlar parámetros eléctricos según las necesidades del circuito y por lo general, entre sus terminales se encuentra un material de baja resistencia, cuya disposición genera cambios de intensidad de corriente apreciables al modificar su posición, (Mapro Ingeniería S.A., s. f.)

### **1.2.15 Condensador electrolítico.**

Este es un dispositivo electrónico pasivo, que posee la capacidad de almacenar energía en forma de un campo eléctrico entre dos superficies conductoras, que están separadas por un elemento electrolito. Estos dispositivos, se clasifican dentro de los componentes pasivos, ya

que no amplifica ni interrumpe el paso de la corriente, sino que actúa solamente acumulando y liberando la carga en función de las condiciones del circuito en el que se encuentre conectado, (Durán et al., 2020).

#### **1.2.16 Fuente de voltaje.**

Estos tipos de dispositivos, está dotado de dos terminales cuya función principal es proporcionar un voltaje determinado, independientemente de la carga conectada a él. En este caso se considera un elemento activo, debido a su capacidad para suministrar energía y dentro de sus aplicaciones, destaca la conversión de corriente alterna en corriente continua, así como la estabilización y regulación del suministro eléctrico. El propósito principal consiste en entregar una potencia constante al circuito regulador de voltaje, que a su vez administrará un voltaje controlado a los láseres, (Durán et al., 2020).

#### **1.2.17 Resistor.**

Este es un componente electrónico de dos terminales, sin polaridad y cuya función es proporcionar una resistencia eléctrica específica entre dos puntos de un circuito electrónico, su operación se basa en disipar energía eléctrica transformándola en energía térmica, razón por la cual contribuye al control de la corriente. Su unidad de medida en el sistema internacional es el ohmio ( $\Omega$ ), (Pascuala et al., 1998).

#### **1.2.18 Bornera.**

Este dispositivo corresponde a un elemento de conexión, que permite el acoplamiento de cables o terminales para transferir energía eléctrica desde una fuente hacia otros dispositivos tales como motores, diodos u otros dispositivos electrónicos. Su finalidad consiste en garantizar una conexión segura y eficiente para la alimentación de los componentes asociados, que en este caso, será los terminales de los láseres instalados, (ON Semiconductor., s.f.).

#### **1.2.19 Interruptor.**

Este es un dispositivo destinado a interrumpir el paso de la corriente en un circuito, actuando como un mecanismo de encendido y apagado mediante un accionamiento manual. Su función principal consiste en este

caso de habilitar o deshabilitar el flujo energético hacia los diodos laser, (Durán et al., 2020).

### 1.2.20 Diodo láser rojo 5 V / 650 nm / 5 mW / 6 mm.

Este tipo de diodo láser de 6 mm de diámetro de su carcasa, cuenta con una potencia de 5 mW y una longitud de onda de 650 nm, correspondiente a la luz roja, operando típicamente en un rango de voltaje que oscila entre 3,5 V y 5 V, además produce un haz altamente intenso, (Sedra & Smith, 2018).

### 1.2.21 Desviación estándar muestral.

Esta es una medida de dispersión, que cuantifica en cuánto se alejan, en promedio, los valores de una muestra, respecto a su media aritmética, permitiendo así, poder estimar la variabilidad de la población a partir de estos datos muestrales, (Oxford University Press, 2020).

La desviación estándar muestral se denota por una letra “s” y se define por la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

Donde:

- $x_i$  son los valores individuales de la muestra,
- $\bar{x}$  es la media muestral,
- $n$  es el tamaño de la muestra,
- $n - 1$  es el factor de corrección de Bessel, que evita subestimar la variabilidad poblacional.

### 1.2.22 Oslo Edu 6.6.

El software OSLO EDU 6.6, por sus siglas en inglés, Optics Software for Layout and Optimization, es una de las herramientas computacionales que está orientada a la formación académica y experimental de los investigadores, facilitando la simulación del comportamiento los sistemas ópticos reales y la visualización de los

parámetros como, la distancia focal, apertura, trayectorias de los rayos incidentes y la calidad de la imagen, permitiendo modelar así, las lentes o conjuntos ópticos, mediante técnicas de la óptica geométrica, (Lambda Research Corporation [LRC], 2021).

### **1.2.23 Proteus Profesional 8.**

El software Proteus Profesional 8, es un entorno integrado para el diseño, simulación y validación de los circuitos electrónicos, que permite el dibujo de esquemas, la simulación interactiva de circuitos analógicos y digitales, haciendo uso de instrumentos virtuales de medición. Todas estas funciones facilitan el análisis del comportamiento eléctrico de los circuitos y la detección de errores, antes de su implementación física, siendo una herramienta ampliamente utilizada en contextos académicos y de formación en electrónica (Rossano, 2021).

## II. DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1 Diseño y materialización del sistema óptico experimental.

Esta tesis se centra en el diseño y materialización de un sistema óptico experimental conformado por un Pentaláser y lentes de acrílico transparente, además de plantillas, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, también cuenta con una cinta milimetrada que servirá para controlar las distancias en las experimentaciones, hay que especificar que el Pentaláser cuenta con encendido independiente de cada haz de láser, para su mejor uso y que pueda interactuar con las lentes diseñadas de acuerdo a las especificaciones establecidas.

La aplicación de las prácticas de óptica geométrica realizadas, será de nivel básico e intermedio y estarán definidas y aplicadas posteriormente en conjunto con los alumnos de un colegio de nivel secundaria, ubicado en el distrito de Santa María, de la provincia de Huaura, del departamento de Lima.

Debido a la naturaleza de la investigación, este diseño metodológico se fundamenta en un enfoque experimental y de desarrollo tecnológico y el procedimiento a seguir incluye dos etapas principales:

- A. Etapa del diseño de las lentes, en la cual se considera el material de acrílico transparente, de 17mm de espesor y un tamaño de 102 mm, siendo estas medidas óptimas para el estudio en prácticas de laboratorio y sobre todo de acuerdo al diseño del Pentaláser.
- B. Etapa del diseño del Pentaláser, que está basado en un circuito regulador de voltaje, donde su componente principal es el circuito integrado LM317, adecuado para la óptima distribución de energía para los diodos láser.

Estas dos etapas principales y determinantes para la realización de la Tesis, se proceden a detallar específicamente en los siguientes apartados, los cuales quedarán como una guía específica para los futuros investigadores.

### 2.1.1 Etapa 1: Diseño de lentes y análisis en OSLO EDU.

En este apartado, se describe el proceso del diseño y el análisis de las lentes, bicóncava, biconvexa y planoconvexo, las cuales forman parte del sistema Óptico, utilizando el software OSLO EDU, versión 6.6, el cual es una herramienta ampliamente utilizada para el diseño y evaluación de sistemas ópticos.

En esta parte también se detalla todos los pasos seguidos para la configuración, simulación y análisis de las lentes en el software OSLO EDU 6.6, cabe resaltar que se utilizaron las herramientas disponibles en el programa para configurar las propiedades geométricas y ópticas de las lentes, simular la propagación de la luz a través de éstas y realizar el análisis correspondiente, también se hace uso de la ecuación 10 del marco teórico, la ecuación del fabricante, para determinar el radio de curvatura de las lentes, tomando en cuenta las especificaciones previstas para la materialización de estas.

#### 2.1.1.1 Configuración de la lente bicóncava o lente negativa:

Ahora se procede a explicar paso a paso el diseño de una lente negativa de material acrílico con índice de refracción 1,49; distancia "d" entre los vértices de 17mm y una distancia focal de -200 mm, ya que es una lente negativa con foco virtual; así entonces conociendo la ecuación 10, que es la ecuación del fabricante se procederá a calcular el radio de curvatura para la lente:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(n - 1)^2 \cdot d}{n \cdot R_1 \cdot R_2}$$

Donde:

$$n = 1,49$$

$$f = -200 \text{ mm}$$

$$d = 17 \text{ mm}$$

Y como es una lente bicóncava simétrica, usando la convención de signos habitual en óptica geométrica, se tiene:

$$R_1 = -R \quad ; \quad R_2 = +R$$

Reemplazando los radios en la ecuación 10, el primer término queda de la siguiente manera:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{-R} + \frac{1}{R} = 0$$

Por lo tanto, el primer término e la ecuación, se anula por simetría.

Ahora trabajando en el segundo término, el producto de los radios quedaría:

$$(R_1)(R_2) = (-R)(+R) = -R^2$$

Simplificando la ecuación, y tomando en cuenta que el primer término se anuló, la ecuación 10 se reduce y queda de la siguiente forma:

$$\frac{1}{f} = -\frac{(n-1)^2 d}{n(-R^2)}$$

Los signos negativos se cancelan y finalmente obtengo la ecuación en donde se reemplazarán los valores numéricos dados y se obtendrá el radio de curvatura R:

$$\frac{1}{f} = \frac{(n-1)^2 d}{n R^2}$$

Ahora realizamos el reemplazo numérico se tiene:

$$\frac{1}{-200} = \frac{(1,49 - 1)^2(17)}{(1,49)R^2}$$

Calculando paso a paso los términos de la ecuación:

a)  $n - 1$

$$1,49 - 1 = 0,49$$

b) Cuadrado de  $n - 1$ :

$$(0,49)^2 = 0,2401$$

c) Desarrollando el numerador:

$$0.2401 \times 17 = 4,0817$$

d) La ecuación queda reducida a:

$$-\frac{1}{200} = \frac{4,0817}{1,49 R^2}$$

Ahora despejando  $R^2$ :

Para esto multiplicamos ambos lados por  $(1,49R^2)$ :

$$-\frac{1,49R^2}{200} = 4.0817$$

Multiplicamos por  $-200$  en ambos lados y nos queda:

$$1,49R^2 = -816,34$$

Como  $R^2$  es positivo, tomamos el valor absoluto:

$$R^2 = \frac{|-816,34|}{1,49}$$
$$R^2 = 547,95$$

Por último, desarrollamos la raíz cuadrada:

$$R = \sqrt{547,95}$$

Se obtiene el radio de curvatura de  $R= 198,76$  mm.

Con este resultado del radio de curvatura para la lente bicóncava, se procede a diseñarla en el software, para lo cual se tiene que seguir los siguientes pasos, tomando en cuenta que el Software OSLO EDU 6.6 está en el idioma inglés.

También se precisa de igual forma, que este procedimiento para la obtención del radio de curvatura es análogo para las otras lentes a diseñar y se obviara para no redundar.

## **A. Paso 1: Abrir OSLO EDU y crear un nuevo archivo de diseño óptico.**

Para esto, una vez dentro del programa, se tiene que ir al menú principal y selecciona “File → New Lens” para iniciar un nuevo diseño óptico.

Una vez realizado esta acción, procedo a configurar las condiciones iniciales.

## **B. Paso 2: Configurar las Condiciones Iniciales del Sistema.**

Al abrir el archivo de lente, se observa la tabla de “Surface Data”, donde procedo a configurar las superficies ópticas. Los valores iniciales que se introdujeron y que definen el sistema óptico completo, se muestran a continuación.

### **i. Superficie 0: OBJ (Objeto)**

#### **a. Radius (Radio): 0**

El radio de curvatura de esta superficie es 0 para que el software pueda asumir, que el objeto está en el infinito, es decir no haya nada alrededor de el que interfiera. Esto es común en el diseño de la mayoría de los sistemas ópticos, donde la luz incide o ingresa desde fuentes lejanas, creando rayos paralelos.

#### **b. Thickness (Grosor): 1 E+20**

Este valor extremadamente grande se coloca, porque representa una distancia "infinita" entre el objeto y la primera superficie óptica (AST). Esto es importante porque, como el software considera que el objeto está en el infinito, no se necesita un valor físico real de distancia entre el objeto y el sistema óptico; es por esto que el programa utiliza este valor para simular esa condición.

#### **c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 1 E+14**

Ahora el radio de apertura define el tamaño de la ventana por donde pasa el haz de luz. En este caso, al estar en el infinito, se introduce un valor extremadamente grande (1 E+14) para indicar que el haz tiene un tamaño indefinido. Esto

asegura que los rayos paralelos no están limitados por ninguna superficie en particular.

**d. Glass (Material): AIR (Aire)**

Como el medio entre el objeto y la primera superficie óptica es aire, como en la mayoría de los sistemas ópticos y estos están diseñados para funcionar en aire (índice de refracción cercano a 1), se especifica aquí que el objeto está en aire.

**ii. Superficie 1: AST (Lente Cóncava)**

**a. Radius (Radio de Curvatura): -198,76**

En esta parte se especifica el radio de curvatura de la primera superficie de la lente (AST), que es el radio que se obtuvo con la ecuación 10, Se le asigna un valor negativo porque indica que es una superficie cóncava (curva hacia adentro, del lado izquierdo), lo que afectará cómo los rayos de luz se doblan al pasar por la lente.

**b. Thickness (Grosor): 17**

En este caso, se indica el grosor de la lente en la dirección del eje óptico. Este valor indica que hay 17 mm entre la primera superficie (cóncava) y la segunda superficie de la lente, este grosor se estableció ya que es un valor que es adecuado para el tamaño de la lente, este grosor afectará el poder refractivo de la lente y cómo los rayos de luz se enfocan.

**c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 51**

Este es el tamaño de la apertura de la lente (diámetro del borde). En este caso, el valor de 51 mm, es un valor común que asegura que la lente puede interceptar un haz de luz en ese diámetro.

**d. Glass (Material): ACRYLIC**

Ahora se define el material de la lente que está entre las dos superficies convexas y para este caso es acrílico, que tiene un índice de refracción de 1,49 y lo que significa que doblará los rayos de luz más que el aire. El material es importante

porque define cómo los rayos de luz se refractan al pasar por la lente.

**e. Special (Opciones Especiales): F**

Esta letra “F” indica que es una superficie flotante, es decir puede cambiar su posición durante la optimización para mejorar el rendimiento óptico.

**iii. Superficie 1.2: (Lente Cóncava)**

**a. Radius (Radio de Curvatura): 198,76**

Nuevamente este es el radio de curvatura de la segunda superficie de la lente (AST), en este caso es un valor positivo, porque indica que es una superficie cóncava, es decir curva hacia adentro, pero del lado derecho en este caso, lo que afectará de igual manera cómo los rayos de luz se doblan al salir de la lente.

**b. Thickness (Grosor): 17**

Nuevamente se repite el grosor de la lente en la dirección del eje óptico. Este valor indica que hay 17 mm entre la primera superficie (cóncava) y la segunda superficie de la lente. Este grosor ya se conoce que afectará el poder refractivo de la lente y cómo los rayos de luz se enfocan.

**c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 51**

De igual forma el radio de apertura como ya se conoce que es el tamaño de la apertura de la lente (diámetro del borde) y en este caso, el valor de 51 mm asegura que la lente puede interceptar un haz de luz en ese diámetro.

**d. Glass (Material): AIR**

Nuevamente el medio que está después de la segunda superficie convexa será aire, es por eso que nuevamente se coloca “AIR”.

#### iv. Superficie 2: IMS (Imagen)

##### a. Radius (Radio de Curvatura): 0

En este caso el radio de curvatura de la superficie de imagen es 0 porque es un plano de imagen. No es una superficie física, sino el lugar donde la luz se enfoca después de pasar por la lente.

##### b. Thickness (Grosor): 1 E+20

Este valor se coloca extremadamente grande e indica que la imagen se encuentra en el infinito. Esto es común en diseños ópticos, donde el objetivo es hacer que la luz converja en un punto focal lejano.

##### c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 1 E+14

Ahora en este caso, similar a la superficie OBJ, se usa un valor extremadamente grande para indicar que no hay una restricción física en el tamaño del haz de luz en esta superficie.

##### d. Glass (Material): AIR

Como el medio donde se forma la imagen es aire, lo cual es común en la mayoría de los sistemas ópticos de laboratorio, es por eso que nuevamente se escribe "AIR".

#### C. Paso 3: Ajustar Otros Parámetros del Sistema

También en la parte superior de la tabla "Surface Data", se puede observar varios parámetros importantes que a continuación se procederá a definir.

##### i. Ent Beam Radius (Radio del haz de entrada): 30

En este caso este valor representa el radio del haz de luz que entra al sistema óptico. Como en la simulación se está utilizando un haz de 30 mm de radio, es decir 60 mm de diámetro, lo que sugiere que el sistema está diseñado para manejar un haz relativamente grande y como para las prácticas de laboratorio los haz de rayos láser serán de unos milímetros, entonces no habrá dificultad en la lente.

**ii. Field Angle (Ángulo de Campo): 0,0000572957795**

Ahora en esta parte, el ángulo de campo es la extensión angular del campo de visión del sistema óptico. Un ángulo de campo de 0,0000572957795 grados es relativamente amplio y viene por defecto en el software, lo que sugiere que este sistema está diseñado para captar imágenes o luz en un campo de visión amplio.

**iii. Primary Wavelength (Longitud de onda primaria): 0,656273**

Ahora en esta parte se define el valor de la longitud de onda de la luz con la que se va a trabajar. El valor 0,656273 es la longitud de onda del láser de luz roja que se está usando en micrones, que en este caso es el valor próximo al haz de luz láser de color rojo, ya que es un haz de laser común.

#### **D. Paso 4: Guardar y Ejecutar el Diseño**

En esta parte, una vez ingresado todos los parámetros se guarda el trabajo, para ello me dirijo hacia "File → Save Lens As" para guardar el archivo.

Todos los parámetros anteriormente descritos se muestran a detalle en la figura 10 y de igual forma la lente negativa de material acrílico con índice de refracción de 1,49 y con un largo de 102 mm, además de un radio de apertura de 51mm, diseñada para el sistema óptico, todo esto se muestra en la figura 11.

Tomando en cuenta que las siguientes lentes como son la biconvexa y la planoconvexa tendrán parámetros similares, se darán los datos con las indicaciones adecuadas para poder replicarlas y sirva como modelo para futuras investigaciones, sobre todo porque el software OSLO EDU 6.6, está en el idioma inglés y así de esta forma sirve de guía para otros nuevos diseños.

Figura 10: Parámetros establecidos para la configuración de la lente bicóncava en el software OSLO EDU.

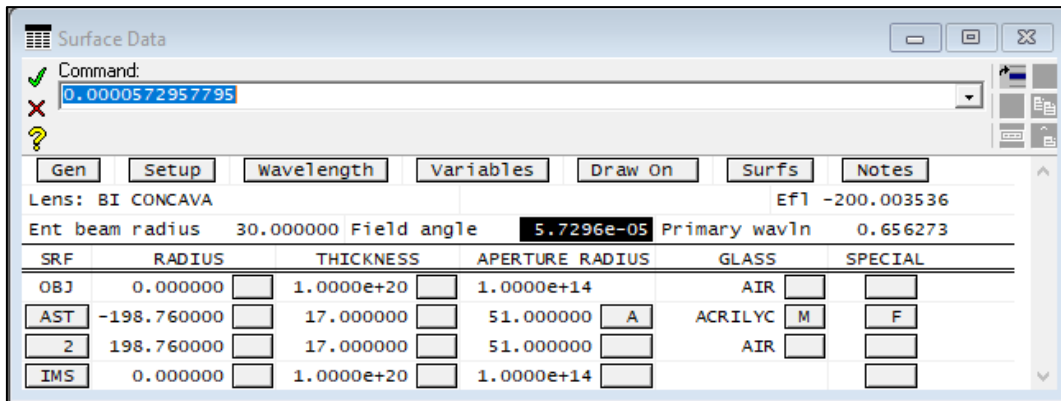
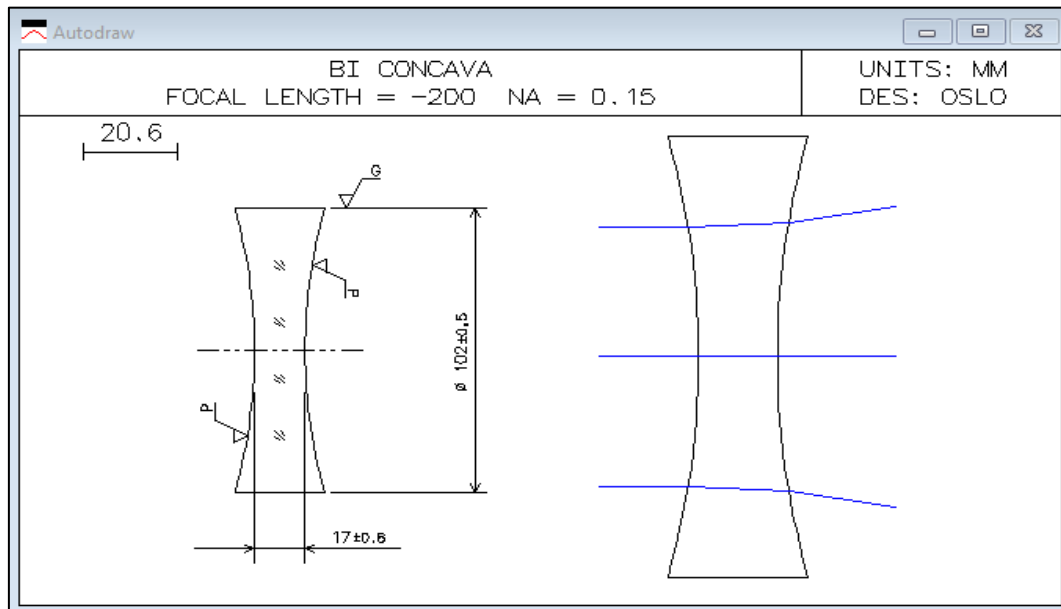


Figura 11: Diseño de la lente bicóncava, con distancia focal de -200 mm, en el software OSLO EDU.



Por lo tanto, una vez concluido el diseño óptico de la lente bicóncava, utilizando el software OSLO EDU y con los diseños establecidos, procedí a materializar dicho diseño en un modelo físico. El diseño computacional permitió determinar parámetros claves como la distancia focal, el radio de curvatura de las superficies, el índice de refracción del material y la separación entre vértices. Entonces con base en esos datos, se elaboró una lente biconvexa simétrica, utilizando como material acrílico transparente de 17 mm de espesor como se había previsto, el cual presenta una

transmitancia adecuada en el rango visible y un índice de refracción compatible con los requerimientos del diseño original.

Para la elección del acrílico como el material óptico, me basé en elegirlo bajo su facilidad de mecanizado, su resistencia mecánica y su costo accesible en comparación con otros materiales ópticos como el vidrio, además de cerciorarme que en la industria si es accesible el corte laser de piezas con ese material, por lo tanto el proceso de fabricación incluyó el cortado láser de ambas superficies cóncavas con radios de curvatura específicos, respetando las tolerancias dimensionales derivadas del diseño en OSLO EDU 6.6, con el fin de asegurar el comportamiento convergente de la lente según los principios de la óptica geométrica.

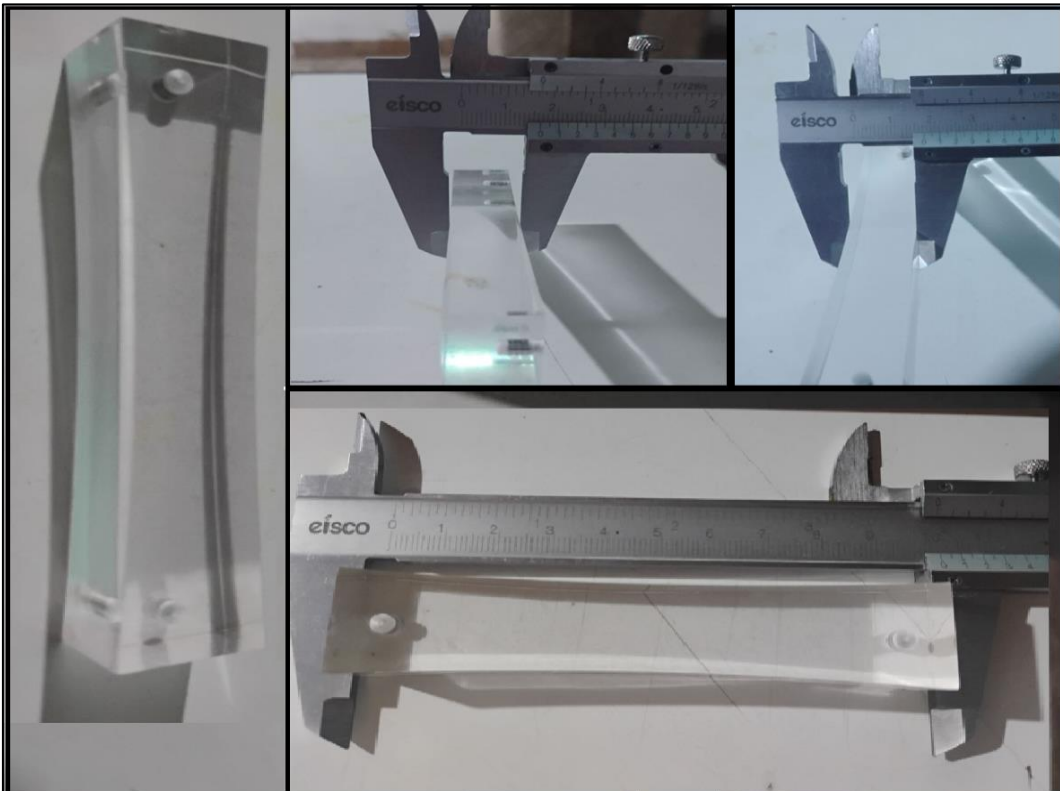
Adicionalmente y tomando como ejemplo otros sistemas ópticos, se decidió para mayor facilidad, de incorporar pequeños imanes de neodimio incrustados de forma estratégica en los extremos del cuerpo de la lente. Estos imanes, de alta fuerza magnética, fueron añadidos con el propósito de facilitar la fijación de la lente sobre superficies metálicas, tales como pizarras o estructuras de soporte metálico. Esta innovación ya antes vista en material similar, permite posicionar la lente en orientación vertical sin la necesidad de soportes adicionales, mejorando su utilidad didáctica y experimental en entornos educativos y de laboratorio.

La integración de los imanes no afecta las propiedades ópticas de la lente, dado que están situados fuera de la trayectoria del haz de laser. Esta adaptación convierte a la lente en un instrumento versátil que puede ser empleado en diversas experiencias relacionadas con la refracción de la luz y el estudio de sistemas ópticos compuestos.

A continuación, se muestra la lente Bicóncava materializada en acrílico con un índice de refracción de 1,49 y 17 mm de espesor, en las imágenes se muestra la validación de las medidas de las lentes, con un Vernier o Pie de Rey, comprobando las medidas establecidas en el diseño original. A su vez en la figura se puede apreciar la ubicación de los imanes de Neodimio que sirven para poder fijar las

lentes en superficies metálicas y así se puedan realizar las prácticas de laboratorio con mayor facilidad. La lente se muestra en la figura 12 y cabe recalcar que los imanes fueron colocados de tal forma que no interfiera en el paso del haz de los rayos láser y se pueda generar alguna falla cuando se realicen las prácticas de laboratorio.

*Figura 12: Lente bicóncava, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, distancia entre los vértices de 17mm y una distancia focal de -200 mm y longitud de 102 mm, verificados con un vernier.*



Habiendo concluido con la lente bicóncava, se procederá a trabajar en las siguientes 2 lentes propuestas para el sistema óptico, para lo cual se muestra el procedimiento adecuado.

### 2.1.1.2 Configuración de la lente biconvexa o lente positiva:

Ahora nuevamente como se trabajó en la parte anterior, en esta parte se va a diseñar una lente positiva de material acrílico con índice de refracción conocido de 1,49 y distancia entre los vértices en este caso de 21mm, además de una distancia focal de 200 mm ya que es una lente positiva y aplicando nuevamente la ecuación 10:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(n - 1)^2 \cdot d}{n \cdot R_1 \cdot R_2}$$

Siguiendo el proceso anterior ya definido, se obtiene el radio de curvatura de 192,5 mm y ahora se procede a diseñar la lente en el software para lo cual seguiremos los siguientes pasos y tomando en cuenta que el Software OSLO EDU 6.6 está en el idioma inglés como anteriormente ya se había indicado.

Para ello el procedimiento desarrollado en esta parte, es similar al de la sección “a”; realizando variaciones que se indicarán y estarán de acuerdo a la naturaleza de la lente biconvexa.

#### A. Paso 1: Abrir Oslo y crear un nuevo archivo de diseño óptico.

Como se realizó anteriormente, hay que abrir el programa y una vez dentro de él, voy al menú principal y selecciono “File → New Lens” para iniciar un nuevo diseño óptico.

#### B. Paso 2: Configurar las Condiciones Iniciales del Sistema.

Ahora al abrir el archivo de lente, se observa la tabla de “Surface Data” donde se procede a configurar las superficies ópticas. Los valores iniciales que se introdujeron y que definen el nuevo sistema óptico completo, se muestran a continuación.

- i. **Superficie 0: OBJ (Objeto)**
  - a. **Radius (Radio):** 0
  - b. **Thickness (Grosor):** 1 E+20
  - c. **Aperture Radius (Radio de Apertura):** 1 E+14
  - d. **Glass (Material):** AIR (Aire)
- ii. **Superficie 1: AST (Lente Convexa)**
  - a. **Radius (Radio de Curvatura):** 192,5

- b. **Thickness (Grosor): 40**
    - c. **Aperture Radius (Radio de Apertura): 51**
    - d. **Glass (Material): ACRYLIC**
    - e. **Special (Opciones Especiales): F**
  - iii. **Superficie 1.2: (Lente Convexa)**
- iv. **Radius (Radio de Curvatura): -192,5**
  - a. **Thickness (Grosor): 40**
  - b. **Aperture Radius (Radio de Apertura): 51**
  - c. **Glass (Material): AIR**
- v. **Superficie 2: IMS (Imagen)**
  - a. **Radius (Radio de Curvatura): 0**
  - b. **Thickness (Grosor): 1 E+20**
  - c. **Aperture Radius (Radio de Apertura): 1 E+14**
  - d. **Glass (Material): AIR**

### **C. Paso 3: Ajustar Otros Parámetros del Sistema**

Nuevamente como se puede apreciar en la parte superior de la tabla de Surface Data se pueden observar varios parámetros importantes.

- i. **Ent Beam Radius (Radio del haz de entrada): 30**
- ii. **Field Angle (Ángulo de Campo): 0,0000572957795**
- iii. **Primary Wavelength (Longitud de onda primaria): 0,656273**

### **D. Paso 4: Guardar y Ejecutar el Diseño**

Ahora tal cual se realizó en la parte anterior, una vez ingresado todos los parámetros, se guarda el trabajo, siguiendo los siguientes pasos, vamos a "File → Save Lens As" para guardar el archivo. Todos los parámetros descritos se muestran en la figura 13 y la nueva lente Positiva o Biconvexa, diseñada, se muestra en la figura 14.

Figura 13: Parámetros establecidos para la configuración de la lente biconvexa en el software OSLO EDU.

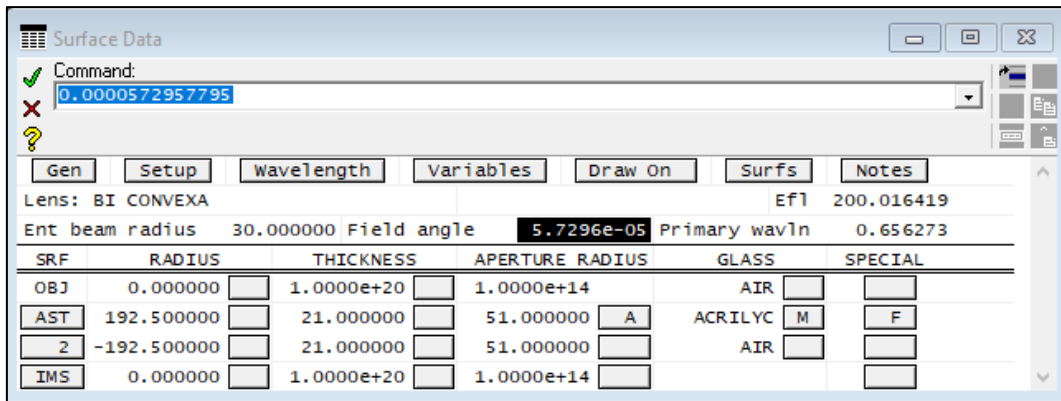
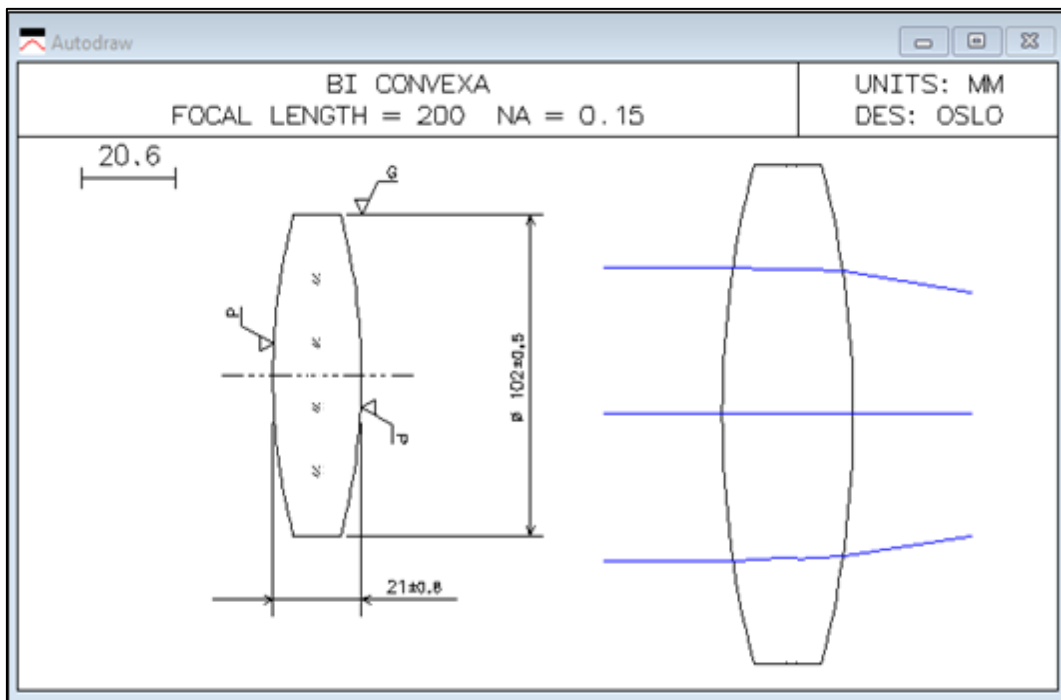


Figura 14: Diseño de la lente biconvexa, con distancia focal de 200 mm, en el software OSLO EDU.

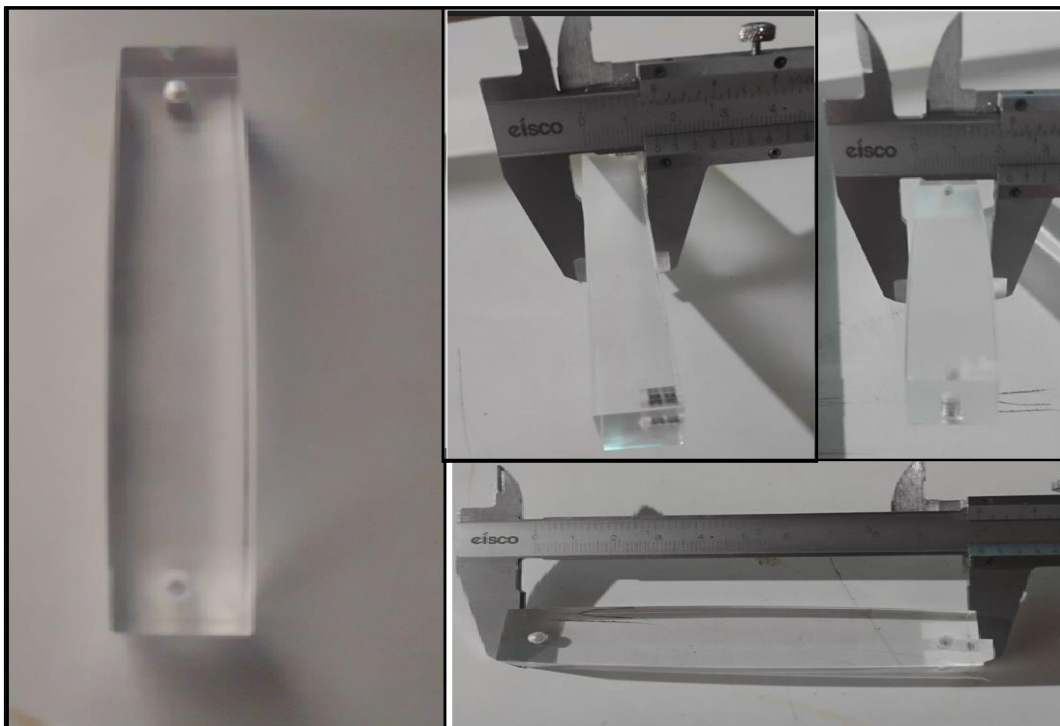


Después de haber realizado el diseño óptico de la lente biconvexa en el software OSLO EDU 6.6, de igual forma como se hizo con la lente anterior, se procedió a su fabricación física. A partir de los parámetros obtenidos de distancia focal, radios de curvatura, índice de refracción y separación entre vértices, se elaboró una lente simétrica usando nuevamente acrílico transparente de 17 mm de espesor, material elegido por su buena transmitancia, facilidad de mecanizado y resistencia, como ya antes se había explicado.

Nuevamente el proceso incluyó corte láser de ambas superficies convexas conforme a las especificaciones del modelo computacional, garantizando un comportamiento óptico convergente.

Además, nuevamente se incrustaron pequeños imanes de neodimio en los extremos de la lente, lo que permite fijarla fácilmente a pizarras u otras superficies metálicas, facilitando su uso en posición vertical sin estructuras adicionales, tal como ya se había explicado y sobre todo tomando en cuenta que los imanes no afecten a los rayos láser con los cuáles se trabajará en las prácticas de laboratorio. La lente se muestra en la figura 15.

*Figura 15: Lente biconvexa, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, distancia  $d$  entre los vértices de 21 mm y una distancia focal de -200 mm y longitud de 102 mm, verificados con un vernier.*



Habiendo culminado la lente biconvexa, se procede a dar las especificaciones para la realización de la lente plano convexa, para la cual se seguirán las siguientes indicaciones.

### **2.1.1.3 Configuración de la lente Plano convexa:**

Continuando, en esta parte se va a diseñar la lente plano convexa de igual forma de material acrílico con índice de refracción de 1,49 y en este caso con un largo de 144 mm, un radio de apertura de 72mm, para lo cual el procedimiento desarrollado para este caso, es similar al de las secciones anteriores, pero realizando variaciones para la naturaleza de la lente plano convexa.

#### **A. Paso 1: Abrir Oslo y crear un nuevo archivo de diseño óptico.**

Como en los casos anteriores, una vez dentro del programa, me dirijo hacia el menú principal y selecciono “File → New Lens” para iniciar un nuevo diseño óptico.

#### **B. Paso 2: Configurar las Condiciones Iniciales del Sistema.**

Al abrir el archivo de lente, se observa la tabla de 2Surface Data” donde se procede a configurar las superficies ópticas. Los valores iniciales que se introdujeron y que definen el sistema óptico completo, se muestran a continuación.

- i. Superficie 0: OBJ (Objeto)**
  - a. Radius (Radio): 0**
  - b. Thickness (Grosor): 1 E+20**
  - c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 1 E+14**
  - d. Glass (Material): AIR (Aire)**
- ii. Superficie 1: AST (Lente Convexa)**
  - a. Radius (Radio de Curvatura): 72**
  - b. Thickness (Grosor): 72**
  - c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 72**
  - d. Glass (Material): ACRYLIC**
  - e. Special (Opciones Especiales): F**
- iii. Superficie 1.2: (Lente plana)**
  - a. Radius (Radio de Curvatura): 0**
  - b. Thickness (Grosor): 72**
  - c. Aperture Radius (Radio de Apertura): 72**
  - d. Glass (Material): AIR**

- iv. **Superficie 2: IMS (Imagen)**
  - a. **Radius (Radio de Curvatura): 0**
  - b. **Thickness (Grosor): 1 E+20**
  - c. **Aperture Radius (Radio de Apertura): 1 E+14**
  - d. **Glass (Material): AIR**

**C. Paso 3: Ajustar Otros Parámetros del Sistema**

En la parte superior de la tabla de “Surface Data” se pueden observar varios parámetros importantes, que de igual forma como los casos anteriores se detallan a continuación.

- i. **Ent Beam Radius (Radio del haz de entrada): 40**
- ii. **Field Angle (Ángulo de Campo): 0,0000572957795**
- iii. **Primary Wavelength (Longitud de onda primaria): 0,656273**

**D. Paso 4: Guardar y Ejecutar el Diseño**

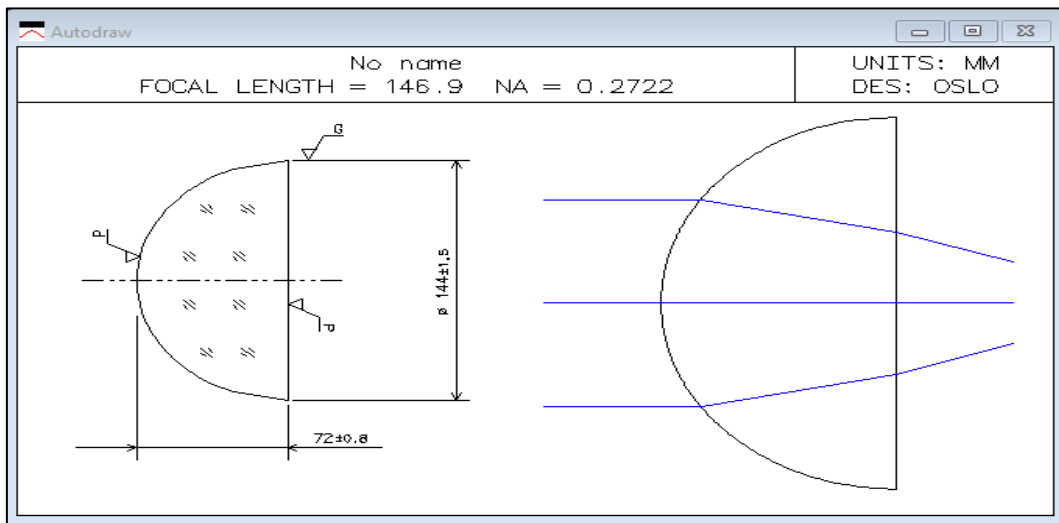
Una vez ingresado todos los parámetros, se guarda el trabajo. Ve a File → Save Lens As para guardar el archivo.

Ahora los parámetros descritos se muestran en la figura 16 y la lente plano convexa diseñada para el sistema óptico, se muestra en la figura 17.

Figura 16: Parámetros establecidos para la configuración de la lente Planoconvexa en el software OSLO EDU.

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.0000e+14	AIR	
AST	72.000000	72.000000	72.000000	ACRILYC	M F
2	0.000000	72.000000	72.000000	AIR	
IMS	0.000000	1.0000e+14	1.0000e+14		

Figura 17: Diseño de la lente Planoconvexo en el software OSLO EDU.



Culminar el lente planoconvexo, en acrílico de 17 mm de espesor, me permitió transformar el diseño teórico que se tenía previsto en un objeto funcional, tangible y didáctico, como se realizó con las lentes anteriores. El uso del acrílico no solo facilita su construcción, además, también ofrece una buena transparencia óptica para observar con claridad el comportamiento de la luz.

Este trabajo resalta la importancia de vincular el modelado computacional con la fabricación física, donde la precisión en el espesor y la geometría propia de la naturaleza de las lentes, garantiza que la lente cumpla su propósito, el cual es demostrar cómo una sola curvatura puede concentrar la luz, abriendo camino a la comprensión de fenómenos ópticos desde lo concreto. La verificación de las medidas del diseño de la lente se muestra en la figura 18.

Figura 18: Lente planoconvexo, materializada de acrílico con índice de refracción de 1.49, longitud de 144 mm, verificados con un vernier.



En esta parte del trabajo tuve que definir y ajustar cuidadosamente las características geométricas y ópticas de las lentes que serán utilizadas en las prácticas, lentes bicóncavas o también conocidas como negativas, biconvexas o positivas, y plano convexo.

La elección de este tipo de lentes no fue arbitraria, sino que responde a criterios tanto didácticos como funcionales, buscando facilitar la comprensión de los principios de la óptica geométrica por parte del estudiante, tomando en cuenta que tanto en la bibliografía como en las experimentaciones de óptica geométrica son las lentes más comunes y usadas.

Para realizar este diseño, se empleó el software OSLO EDU versión 6.6, como ya se había mencionado, que permitió configurar y analizar parámetros clave como el radio de curvatura, el grosor, la apertura y el tipo de material. Todos estos aspectos no solo se ajustan en función de propiedades ópticas ideales, sino también teniendo en cuenta la viabilidad práctica en el aula y su integración con el sistema propuesto.

Uno de los factores determinantes que se tomó en cuenta en todo momento, fue el uso previsto de un Pentaláser como fuente de

luz en las prácticas, este tipo de láser requiere lentes de dimensiones adecuadas para permitir una correcta visualización y análisis de los rayos incidentes y refractados, justamente es por eso que se optó por lentes de un tamaño lo suficientemente amplio, como para que los estudiantes puedan observar con claridad los fenómenos de refracción sin dificultad y su correcta manipulación; además este tamaño contribuye a una interacción más intuitiva y concreta durante las experiencias en laboratorio.

También cabe resaltar que las formas seleccionadas de las lentes corresponden a las más representativas en el estudio de la óptica geométrica, éstas son las que tradicionalmente se utilizan para explicar conceptos fundamentales como la convergencia, divergencia, y el comportamiento de los rayos en distintos medios, aplicaciones de la Ley de Snell, por lo tanto, su inclusión asegura que las prácticas estén alineadas con los contenidos esenciales del área y que el aprendizaje sea lo más claro, visual y efectivo posible.

En resumen se puede decir que, las medidas y formas elegidas para estas lentes no solo responden a consideraciones teóricas, sino también a una intención científica pensada, la cual es facilitar la observación, mejorar la manipulación del material, y lograr que los estudiantes logren comprender con mayor profundidad los principios que rigen la propagación de la luz a través de distintos sistemas ópticos, conceptos teóricos que comúnmente son complejos de comprender, si no van acompañados de experimentaciones factibles.

## 2.1.2 Etapa 2: Diseño, ensamblaje y validación del circuito regulador de voltaje:

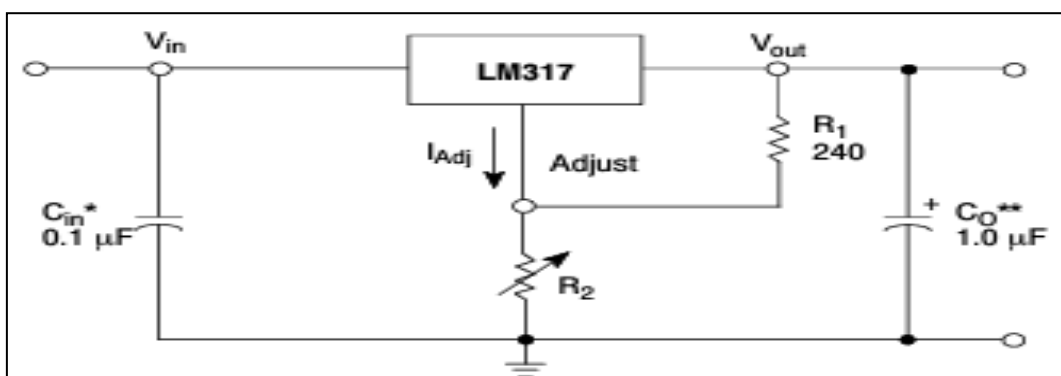
Habiendo finalizado el diseño y ensamblaje físico del sistema óptico, el cual es una de las partes fundamentales en el desarrollo de este proyecto multidisciplinario, que fusiona la electrónica y la óptica geométrica, se procede a la implementación de un circuito electrónico basado en el regulador de voltaje LM317, el cual tendrá como función principal de alimentar con precisión 5 diodos láser con control individual para pruebas experimentales y que en conjunto forma el Pentaláser.

El diseño de este Pentaláser fue validado mediante pruebas de continuidad eléctrica, emisión controlada cada uno de los láseres, niveles de luminosidad de igual forma de cada laser, que fue la prueba determinante para tener un pentaláser homogéneo, además de la estabilidad en las condiciones operativas.

### 2.1.2.1 Diseño del circuito electrónico:

El circuito implementado es una modificación del circuito original de la ficha de datos del regulador de voltaje LM317, sabiendo que este regulador tiene un voltaje operacional desde los 1,2 hasta los 37 voltios y una corriente de salida regulada a partir de los 1500 mili amperios.

Figura 19: Circuito básico de funcionamiento del LM317.

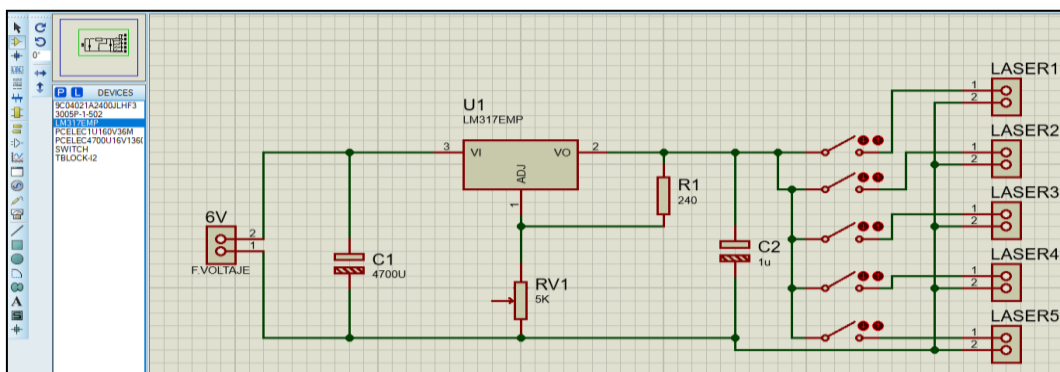


Haciendo uso del software computacional para circuitos eléctricos Proteus 8 Profesional; al circuito se le implementa un cambio en el capacitor de entrada  $C_{in}$ .

Se sustituye el capacitor de  $0,1 \mu F$  por uno de  $4700 \mu F$ , con la finalidad de aumentar significativamente la capacidad de filtrado y almacenamiento de energía en la entrada del regulador. Esto resulta en una mejor estabilidad en la salida del regulador para la alimentación en los diodos laser.

Se agrega los switch on/off, para el control independiente de los diodos laser y a su vez borneras para el fácil reemplazo de los laser en caso sea necesario; quedando finalmente el circuito como se muestra en la figura 20.

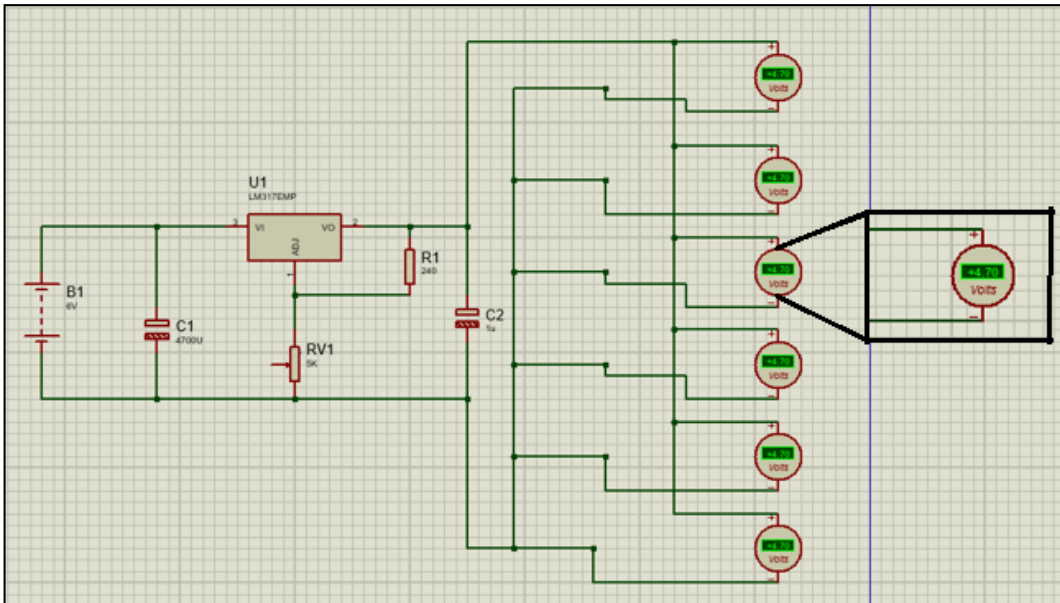
Figura 20: Circuito para el funcionamiento de los 5 diodos láser rojo  $5v/650nm/5mW/6mm$ , diseñado en Proteus 8 Profesional.



Ahora se procede a realizar la simulación del circuito, y se obtiene un voltaje suministrado a cada uno de los 5 diodos de 4,7 voltios, suficientes para el buen funcionamiento de estos diodos láser, los cuales tienen un voltaje de operación, de acuerdo a su hoja de datos, de 3 a 5 voltios.

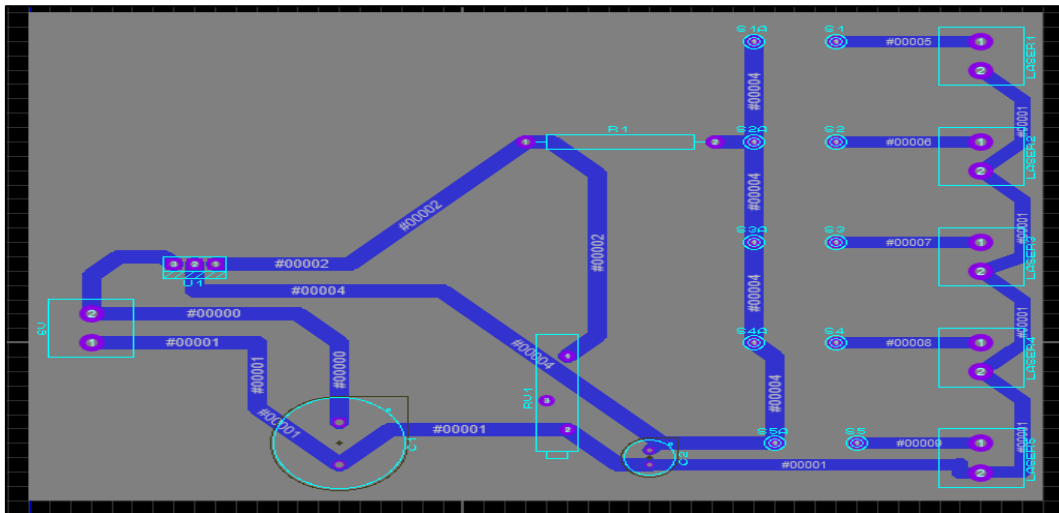
Todos estos resultados se pueden verificar y apreciar en la figura 21, en la cual se muestra las mediciones mencionadas.

Figura 21: Simulación del Circuito para el funcionamiento de los diodos láser rojo5v/650nm/5mW/6mm, diseñado en Proteus 8 Profesional.



Habiendo comprobado el correcto funcionamiento del circuito, se procede a generar la placa para el circuito impreso, tal como se muestran en la figura 22.

Figura 22: Rutas para la placa impresa del circuito para el funcionamiento de los diodos láser rojo5v/650nm/5mW/6mm, diseñado en Proteus 8 Profesional.



### **2.1.2.2 Ensamblaje del circuito regulador de voltaje para el funcionamiento de los diodos láser rojo 650nm 5mW 5V 6mm:**

Habiendo desarrollado las bases físicas necesarias para sustentar el diseño del circuito electrónico encargado del funcionamiento de los láseres que forman parte del sistema experimental propuesto y habiendo verificado los principios físicos relacionados con la emisión láser y su control mediante dispositivos electrónicos, lo cual permitió establecer criterios técnicos razonables para la elección de los componentes y gracias a este análisis se definieron los materiales que serían utilizados, además se elaboró el esquema eléctrico correspondiente y se realizó el diseño de la placa de circuito impreso (PCB), lo que permitió contar con una base técnica que sirviera como guía para el desarrollo del sistema. Todas estas condiciones, fueron tomadas tomando en cuenta no solo los aspectos teórico realizados, sino también las condiciones reales para la implementación del circuito.

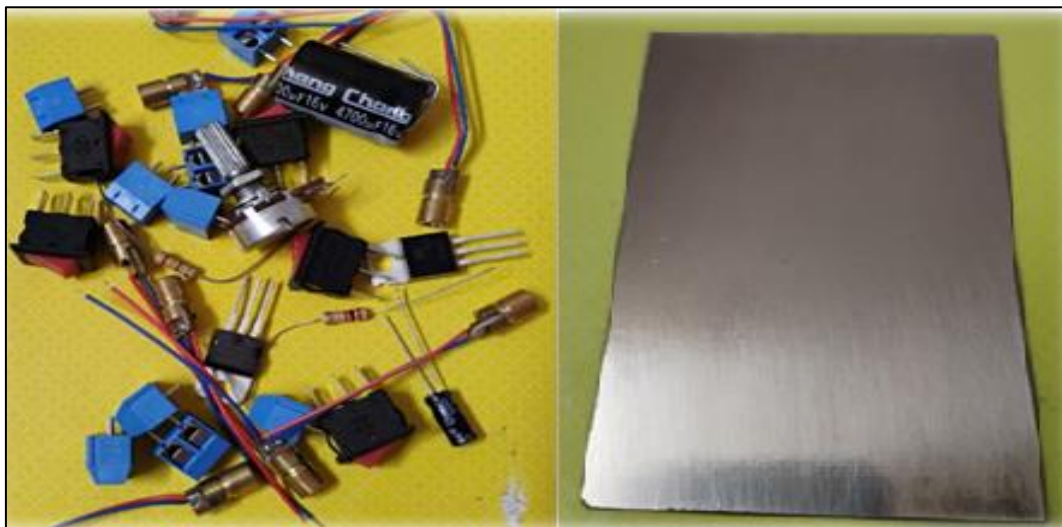
Por lo tanto en esta parte el objetivo principal de esta parte de la tesis es describir el proceso de ensamblaje del circuito electrónico, que fue previamente diseñado en Proteus 8 profesional, tomando en cuenta la correcta conexión de los componentes electrónicos y en la estabilidad del montaje físico. Este aspecto es una parte muy importante en el proceso, porque la mala implementación de los dispositivos electrónicos, afectarían el desempeño general del sistema, a pesar de que el planteamiento teórico sea el correcto. Además, en esta etapa también se verifica, el correcto funcionamiento del circuito alimentador de los láseres, evaluando la correcta distribución de corriente y la emisión de los rayos láser, lo cual es necesario para el posterior uso de las prácticas de laboratorio a realizar.

La relevancia principal de esta etapa, es permitir concretar la realización de lo establecido teóricamente, en las etapas anteriores, pasando de un diseño conceptual a la construcción de un prototipo funcional. Esta parte es muy importante y relevante para mi tesis, ya

que hace posible evaluar concretamente la funcionalidad real del diseño propuesto y contrastar los resultados con los esperados teóricamente. De esta manera, se verifica la relación entre la teoría y la práctica, lo que facilita la evaluación del funcionamiento del circuito e identificar los posibles ajustes y mejorarlos, hasta llegar a su correcto funcionamiento.

La metodología empleada para el ensamblaje del circuito, se desarrolló siguiendo un procedimiento ordenado y coherente, de acuerdo a los diseños establecidos en la parte teórica. En primer lugar, se verifico que todos los componentes sean los adecuados de acuerdo al diseño teórico, así como sus polaridad y valores nominales. También la ubicación de cada componente en la placa impresa, fue un factor determinante, ya que esta revisión eliminó la posibilidad de fallas en el funcionamiento del circuito electrónico, verificando su correcta funcionalidad.

*Figura 23: Implementos electrónicos para el ensamblaje del circuito.*



Para la elaboración de la placa del circuito, se procede a limpiar la baquelita con una esponja de microfibra metálica, hasta dejarla limpia y sin impurezas, como se muestra en la Figura 23, para después transferir el diseño obtenido en Proteus, mediante el uso de un plumón indeleble negro, tal como se muestra en la Figura 24(a). En este procedimiento se toma en cuenta las dimensiones, las rutas

conductoras y la disposición general de todos los componentes electrónicos y sobre todo que coincidan con el esquema electrónico propuesto. Durante esta etapa se tuvo especial cuidado en seguir el diseño original, ya que una transferencia imprecisa podía generar errores posteriores en el proceso de grabado del circuito. Realizar correctamente esta transferencia fue importante, ya que cualquier error en esta etapa podía generar cortes o fallas en las pistas durante el proceso de grabado.

Una vez dibujado el circuito sobre la baquelita, se procedió al grabado de la placa utilizando ácido férrico, tal como se observa en la Figura 24(b). La placa se mantuvo sumergida en la solución por un tiempo aproximado de 8 minutos, verificando periódicamente, periodo durante el cual el reactivo químico eliminó el cobre no protegido por el plumón, como se aprecia en la Figura 24(c). El tiempo de exposición fue controlado mediante observación directa del proceso, con el objetivo de evitar un grabado excesivo que pudiera reducir el ancho de las pistas y afectar la continuidad eléctrica del circuito.

Finalizado el grabado, la placa fue limpiada nuevamente, empleando una esponja de microfibra metálica, retirando los restos de plumón y los residuos de cobre hasta dejar las pistas visibles y mejor definidas, tal como se muestra en la Figura 24(d). Esta etapa permitió obtener una superficie más adecuada para la posterior soldadura de los componentes electrónicos, reduciendo la presencia de impurezas que podrían dificultar la correcta adherencia del estaño.

Posteriormente, se realizaron las perforaciones correspondientes a los puntos de inserción de los componentes electrónicos utilizando una broca de 0,6 mm de diámetro. La elección de este diámetro se basó en el tamaño de los terminales de los componentes empleados, lo que facilitó su inserción y una fijación más segura durante el proceso de soldadura. Los orificios se realizaron siguiendo la disposición indicada en el diseño del PCB, asegurando la correcta ubicación de cada elemento del circuito, como se presenta en la Figura 24.

Para este proceso, se optó por utilizar un método de grabado artesanal para la fabricación de la placa, principalmente por la simplicidad del circuito, ya que este no presenta rutas complejas ni una alta densidad de componentes. Esta decisión permitió poner en práctica los conocimientos adquiridos en el curso de Física Instrumental I, además de facilitar el trabajo durante la fabricación y el control de cada una de las etapas del proceso y resultó una alternativa práctica para la construcción del prototipo. Además, este método facilitó la realización de pequeños ajustes durante el ensamblaje y permitió un mayor control directo sobre las distintas etapas del proceso de fabricación del circuito.

*Figura 24: (a) Circuito dibujado en la baquelita; (b) Grabado artesanal del circuito; (c) Circuito grabado artesanalmente; (d) Circuito limpio; (e) Perforaciones en el circuito.*

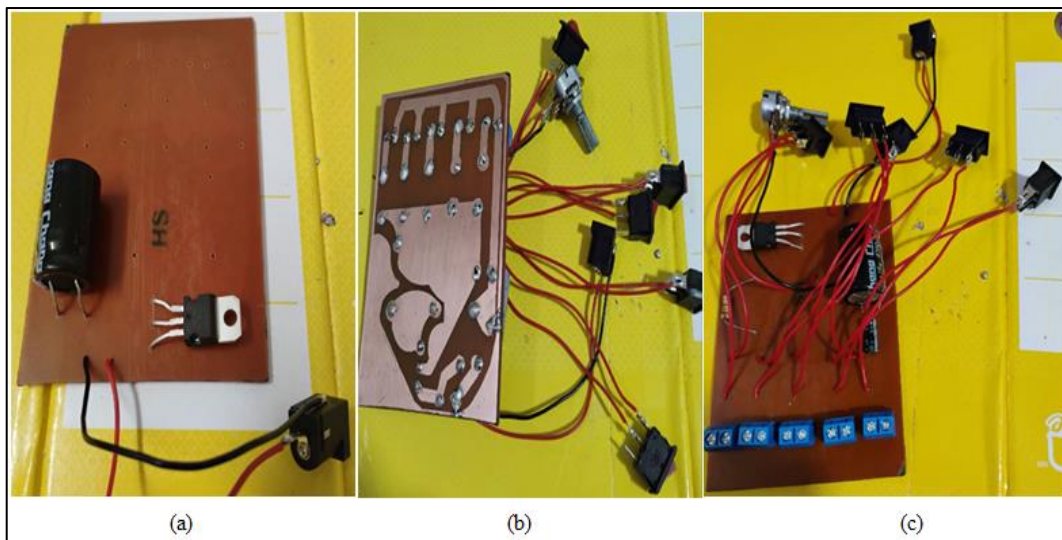


Posteriormente se realizó el montaje físico del circuito, siguiendo las especificaciones técnicas definidas en la etapa de diseño y prestando atención a la correcta ubicación de los componentes electrónicos sobre la placa de circuito impreso. Todo este procedimiento se llevó a cabo siguiendo estrictamente el diseño planteado y empezando por todos los elementos electrónicos que van al raz de la baquelita, facilitando el montaje y la soldadura de los mismos durante el proceso.

Las conexiones eléctricas de los diodos láser, ya que se les tuvo que agregar cables, se realizaron de forma cuidadosa, evitando exponer por mucho tiempo al calor a los implementos electrónicos, para evitar fallas futuras en su funcionamiento, se verificó que las uniones sean firmes y eléctricamente estables.

También se verificó que todos los elementos electrónicos queden fijamente alineados sobre la placa, de manera que el circuito mantenga una estabilidad durante la manipulación y el funcionamiento. Este aspecto fue importante para disminuir la probabilidad de fallas mecánicas o eléctricas durante el funcionamiento del circuito, además de facilitar posteriores tareas de revisión o mantenimiento. El resultado final del montaje físico del circuito, junto con la disposición de los componentes y las conexiones realizadas, se presenta en la Figura 25.

*Figura 25: (a) Inicio de ensamblado del circuito; (b) Circuito listo para la implementación de los diodos láser, vista inferior; (c) Circuito listo para la implementación de los diodos laser, vista superior.*



Al finalizar el ensamblado total del circuito se procedió a realizar las pruebas de operatividad, empezando por la prueba de continuidad, haciendo uso de un multitéster digital, verificando la correcta conexión de todas las piezas electrónicas, siguiendo el diseño planteado. Esta prueba en general, permite identificar y descartar las posibles fallas en las conexiones, tales como cortes en las pistas o la deficiencia en las soldaduras, de esta manera me aseguré de que el circuito electrónico funcionara integralmente, y así poder energizarlo sin problemas imprevistos.

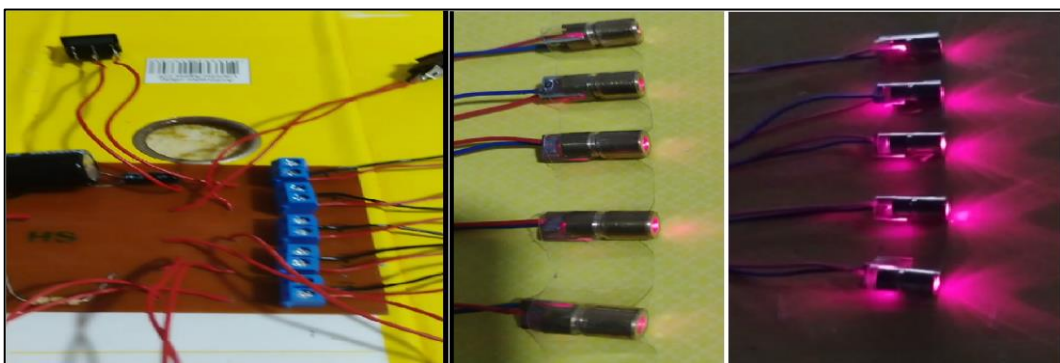
Después de haber confirmado la continuidad en todo el circuito, se procedió a energizarlo con una fuente de voltaje de 9 Voltios y 1

amperios, previamente establecida y así evaluar el comportamiento bajo condiciones normales de funcionamiento. En esta prueba se verificó el encendido y apagado individual de cada uno de los diodos láser, de acuerdo a lo previsto en el diseño. Así mismo, en ese momento se evaluó la estabilidad de emisión de los rayos láser, comprobando que es continuo y no hay interrupciones en su emisión, evitando fallos posteriores en los elementos de control.

Para poder contar con evidencia del correcto funcionamiento del circuito en esta etapa, se documentó este proceso mediante evidencia fotográfica, permitiendo contar con un respaldo visual del correcto funcionamiento del circuito alimentador de los diodos láser, lo cual sirvió como soporte del proceso de implementación y para continuar con las posteriores pruebas de luminosidad del circuito.

En síntesis, la metodología aplicada en esta etapa, verifica el correcto ensamblaje del circuito, las cuales fueron corroboradas con las pruebas respectivas realizadas y sobre todo el funcionamiento eficaz que permite mostrar la operatividad y desempeño general del sistema electrónico diseñado para las pruebas de laboratorio. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y corrobora que el diseño cumple con los objetivos planteados en esta parte del trabajo, tal como se muestra en la Figura 26.

*Figura 26: Pruebas de funcionamiento de los diodos láser implementados con el circuito regulador de voltaje a base del LM317.*



Al llegar a finalizar esta etapa del ensamblado del circuito alimentador de los diodos láser, se verifica su correcta operatividad, obteniendo resultados satisfactorios en las pruebas realizadas, este

proceso fue importante porque se aplicaron técnicas experimentales aprendidas durante los estudios realizados en los cursos de instrumentación y sobre todo llegar a concluir con satisfacción el diseño y construcción de la parte electrónica del sistema para la realización de prácticas de laboratorio en óptica geométrica, en los niveles básico e intermedio. La metodología aplicada en esta fase fue la adecuada de acuerdo a la naturaleza de la tesis, respalda y verifica el correcto funcionamiento del sistema.

Cabe resaltar que en lo siguiente se le implementará una caja de acrílico, para la protección del circuito y mejor manipulación del encendido de los diodos laser.

## **2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA:**

**2.2.1 Población:** Estudiantes del Quinto grado de secundaria, de un colegio ubicado en el Distrito de Santa María de la Provincia de Huaura, del departamento de Lima.

**2.2.2 Muestra:** 25 alumnos del quinto grado, de la sección B del curso de Física.

Con el grupo de los 25 estudiantes, se realizará la validación de la intensidad lumínica de cada diodo láser del Pentaláser, con la finalidad de poder verificar y evitar datos erróneos en las prácticas de laboratorio que se realizarán con el sistema óptico.

Todo este proceso se determinó realizarlo en conjunto con los estudiantes, con la finalidad de que forme parte de su formación y experiencia académica, la muestra de validación de instrumentos y procesos experimentales, es un tema que es importante en el área de ciencias puras y cabe resaltar que fue una experiencia enriquecedora para los jóvenes que aprendieron sobre las buenas prácticas de laboratorio y que todo instrumento o proyecto realizado debe pasar por un proceso de verificación para consolidar su correcto funcionamiento.

Además, se les realizó una práctica complementaria a los temas estudiados de óptica, haciendo uso del sistema óptico experimental diseñado y construido, conformado por el conjunto de lentes diseñados en OSLO EDU 6.6 y el Pentalaser, para prácticas de laboratorio de nivel básico e intermedio.

## **2.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES Y VERIFICACIÓN:**

### **2.3.1 Validación de la intensidad luminosa de los diodos láser en el Pentaláser:**

En este apartado para realizar la validación del funcionamiento del Pentaláser con control individual, he realizado mediciones de la intensidad luminosa emitida por cada haz de láser, directamente hacia un luxómetro de la marca Vernier, cabe resaltar que el luxómetro se empleó como instrumento de comparación relativa entre los láseres con igual longitud de onda, este luxómetro funciona conectado a su vez a la interfaz Lab Quest 2, de la misma marca y cuenta con un valor de incertidumbre instrumental de  $\pm 1$  lux, es por ello que la hace idónea para poder realizar estas pruebas.

Este sistema para la validación, se montó sobre un arreglo conformado por un soporte universal con pinza metálica, asegurando la alineación del haz láser y verificando que incida directamente sobre el sensor del luxómetro, tal como se muestra en la Figura 27. También previamente se realizó la calibración del instrumento a cero, para compensar el efecto de la luz ambiental y evitar cálculos erróneos.

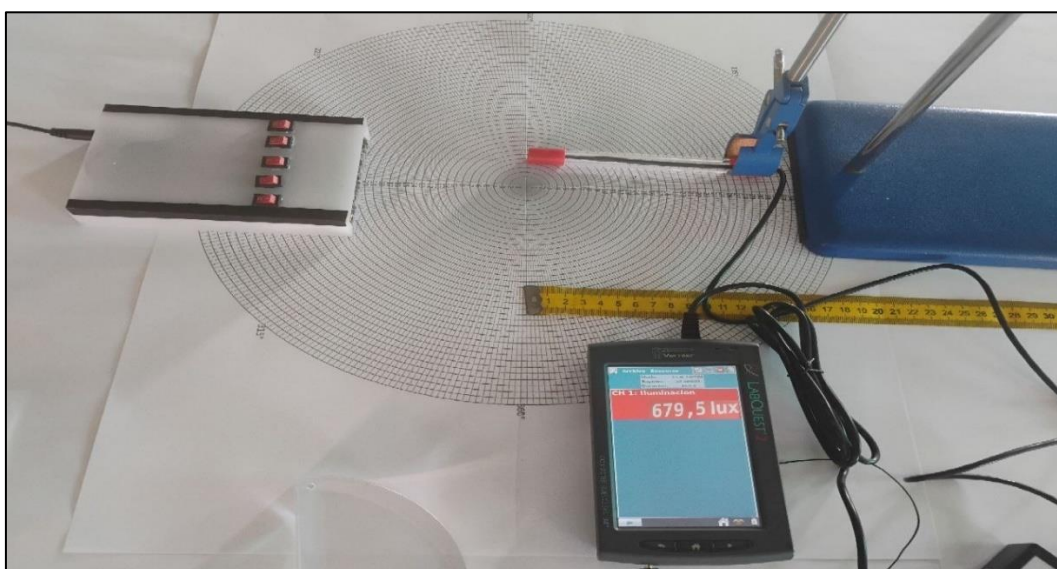
Teniendo todo listo, se activaron los láseres uno por uno y se registraron los valores de intensidad de la iluminación, verificando que estos resultados que mostraron una lectura constante de  $679,5 \pm 1$  lux para cada diodo laser, como se muestra el registro en la tabla 06, indicando así un comportamiento uniforme entre los rayos láser. Este procedimiento, que se muestra, permite corroborar la estabilidad luminosa y el correcto funcionamiento del circuito electrónico de alimentación de los láseres del sistema Pentaláser trabajado en los apartados anteriores, así evitando fluctuaciones en los resultados, al

realizar las experimentaciones con las lentes diseñadas en el software OSLO EDU 6.6.

Tabla 2: Medición de la intensidad luminosa de cada diodo láser.

N.º de diodo láser	Lectura del luxómetro (lux)	Incertidumbre instrumental ( $\pm$ lux)
1	679,5	$\pm 1$
2	679,5	$\pm 1$
3	679,5	$\pm 1$
4	679,5	$\pm 1$
5	679,5	$\pm 1$

Figura 27: Sistema para las pruebas de la medición de luminosidad de los diodos laser



Como se había explicado anteriormente, en la figura 27 se observa el sistema experimental utilizado para la validación del Pentálaser con control individual de encendido, el cual está ubicado a la izquierda de la imagen, compuesto por un circuito electrónico basado en el regulador de voltaje LM 317 y 5 diodos láser de haz rojo, con longitud de onda de 650 nm y además se le construyó una caja de acrílico blanco para su recubrimiento y protección, como ya antes se había especificado, cuenta con 5 interruptores que permiten activar cada diodo láser de manera independiente, que se usarán de acuerdo a la naturaleza de la práctica de laboratorio a realizar.

En la superficie de trabajo, se dispone de una plantilla dividida en ángulos sexagesimales, que será usada para poder controlar la

desviación del haz de láser al pasar por las lentes en las diferentes experimentaciones y en esta parte, permitió verificar correctamente la alineación de propagación del haz de luz emitido hacia el sensor.

El luxómetro Vernier, conectado a la interfaz Lab Quest 2, en el cual incide directamente el haz láser, como se puede observar también en la figura 27, se encuentra a la derecha del montaje y registra la intensidad luminosa en unidades de lux, también se muestra la lectura en la pantalla, que es de 679,5 lux, correspondiente a la medición de los diodos láser, como ya se había indicado.

Para evitar que el sensor se desvíe, se precisó que, esté sostenido mediante un soporte universal con pinza metálica, que fija al luxómetro en posición horizontal y directamente frente al Pentaláser, controlando así y verificado la correcta alineación con la plantilla sexagesimal.

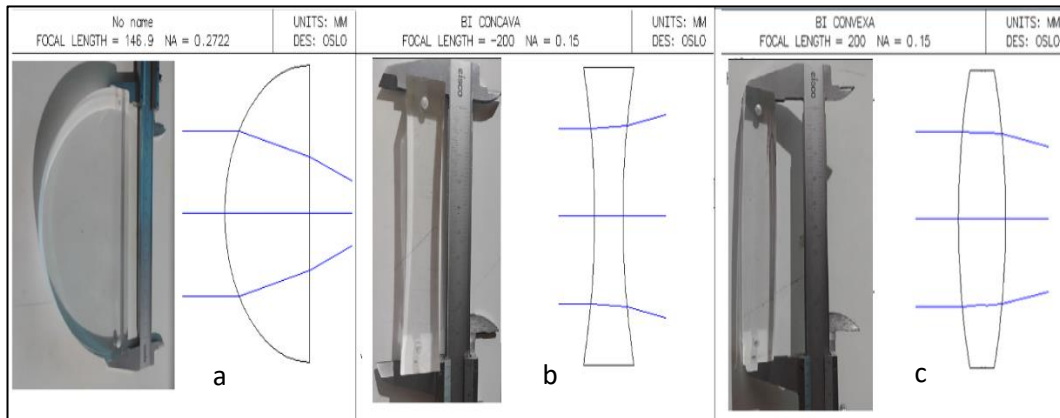
Todo este sistema permitió comprobar que los cinco diodos láser presentan la misma intensidad luminosa relativa, bajo las mismas condiciones experimentales controladas ya antes explicadas y obteniendo los resultados que se mostraron en la tabla 06.

### **2.3.2 Pruebas de las lentes ópticas:**

Ahora en esta parte y con el objetivo de poder comprobar la correcta materialización de las lentes diseñadas en el software OSLO EDU 6.6, procedí a efectuar los ensayos experimentales y así poder observar el comportamiento real de la difracción de los haces de láser que se realizan en el interior de cada una de las lentes y así poder compararlo con las simulaciones obtenidas anteriormente en el software.

Las pruebas realizadas fueron sobre las tres lentes ya diseñadas y a su vez materializadas, la planoconvexo, bicóncava y biconvexa, las cuales se pueden apreciar en la Figura 28 a, b y c respectivamente.

Figura 28: a: Lente plano convexa, b: Lente bicóncava, c: biconvexa.



En cada prueba se pudo determinar la distancia focal y el ángulo de desviación del haz de láser refractado, a fin de validar la correspondencia entre el diseño y el prototipo fabricado, tomando en cuenta que los lentes para el sistema óptico, se materializaron en acrílico, mediante corte láser industrial y tratamiento térmico para mejorar las deformaciones propias del corte.

A continuación, muestro los resultados para cada una de las lentes, de acuerdo a las pruebas experimentales realizadas.

### 2.3.2.1 Lente planoconvexo.

Para empezar, en este caso, para la comprobación experimental, los haces del Pentaláser se hacen que incidan sobre la superficie plana del lente planoconvexo, entonces, así poder observar el punto donde convergen, siendo este punto definido el foco de la lente, que, de acuerdo a el diseño en OSLO EDU 6.6, indica que tiene un valor de 146,9 mm.

Para tener un respaldo científico, se realizaron veinte mediciones independientes de la distancia focal, utilizando una regla graduada milimétrica, con precisión de  $\pm 0,5$  mm. Este procedimiento, se realizó incidiendo el haz de laser desde la cara plana, ya que de igual forma debe formarse el punto de convergencia, esto se muestra en la figura 29, la cual por resolución de la cámara y la iluminación propia del horario en la cual se realizó la práctica, los haces de los láseres no se aprecian con claridad, entonces por didáctica, se ha optado por realizar un repaso con una

línea roja y así claramente indicar el punto de convergencia que coincide con el foco de la lente.

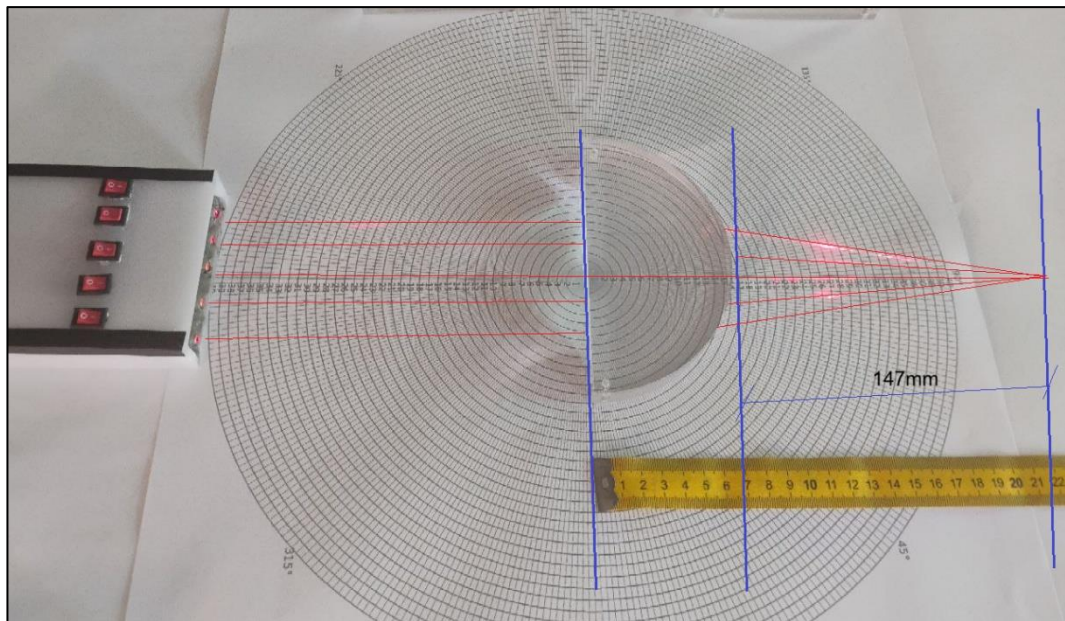
Los resultados de la toma de datos se muestran en la tabla 03, a su vez se realiza la propagación de incertidumbre de las mediciones, aplicando la desviación estándar muestral, el cual es un método matemático adecuado para este tipo de mediciones, verificando que la desviación de las mediciones está en un rango correcto para la experimentación.

*Tabla 3: Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Planoconvexo.*

<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia focal (mm)</b>	<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia focal (mm)</b>
1	147,0	11	147,4
2	146,3	12	147,1
3	146,8	13	147,3
4	147,2	14	146,5
5	147,0	15	147,2
6	146,9	16	146,3
7	146,1	17	147,4
8	147,2	18	147,6
9	146,8	19	147,0
10	146,3	20	147,5
<b>Promedio</b>	147 mm	<b>Desviación estándar</b>	±0,44 mm
<b>Valor teórico (OSLO):</b>			146,9 mm

Como se pudo verificar en la toma de datos mostrados en la tabla 03, las mediciones experimentales obtenidas están en un rango que va desde los 146,56 mm hasta los 147,44 mm; el cual es un rango aceptable, de tal forma que el valor indicado por el software OSLO EDU 6.6, se encuentra dentro de ese rango de valores. Es así como se verifica que la materialización del lente Planoconvexo, es correcta y adecuada para el sistema óptico formulado.

Figura 29: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Planoconvexo, donde se indica el foco en mm.



### 2.3.2.2 Lente biconvexa:

De igual manera al procedimiento anterior, pero en este caso para la lente biconvexa, también se efectuaron veinte repeticiones de la medición del foco, tomando en cuenta las mismas condiciones de iluminación y alineación, todos estos resultados se muestran en la tabla 04, además como se realizó en el procedimiento anterior, se incluye la propagación de la incertidumbre, aplicando la desviación estándar muestral, que como ya se ha mencionado anteriormente, es un método adecuado para este tipo de experimentaciones.

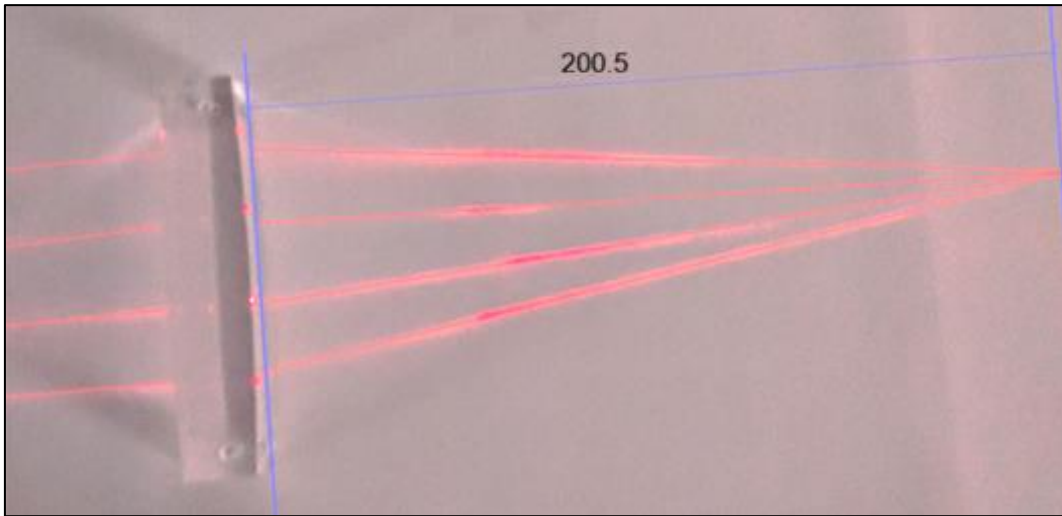
Este procedimiento se muestra en la figura 30, la cual al igual que la figura 29, por la resolución de la cámara e iluminación propia del horario en la cual se realizó la práctica, se ha editado repasando con una línea roja los haces del Penta láser y se indica el punto de convergencia que coincide con el foco de la lente, que, de acuerdo al diseño en OSLO EDU 6.6, tiene un valor de 200 mm.

Tabla 4: Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Biconvexa.

<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia focal (mm)</b>	<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia focal (mm)</b>
1	199,8	11	199,5
2	201,6	12	201,6
3	200,7	13	200,8
4	200,5	14	201,6
5	200,7	15	200,7
6	199,6	16	200,5
7	200,7	17	198,7
8	199,8	18	200,6
9	200,6	19	200,7
10	201,7	20	199,8
<b>Promedio</b>	200,5	<b>Desviación estándar</b>	±0,8 mm
<b>Valor teórico (OSLO):</b>			200 mm

Realizando el análisis de los resultados, se pudo verificar en la toma de datos mostrados en la tabla 04, que las mediciones experimentales obtenida están en un rango que va desde los 199,7 mm hasta los 201,3 mm, el cual nuevamente es un rango aceptable, de tal forma que el valor indicado por el software OSLO EDU 6.6, se encuentra dentro de ese rango de valores. Es así como se verifica que la materialización de la lente Biconvexa, es correcta y adecuada para el sistema óptico formulado.

Figura 30: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Biconvexa, donde se indica el foco en mm.



### 2.3.2.3 Lente bicóncava:

Ahora para el caso de la lente bicóncava, nuevamente se realizan veinte repeticiones como se ha venido trabajando en las experimentaciones, de igual manera también, sobre la imagen 31 se remarcará con líneas rojas las proyecciones de los mismos haces de los láseres, debido a que la localización del foco de la lente es virtual; es decir que la ubicación del foco de esta lente está en el mismo lado donde inciden los haces del láser y tomando en cuenta las mismas condiciones y alineación, estos resultados se muestran en la tabla 05, además como se realizó en los procedimientos anteriores, se trabajará la propagación de la incertidumbre, aplicando la desviación estándar muestral.

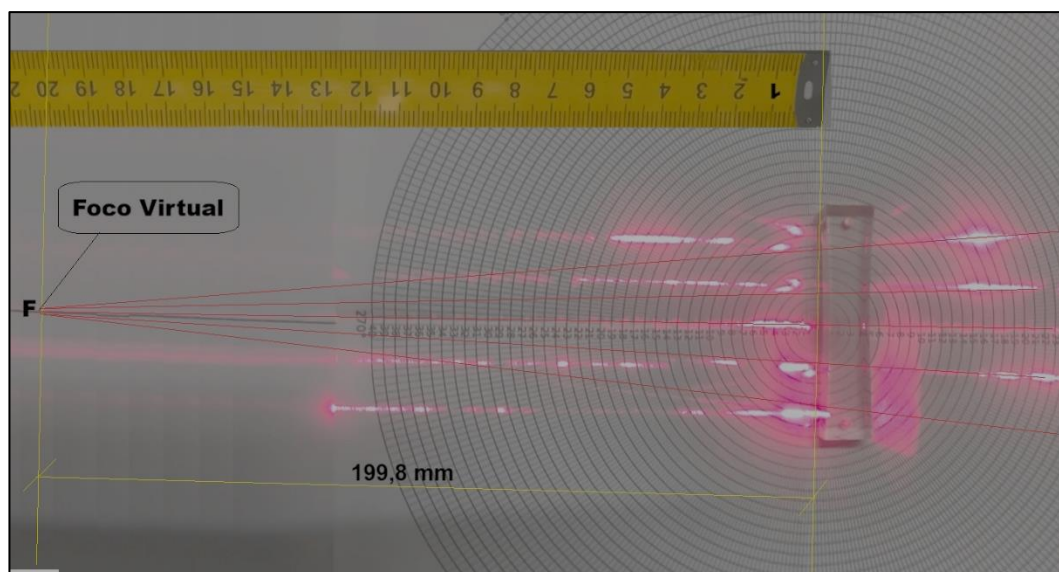
Este procedimiento se muestra en la figura 31, como ya se indicó, se toma en cuenta que por la naturaleza de que es un foco virtual, se ha trazado con líneas rojas los haces del Pentáláser proyectado y se indica el punto de convergencia que coincide con el foco virtual de la lente, que, de acuerdo al diseño en OSLO EDU 6.6, tiene un valor de  $-200$  mm, donde el signo negativo, justamente hace referencia a un punto virtual.

Tabla 5: Toma de datos de la medición de la distancia focal en la lente Bicóncava.

<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia virtual focal (mm)</b>	<b>N.º de medición</b>	<b>Distancia virtual focal (mm)</b>
1	-197,8	11	-199,4
2	-199,6	12	-199,6
3	-198,7	13	-199,8
4	-200,1	14	-200,8
5	-200,7	15	-198,6
6	-199,6	16	-201,5
7	-198,7	17	-199,8
8	-199,8	18	-198,5
9	-201,6	19	-199,6
10	-201,4	20	-200,8
<b>Promedio</b>	-199,8	<b>Desviación estándar</b>	±1,06 mm
<b>Valor teórico (OSLO):</b>		-200 mm	

La realización de estas experimentaciones, se realizó con un cuidado especial, ya que no es un foco real, es un foco virtual como ya se ha mencionado y este se ubicará únicamente con la proyección de las líneas de los haces salientes de las lentes, después de ser refractados. En el análisis de los resultados se puede verificar que en la toma de datos mostrados en la tabla 05, las mediciones experimentales obtenidas están en un rango que va desde los -200,86 mm hasta los -198,74 mm, el cual nuevamente es un rango aceptable, de tal forma que el valor indicado por el software OSLO EDU 6.6, se encuentra dentro de ese rango de valores. Es así como nuevamente se verifica que la materialización de la lente, en este caso Bicóncava, es correcta y adecuada para el sistema óptico formulado.

Figura 31: Pruebas realizadas para contrastar la verificación de la materialización de la lente Bicóncava, donde se indica el foco virtual en mm.



### 2.3.3 Práctica de laboratorio realizada.

En esta parte se muestra el informe de laboratorio de la práctica realizada con un grupo de 25 estudiantes de quinto grado de secundaria, del curso de Física, de un colegio del distrito de Santa María, de la provincia de Huacho, con la finalidad de validar el sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO. Cabe resaltar que la validación de las lentes materializadas, también se realizó con los estudiantes con la finalidad de fortalecer sus capacidades experimentales en el curso de Física.

#### 2.3.3.1 Título de la práctica de laboratorio (P.L.): “Cuando la Luz se Adelanta: Visualizando y Corrigiendo la Miopía con Lentes convergentes y divergentes”

#### 2.3.3.2 Introducción de la P.L.

El ojo humano se puede comparar con un delicado sistema óptico en el que la luz al ingresar al ojo, sufre procesos de refracción en medios transparentes como son la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. Desde una perspectiva de la óptica geométrica, el ojo puede modelarse como un sistema de lentes

capaz de formar imágenes nítidas sobre la retina, (Hecht, 2017; Young & Freedman, 2020). Sin embargo, cuando este sistema presenta alteraciones, se producen defectos visuales, que se puede traducir como imágenes borrosas.

Es así que uno de los defectos más comunes es la miopía, caracterizada por la formación de la imagen antes de la retina, donde se debe formarse la imagen, lo que impide una visión clara de objetos lejanos, (Pedrotti et al., 2018). Este fenómeno puede analizarse y comprenderse experimentalmente utilizando el sistema óptico propuesto, que está conformado por un Pentaláser y lentes Biconvexas y Bicóncavas.

Para esta práctica de laboratorio se diseñó e implementó un sistema óptico didáctico que simula el ojo miope y su corrección mediante una lente bicóncava, que permite a los estudiantes observar directamente cómo la refracción de la luz determina la calidad de la imagen formada. De este modo, conceptos abstractos de la física se transforman en experiencias observables y medibles, (Hecht, 2017; Serway & Jewett, 2020).

#### **2.3.3.3 Objetivos de la P.L.**

- a. Objetivo general:** Analizar experimentalmente la formación de imágenes y la corrección de la miopía.
- b. Objetivos específicos:**
  - ✓ Determinar la distancia focal de una lente biconvexa.
  - ✓ Evidenciar la miopía.
  - ✓ Analizar la refracción en lentes.
  - ✓ Comprobar la corrección con lente bicóncava.

#### **2.3.3.4 Pregunta de investigación de la P.L.**

¿En qué medida el sistema óptico construido mediante el uso de un Pentaláser y lentes convergentes y divergentes permite validar experimentalmente la corrección de la miopía y facilita la comprensión de los conceptos teóricos de la óptica geométrica en los estudiantes?

### **2.3.3.5 Definición de variables en la P.L.**

#### **c. Variable independiente:**

- ✓ Tipo de lente utilizada (biconvexa y bicóncava).

#### **d. Variable dependiente:**

- ✓ Posición del punto de convergencia de los haces láser (formación de la imagen).

#### **e. Variables controladas:**

- ✓ Distancia entre la fuente láser y la lente.
- ✓ Alineación del sistema óptico.
- ✓ Longitud del modelo de ojo.
- ✓ Condiciones ambientales.

### **2.3.3.6 Formulación de la hipótesis de la P.L.**

Al implementar un sistema óptico didáctico basado en un Pentaláser y lentes convergentes y divergentes para simular el ojo humano, entonces es posible validar experimentalmente la corrección de la miopía y mejorar significativamente la comprensión de los conceptos teóricos de la óptica geométrica, al así permitir la visualización directa de la refracción y la formación de imágenes.

### **2.3.3.7 Materiales utilizados en la P.L.**

- ✓ Pentaláser con control individual de haces: dispositivo emisor de cinco haces láser paralelos de luz visible (roja), que permite trazar trayectorias rectilíneas bien definidas para el análisis de la refracción en las prácticas de laboratorio de la óptica geométrica, para un nivel básico e intermedio.
- ✓ Lente biconvexa (convergente): lente con distancia focal nominal  $f = +200$  mm, utilizada para modelar el sistema óptico del ojo humano (córnea–cristalino), (Pedrotti et al., 2018).
- ✓ Lente bicóncava (divergente): lente con distancia focal nominal  $f = -200$  mm, empleada para la corrección de la miopía, (Pedrotti et al., 2018).

- ✓ Plantilla del ojo humano (escala didáctica): representación bidimensional del globo ocular que incluye el eje óptico y el plano de la retina. La plantilla posee un diámetro de 260 mm, valor mayor que la distancia focal de la lente biconvexa, lo que permite observar la convergencia adelantada y la convergencia corregida de los haces del Pentaláser.
- ✓ Regla milimetrada: con resolución mínima de 1 mm, utilizada para medir distancias focales y posiciones relativas de los elementos ópticos.
- ✓ Superficie plana de trabajo: mesa de laboratorio.

#### 2.3.3.8 Diseño experimental en la P.L.

Se realizó el siguiente montaje experimental que se muestra en la Figura 32 y en la Figura 33, para poder realizar la experimentación.

Figura 32: Montaje del ojo humano, con miopía.

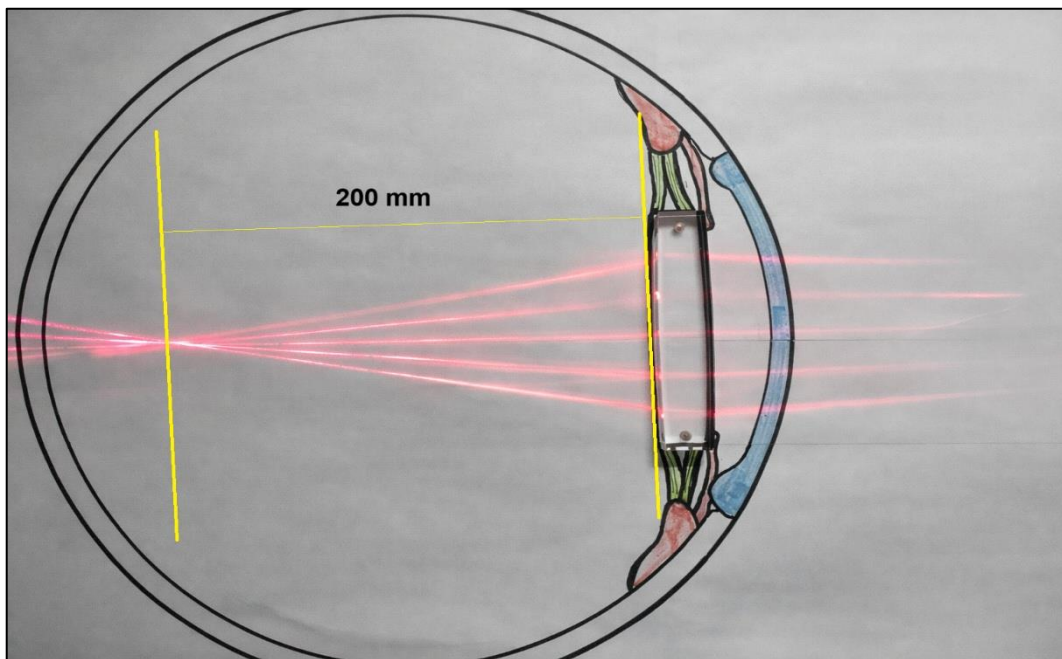
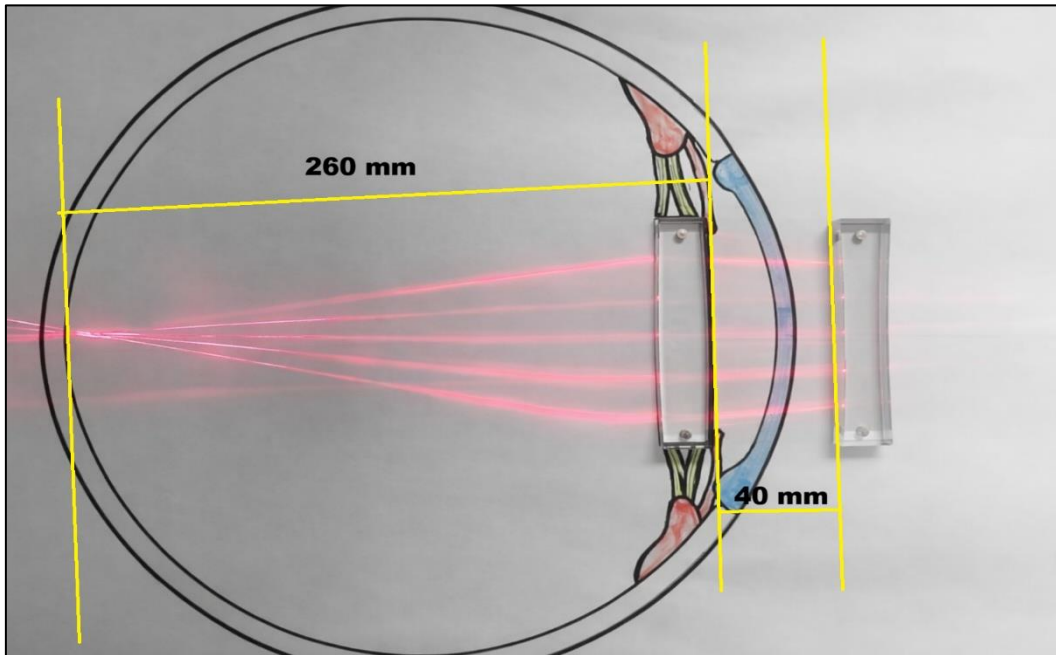


Figura 33: Montaje del ojo humano, con corrección de miopía.



### 2.3.3.9 Procedimiento experimental en la P.L.

Se realizan mediciones del foco antes y después de la corrección, para esto, habiendo ubicado la lente Biconvexa en la plantilla del ojo sobre el eje óptico, hay que colocar el Pentáser de modo que emita haces paralelos y alineados a la lente.

Luego se procede a medir la distancia desde la lente biconvexa hasta el punto donde convergen los haces del Pentáser, siendo esta el foco de la lente biconvexa, realizar esta medición 20 veces para obtener datos estadísticamente significativos y anotarlos en la tabla 6, estos datos representan la simulación de miopía, al no converger en la retina, la imagen observada se verá borrosa, (Young & Freedman, 2020).

Ahora Insertar la lente bicóncava delante de la lente biconvexa e ir ajustando la distancia entre lentes hasta lograr que la convergencia de los haces del Pentáser, ocurra sobre la retina, registrar nuevamente 20 mediciones del nuevo foco y de la distancia entre las 2 lentes, y anotar los datos en la tabla 7.

A su vez en cada tabla realizar la propagación de incertidumbre de estas mediciones aplicando la desviación estándar muestral.

### 2.3.3.10 Toma de datos en la P.L.

Tabla 6: Posición del foco en el ojo miope (sin corrección)

Medición	Distancia focal (mm)	Medición	Distancia focal (mm)
1	198	11	201
2	199	12	200
3	200	13	202
4	201	14	199
5	199	15	200
6	202	16	198
7	200	17	201
8	201	18	199
9	198	19	200
10	200	20	202
<b>Promedio</b>	<b>200</b>	<b>Desviación estándar muestral</b>	<b>1,4</b>

Tabla 7: Corrección de la miopía con lente biconcava.

Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)	Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)
1	44	260	11	44	260
2	45	259	12	45	261
3	46	261	13	46	260
4	45	260	14	43	259
5	44	260	15	45	260
6	46	259	16	44	260
7	47	261	17	47	261
8	43	260	18	45	260
9	45	260	19	44	259

Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)	Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)
10	46	259	20	46	260
Promedio	40	260	Desviación estándar muestral	1,2	0,7

### 2.3.3.11 Preguntas sobre la P.L.

- A. ¿Cómo se manifiesta la refracción de la luz al atravesar una lente biconvexa y cómo se relaciona con la formación del foco observado experimentalmente?

En este tipo de lente biconvexa, se refracta los rayos paralelos hacia el eje óptico, haciéndolos que converjan en un punto focal ubicado aproximadamente a 200 mm. Experimentalmente en este caso, esta convergencia se observa claramente mediante la intersección de los haces del Pentaláser.

- B. ¿Por qué un exceso de convergencia provoca que la imagen se forme antes de la retina en el modelo del ojo miope?

En este caso, cuando el sistema óptico posee demasiado poder convergente, entonces los rayos se enfocan antes de alcanzar la retina. En el modelo representativo experimental, ocurre porque la lente biconvexa forma la imagen a -200 mm, que es su foco, mientras que la retina se encuentra a 260 mm, que es el diámetro interior de la plantilla del ojo.

- C. ¿De qué manera la refracción divergente en una lente bicóncava modifica la trayectoria de los rayos luminosos?

Al ubicar una lente bicóncava frente a la lente biconvexa, esto provoca una refracción divergente, separando los rayos antes de que ingresen a la lente convergente, este simple arreglo

óptico reduce el poder óptico total del sistema, desplazando el foco hacia atrás y así se hace la corrección de la miopía.

- D.** ¿Cómo se explica, desde la óptica geométrica, que la combinación de lentes permita desplazar el foco hasta la retina?

Desde el punto de la óptica geométrica, el sistema de dos lentes en conjunto, funciona como una sola lente equivalente con menor convergencia, es decir que, al ajustar la distancia entre ambas, el foco resultante se hace coincidir con el plano de la retina.

- E.** ¿Qué relación existe entre los valores experimentales obtenidos y la ecuación de las lentes delgadas?

Primeramente, se afirma que los valores experimentales obtenidos concuerdan con la ecuación de las lentes delgadas, ya que la lente biconvexa mostrada, experimentalmente, se comprobó que presenta una distancia focal de 200 mm, valor consistente con el foco teórico. Esto explica que, en ausencia de corrección, los rayos paralelos convergen antes de la retina, simulando en este sistema la miopía.

Luego al incorporar la lente bicóncava, el sistema reduce su poder óptico efectivo, ya que la lente divergente hace que los rayos ingresen a la lente biconvexa con una mayor apertura angular y así como resultado, el plano de la imagen producida (está representado por el punto donde convergen los haces de láser), se desplaza hasta coincidir con la retina, tal como se observa experimentalmente y así de este modo se describe adecuadamente el comportamiento del sistema óptico construido.

### **2.3.3.12 Conclusiones obtenidas en la P.L.**

- A.** Se determinó experimentalmente la distancia focal de la lente biconvexa usada en el sistema óptico, obteniéndose un rango de valores que va desde los 198,6 mm, hasta los 201,4 mm, teniendo su valor teórico de 200 mm, dentro de ese rango, concordando así con su valor nominal y con lo predicho por la óptica geométrica para esta lente convergente.
- B.** Mediante la experimentación, se evidenció la condición de miopía en el modelo del ojo humano, al observar que los haces del Pentaláser convergen en un punto antes de alcanzar el plano de la retina, representando así que se produce una imagen desenfocada.
- C.** Con los datos obtenidos, se evidenció y analizó el fenómeno de la refracción en lentes convergentes y divergentes, experimentalmente se comprobó que la lente biconvexa provoca la convergencia de los haces del Pentaláser, mientras que la lente bicóncava produce la divergencia y modifica la trayectoria de los haces incidentes.
- D.** También se comprobó experimentalmente la corrección de la miopía haciendo uso de una lente bicóncava, logrando modificar el punto donde convergen los haces del Pentaláser, representando el enfoque de la imagen al converger sobre la retina, al ajustar adecuadamente la distancia entre las lentes.
- E.** Con esta experimentación, se validó el sistema óptico construido como un recurso didáctico eficaz, ya que permite a los estudiantes, visualizar directamente como es el fenómeno de la formación de imágenes y también poder relacionar los resultados experimentales con los principios teóricos de la óptica geométrica, facilitando así la comprensión de conceptos abstractos.

### **2.3.3.13 Evaluación del método en la P.L.**

En esta práctica de laboratorio, se pudo verificar que el método experimental empleado resultó adecuado y además efectivo para el estudio de la formación de imágenes en el ojo humano, además de la corrección de la miopía desde el punto de la óptica geométrica. El sistema óptico construido, conformado por la plantilla del ojo humano, las lentes Bicóncava, Biconvexa, y el Pentaláser, permite representar de manera tangible y efectiva un modelo simplificado del ojo humano, facilitando la observación directa de la trayectoria de los haces incidentes del Pentaláser.

El uso del Pentaláser proporcionó eficientemente haces paralelos, lo que hizo posible visualizar con claridad la refracción en las lentes y la posición de su foco, apoyando y mejorando la comprensión de definiciones complejas y abstractas como distancia focal, convergencia, divergencia y formación de imágenes y de esta manera, el sistema óptico demostró ser altamente didáctico, ya que convirtió conceptos teóricos de difícil interpretación en fenómenos observables y medibles experimentalmente.

Por otra parte, la realización de las repeticiones en las mediciones y el cálculo de la desviación estándar muestral contribuyeron a aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos en la experimentación. No obstante, este método presenta limitaciones asociadas a las mediciones manuales. Como mejora, se sugiere el uso de instrumentación más precisos o instrumentos de medición digital, lo que permitirá reducir errores sistemáticos y optimizar la experiencia experimental.

Cabe resaltar que este es el informe, realizado de la experimentación con los 25 estudiantes, y es un parámetro para verificar los resultados esperados con estas prácticas de laboratorio.

### 2.3.4 Simulación del ojo humano mediante el software OSLO EDU como complemento a la práctica experimental.

En esta parte, la simulación que se realizó, es con la finalidad de complementar y reforzar, los resultados obtenidos durante la práctica de laboratorio, realizada con el sistema óptico experimental diseñado y materializado con el software OSLO EDU 6.6, Esta simulación permitió analizar de manera teórica, eficiente y controlada, la formación de imágenes en la retina, cosa que no se puede realizar o comprobar con el sistema experimental materializado, así como evaluar la calidad de las imágenes bajo diferentes condiciones de observación, estableciendo una relación directa entre la experimentación física y el análisis computacional del sistema óptico, se realizará el análisis del ojo sano y del ojo con lupa, con objetos a 3 diferentes distancias.

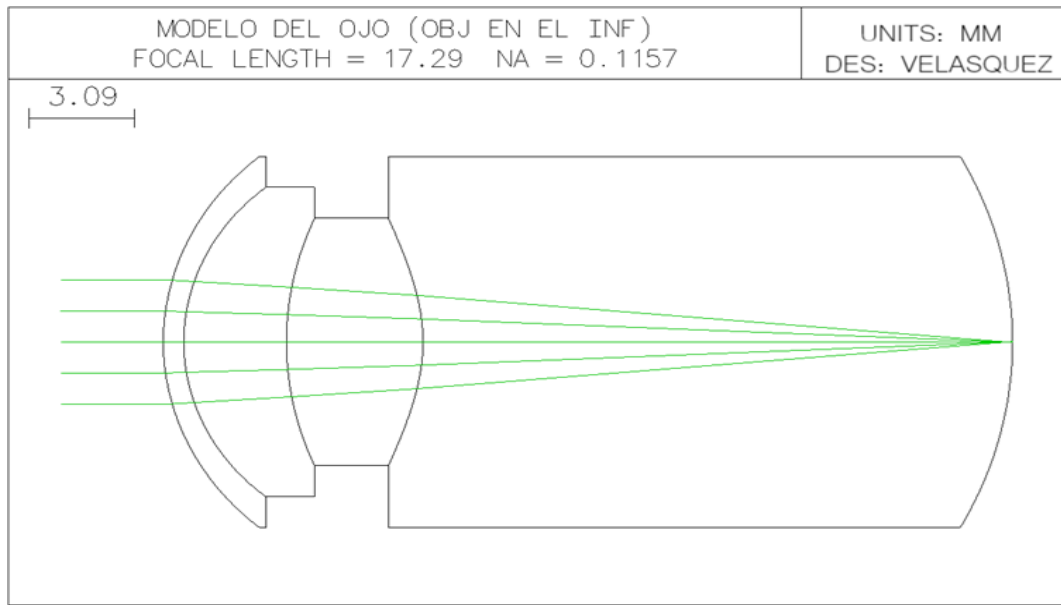
#### 2.3.4.1 Parámetros iniciales para la simulación del ojo con objeto en el infinito.

En esta parte se muestra el modelo base del ojo humano implementado en el software OSLO EDU 6.6, considerando todos los elementos ópticos que representan el sistema ocular, el cual permitió analizar la formación de imágenes sobre la retina. En la figura 34 se muestran todos los parámetros necesarios para realizar esta simulación, los cuales deben de trabajarse en el software, de igual forma como se trabajó en el apartado 2.1.

Figura 34: Parámetros iniciales del ojo humano en OSLO EDU 6.6.

MODELO DEL OJO (OBJ EN EL INF)						
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPE	NOTE
OBJ	--	2.0000e+23	3.4907e+19	AIR		
1	7.800000	0.600000	6.000000	CORNEA	M	
2	6.400000	3.000000	5.000000	AQUEOUS	M	
AST	--	--	1.768501 AS	AQUEOUS	M	
4	10.100000	4.000000	4.000000	LENS	M	
5	-6.100000	17.250000	4.000000	VITREOUS	M *	
6	-12.500000	--	6.000000	AIR		
IMS	-12.500000	--	6.000000			

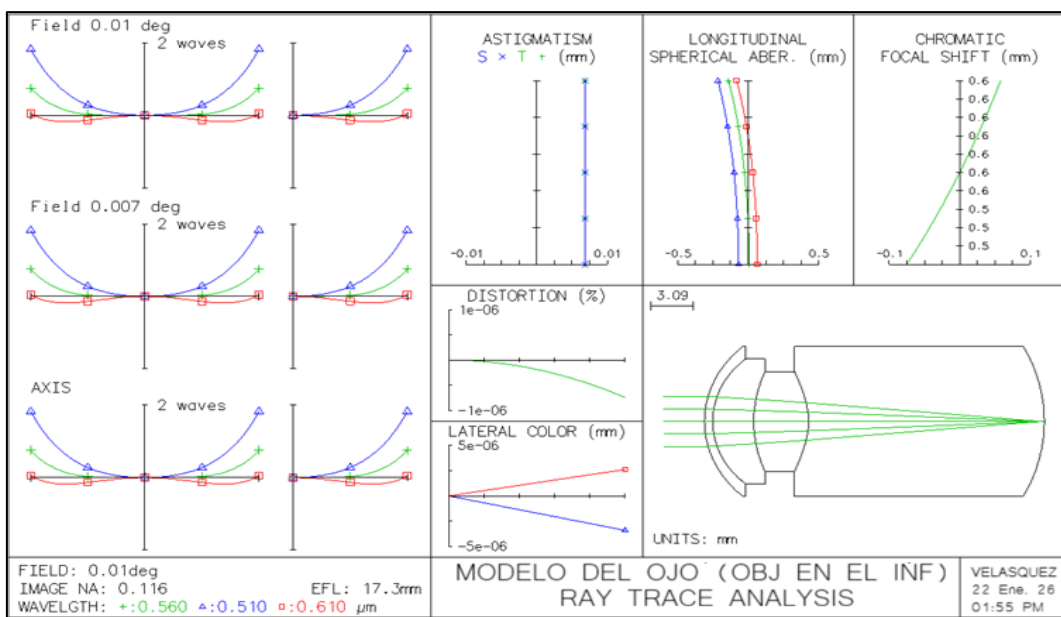
Figura 35: Trayectoria de rayos incidentes provenientes de un objeto ubicado en el infinito, en el modelo del ojo humano sano.



En este caso, en la Figura 35 se muestra la simulación del ojo humano y en la cual se observa la propagación de los rayos incidentes paralelos, que ingresan al sistema óptico del ojo humano sano, representando la visión de los objetos lejanos y sin ningún tipo de corrección.

### 2.3.4.1.1 Análisis del trazado de los rayos y las aberraciones, en el ojo humano sano.

Figura 36: Análisis de trazado de rayos y aberraciones del modelo del ojo humano para un objeto ubicado en el infinito mediante OSLO EDU 6.6.



Como se aprecia en la figura 36, el análisis de trazado de los rayos del modelo del ojo humano sano, se realizó considerando un objeto ubicado en el infinito, es decir muy lejano. En este modelo se observa que la evaluación se realizó para tres longitudes de onda, representativas del espectro visible, la de  $0,510 \mu\text{m}$  que es la azul;  $0,560 \mu\text{m}$  que es la verde y  $0,610 \mu\text{m}$  que es el rojo, siendo de este color el haz de láser usado en el Pentaláser.

También se verifica en la figura, que la distancia focal efectiva del sistema óptico es de  $17,37 \text{ mm}$ ; valor coherente con el ojo humano real, lo que confirma así, la validez geométrica del modelo simulado, además el número de apertura de la imagen obtenido es  $NA = 0,116$ , indicando un sistema con apertura moderada, siendo así adecuada la relación entre la luminosidad y calidad de imagen formada.

Con respecto al análisis de la aberración esférica longitudinal, se muestra que las curvas correspondientes a las tres longitudes de onda permanecen dentro un intervalo aproximado de  $\pm 0,5 \text{ mm}$ , evidenciando una aberración esférica reducida, además de un adecuado enfoque de los rayos sobre la retina.

El astigmatismo sagital y tangencial presenta valores cercanos a  $\pm 0,01 \text{ mm}$ , siendo este un valor casi despreciable, lo que indica que la diferencia entre ambos focos es muy mínima, resultando en un efecto de igual forma despreciable sobre la calidad de imagen.

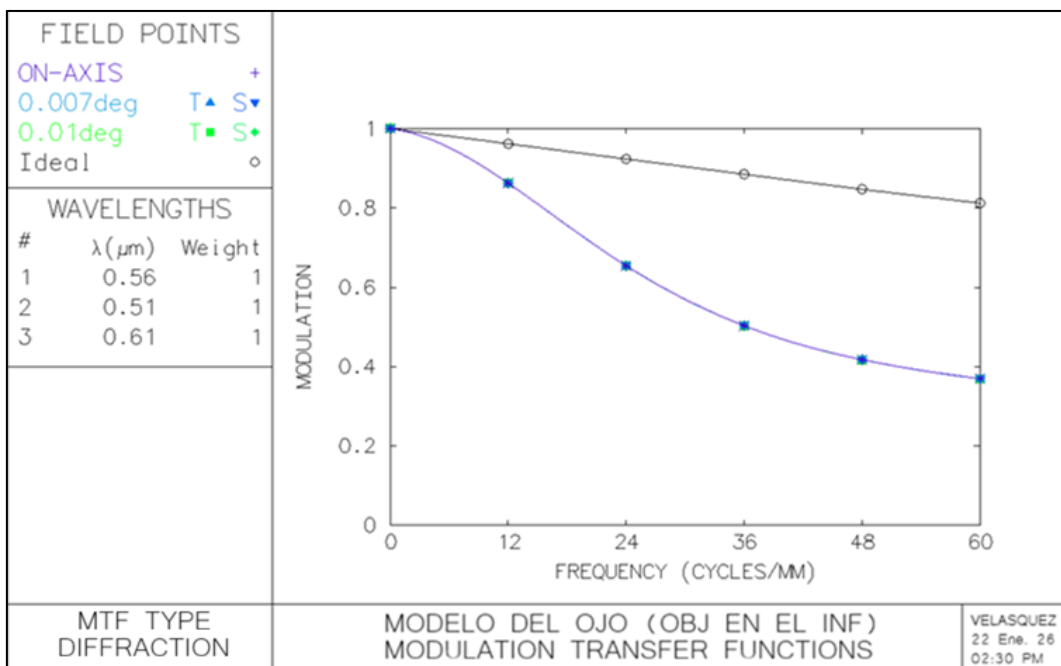
Ahora con respecto al desplazamiento focal cromático, muestra una variación inferior a  $0,6 \text{ mm}$  entre las longitudes de onda extremas del espectro considerado, valor que se encuentra dentro de los límites aceptables para un sistema óptico, como el ojo humano sano.

Además la distorsión geométrica que se aprecia, es del orden de los  $10^{-6} \%$ , lo que implica una distorsión prácticamente nula y confirma, que la imagen formada no presenta deformaciones apreciables, asimismo, el color lateral presenta desplazamientos del orden de  $\pm 5 \times 10^{-6} \text{ mm}$ , indicando una aberración cromática lateral muy insignificante.

Con estos resultados obtenidos evidencian que el modelo del ojo humano sano simulado en OSLO EDU 6.6, representa una adecuada corrección de aberraciones geométricas y cromáticas, permitiendo la formación de una imagen nítida sobre la retina para objetos ubicados a grandes distancias.

### 2.3.4.1.2 Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF), para el ojo humano sano.

Figura 37: Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF) del modelo del ojo humano para visión lejana, objeto en el infinito.



Ahora en la imagen 37, se observa que la función de transferencia de modulación (MTF) del modelo del ojo humano sano, como ya se había mencionado, se evaluó para un objeto ubicado en el infinito, considerando tres longitudes de onda del espectro visible; 0,51  $\mu\text{m}$ ; 0,56  $\mu\text{m}$  y 0,61  $\mu\text{m}$ , todas estas longitudes, con igual peso espectral. El análisis se realizó para puntos sobre el eje óptico y para pequeños ángulos como 0,007° y 0,01° sexagesimales, bajo condiciones limitadas por difracción.

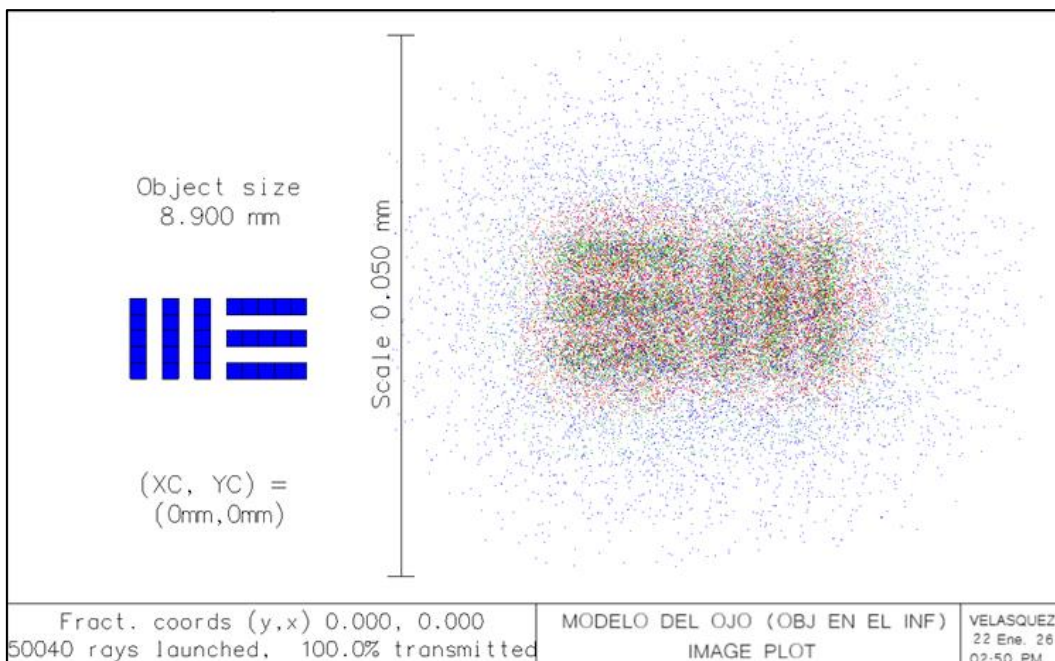
Como se observa en la figura, en bajas frecuencias espaciales, desde los 0, hasta los 12 ciclos/mm, la modulación se mantiene cercana a 1, lo que indica una transferencia casi completa del contraste, pero a una frecuencia de aproximadamente de 24 ciclos/mm, la modulación

disminuye hasta valores cercanos a los 0,65; evidenciando una reducción moderada del contraste para detalles intermedios. Ahora para frecuencias alrededor de los 36 ciclos/mm, la modulación se reduce a valores cercanos a los 0,50; evidenciando así una reducción mayor del contraste en los detalles de la formación de la imagen.

La curva de un sistema ideal se mantiene siempre por encima de 0,8 en todo el rango analizado, pero en esta figura, del modelo del ojo humano presenta valores menores debido a las aberraciones ópticas propias del sistema ocular real, no obstante, el comportamiento obtenido en la simulación, es consistente con valores fisiológicamente aceptables, confirmando que el modelo reproduce adecuadamente la respuesta visual humana, con una buena calidad de imagen en bajas y medias frecuencias, en cambio, con una disminución progresiva del contraste en altas frecuencias espaciales.

### 2.3.4.1.3 Análisis de la calidad de la imagen formada en el ojo humano sano.

Figura 38: Evaluación del ojo humano con una tarjeta de prueba de 8,9 mm de largo y a 6 m de distancia.



En la figura 38, se muestra un diagrama que representa la dispersión de los rayos incidentes en el modelo del ojo humano sano y muestra la formación de la imagen para un objeto ubicado a 6 m de

distancia y que tiene un largo de 8,9 mm y está centrado en el eje óptico ( $X_C = 0$  mm,  $Y_C = 0$  mm). En este análisis como en los anteriores, se considera las tres longitudes de onda del espectro visible, todas completamente transmitidas, con un total de 50 040 rayos incidentes.

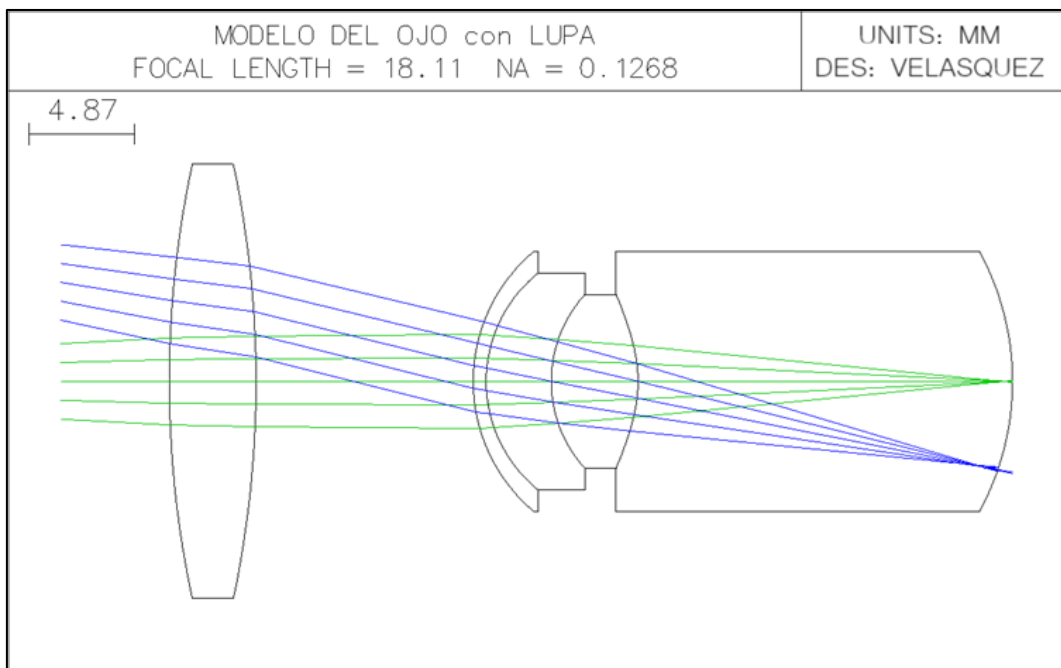
En la distribución de los puntos que se muestra, se observa claramente que la región central es de alta densidad, indicando una correcta convergencia de los rayos, además de una adecuada capacidad de enfoque del sistema óptico. A su vez, también se observa una dispersión periférica, con una escala aproximada de 0,050 mm, que evidencia la presencia de aberraciones cromáticas y esféricas inherentes al modelo ocular, la superposición de colores refleja la contribución espectral de cada longitud de onda utilizado en la simulación. Todos estos resultados confirman que el modelo del ojo humano reproduce un comportamiento óptico realista, con buena calidad de imagen central y degradación progresiva hacia los bordes, tomando en cuenta que son objetos muy lejanos y de dimensiones pequeñas.

### 2.3.4.2 Parámetros iniciales para el modelo del ojo con lupa (corrección).

Figura 39: Parámetros iniciales del ojo humano con lupa, en OSLO EDU 6.6.

MODELO DEL OJO con LUPA						
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPE	NOTE
OBJ	--	38.200000	10.000000	AIR		
1	48.000000	4.000000	10.000000	N-BK7	C	
2	-48.000000	10.000000	10.000000	AIR		
3	7.800000	0.600000	6.000000	CORNEA	M	
4	6.400000	3.000000	5.000000	AQUEOUS	M	
AST	--	--	1.936015	AQUEOUS	M	AS
6	5.950000	4.000000	4.000000	LENS	M	
7	-6.100000	17.250000	4.000000	VITREOUS	M	*
8	-12.500000	--	6.000000	AIR		
IMS	-12.500000	--	6.000000			

Figura 40: Trayectoria de rayos incidentes provenientes de un objeto ubicado en el infinito, en el modelo del ojo humano con lupa.

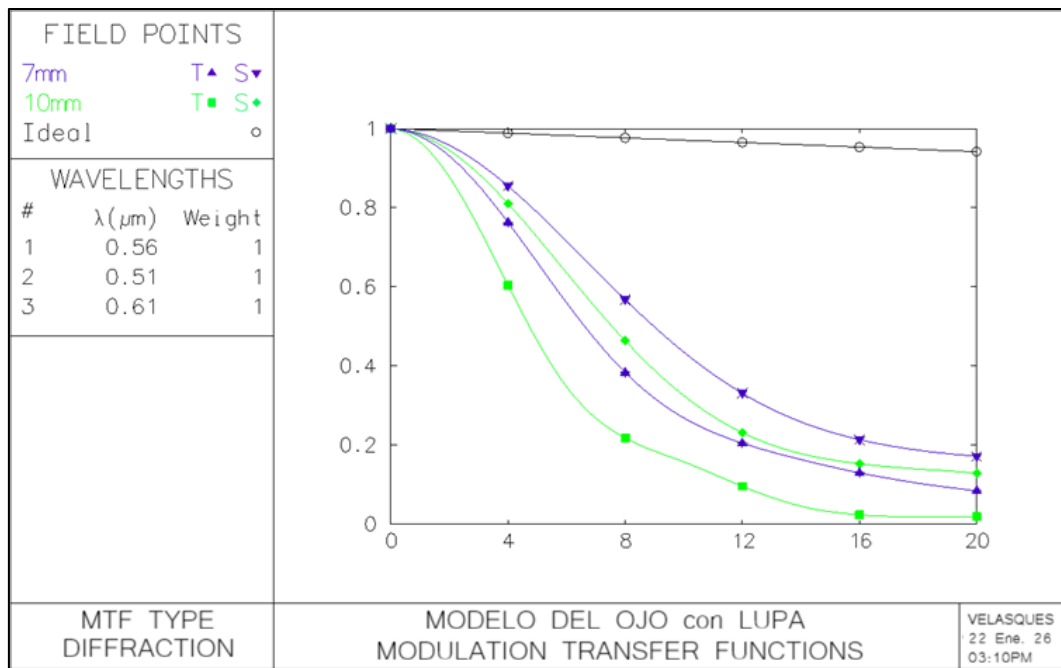


En la figura 39 se muestran los parámetros necesarios para la formación de un ojo con lupa, que se aprecia claramente en la figura 40; en esta figura se representa el trazado de los rayos incidentes en el modelo del ojo humano con lupa, obtenido mediante el software OSLO EDU 6.6, con sus unidades expresadas en milímetros, este sistema óptico muestra una longitud focal efectiva de 18,11 mm y una apertura numérica  $NA = 0,1268$ ; además como se puede apreciar, en la región de entrada se indica una escala longitudinal de 4,87 mm, en donde los rayos verdes y azules representan trayectorias, las cuales van a permitir evaluar el comportamiento geométrico del sistema, la presencia de la

lupa, así como en la práctica de laboratorio realizada, altera la convergencia inicial del haz antes de atravesar los elementos equivalentes a la córnea y el cristalino del ojo, realizando la corrección necesaria para la correcta formación de la imagen.

### 2.3.4.2.1 Análisis de la función de transferencia de modulación (MTF), para el ojo humano con lupa.

Figura 41: Análisis de la función de transferencia de modulación, para el ojo humano con lupa, simulada en OSLO EDU 6.6.

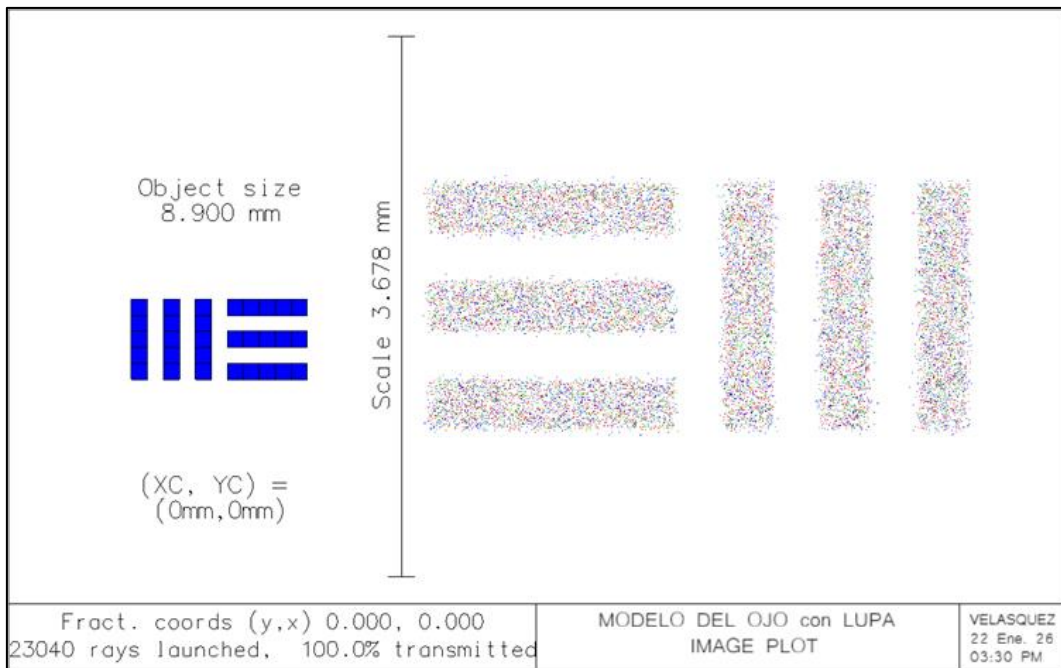


En la figura 41 se representa la función de transferencia de modulación del modelo del ojo humano con lupa, calculada por la difracción de los haces incidentes, el análisis incluye tres longitudes de onda ya mencionada, de 0,51  $\mu\text{m}$ , 0,56  $\mu\text{m}$  y 0,61  $\mu\text{m}$ ; el eje horizontal representa la frecuencia espacial hasta 20 ciclos por milímetro, mientras que el eje vertical indica la modulación normalizada. Para ambos campos, la MTF disminuye progresivamente con el aumento de la frecuencia espacial. El campo de 10 mm presenta una caída más rápida, evidenciando mayor degradación fuera del eje, además la separación entre las curvas refleja la influencia combinada de campo y longitud de onda, entonces se puede afirmar que el comportamiento obtenido es coherente de acuerdo a las limitaciones ópticas previstas.

Ahora para realizar el análisis de la calidad del ojo con lupa, con tarjetas de pruebas con un largo de 8,9 mm y de igual forma a 6 metros de distancia entre la tarjeta y el ojo humano, se trabajó en 3 situaciones, con la lupa a diferentes distancias del ojo; de 38,2 mm, 45 mm y de 50 mm.

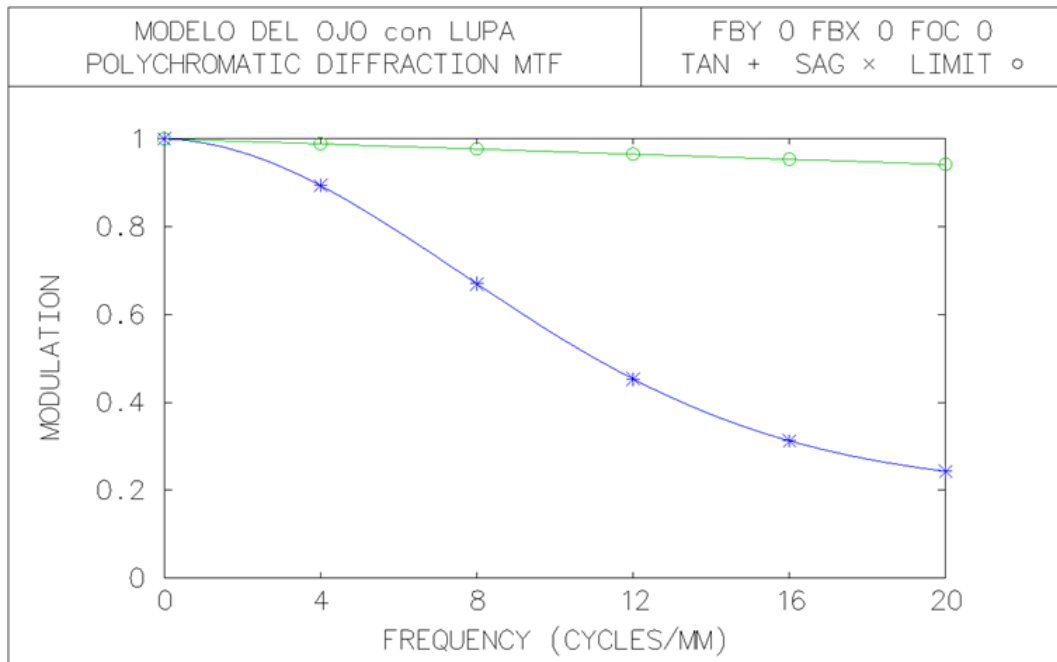
### 2.3.4.2.2 Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa 38,2 mm de distancia.

Figura 42: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 38,2 mm de distancia.



En la figura 42 se muestra el diagrama de la imagen del modelo del ojo humano con lupa, obtenido mediante OSLO EDU 6.6; donde el objeto analizado de de 8,9 mm, se encuentra centrado en las coordenadas (0 mm, 0 mm). La escala vertical de la imagen es de 3,678 mm, permitiendo evaluar la extensión del patrón formado sobre el plano de la imagen. También se observa la proyección del objeto tipo barras, cuyos puntos de la imagen generada se representan mediante una distribución policromática de rayos, además el sistema lanza un total de 23040 rayos, con una transmisión del 100 %, lo que indica ausencia de pérdidas en el modelo. La dispersión de los puntos evidencia el efecto combinado de difracción y aberraciones residuales, este resultado concuerda con el comportamiento óptico esperado del ojo humano con lupa simulado.

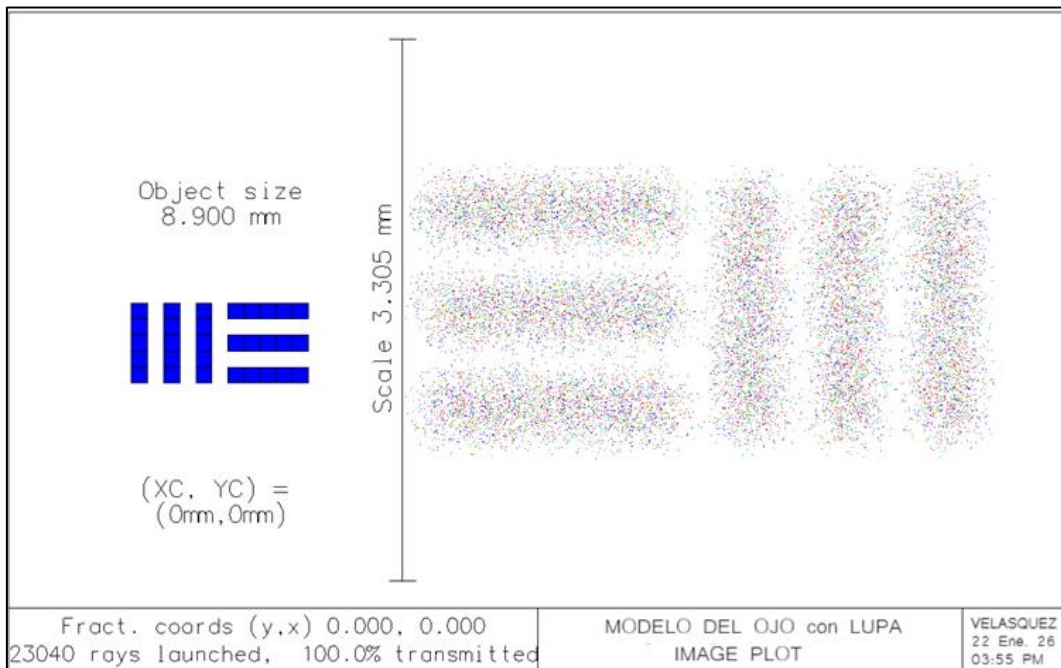
Figura 43: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 38,2mm de distancia.



Ahora en la figura 43, se presenta la función de transferencia de modulación policromática por difracción del modelo del ojo humano con lupa, obtenido mediante el software OSLO EDU 6.6, este análisis se realiza en función de la frecuencia espacial, expresada en ciclos por milímetro, hasta un valor máximo de 20 ciclos/mm, el eje vertical representa la modulación normalizada del sistema. Se comparan las respuestas tangencial y sagital, junto con el límite de difracción, evidenciando el desempeño óptico global, la curva ideal permanece cercana a la modulación unitaria, mientras que la respuesta real del sistema muestra una disminución progresiva al aumentar la frecuencia espacial, donde se verifica que a frecuencias bajas, la modulación es elevada, indicando buena transferencia de contraste, mientras que a frecuencias altas se observa una degradación significativa. Este comportamiento es consistente con los resultados anteriores y refleja las limitaciones impuestas por la difracción y las aberraciones residuales del modelo óptico del ojo humano con lupa.

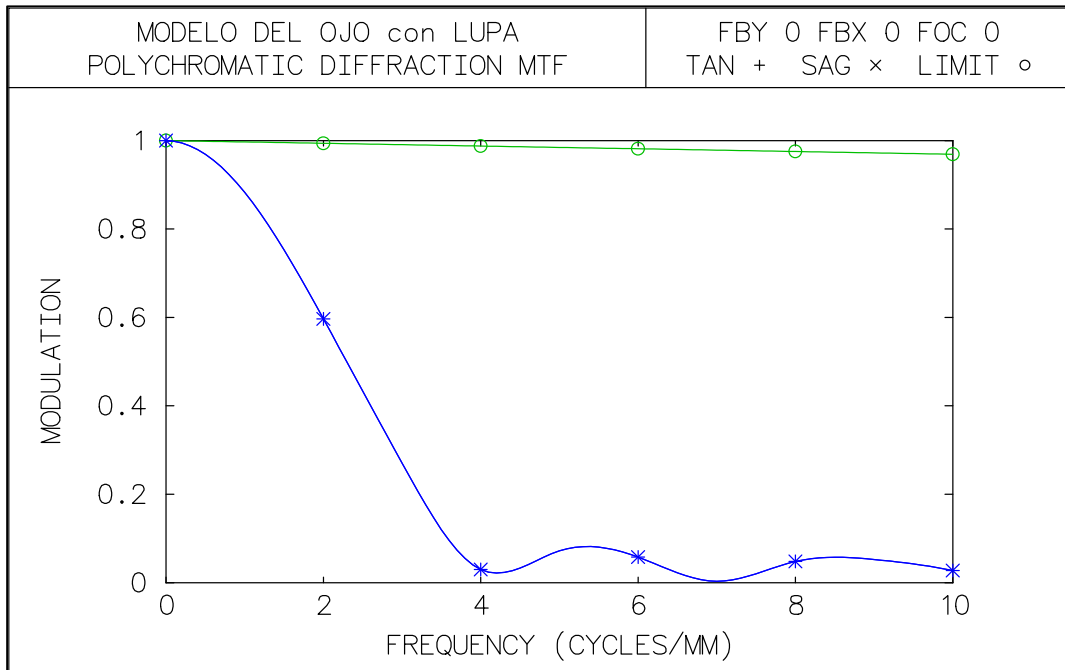
### 2.3.4.2.3 Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa a 45 mm de distancia.

Figura 44: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 45 mm de distancia.



En la figura 44 se muestra un objeto de 8,9 mm centrado en las coordenadas (0 mm, 0 mm). Este sistema forma la imagen mediante el lanzamiento de 23 040 rayos, con una transmisión del 100 %, lo que evidencia la ausencia de pérdidas por absorción u obstrucción dentro del modelo. La escala vertical indicada, es de 3,305 mm; permitiendo evaluar cuantitativamente la distribución espacial de los puntos de la imagen, este patrón observado corresponde a una estructura tipo rejilla, cuyas barras se reproducen como nubes densas de puntos multicolores, resultado del análisis policromático y del comportamiento real del sistema del ojo con lupa. La dispersión transversal de los puntos en cada elemento refleja la calidad de enfoque alcanzada y la resolución efectiva del sistema óptico. Este resultado mantiene continuidad conceptual con el análisis óptico del ojo humano.

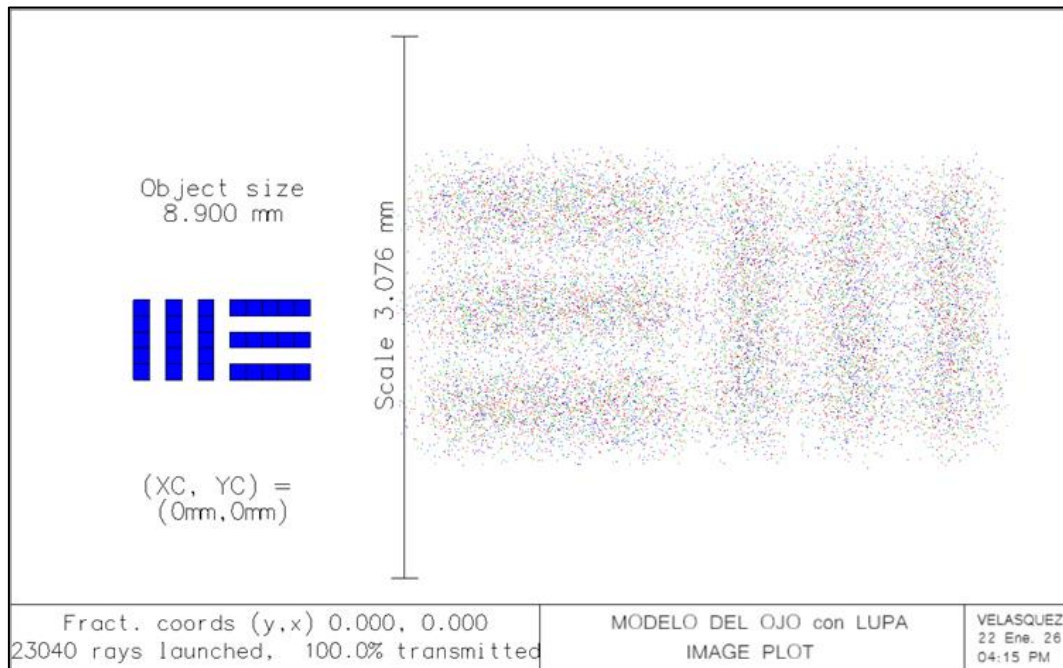
Figura 45: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 45 mm de distancia.



En este caso en la figura 45, presenta la función de transferencia de modulación que se presenta mediante dos curvas diferenciadas en color verde y azul, evaluadas en función de la frecuencia espacial normalizada a lo largo del eje horizontal. La curva superior, en color verde, mantiene un valor de modulación prácticamente constante cercano al máximo representado, indicando una adecuada reproducción del contraste para todas las frecuencias muestreadas, en cambio la curva inferior, en color azul, evidencia una caída abrupta de la modulación a bajas frecuencias, seguida de oscilaciones de menor amplitud en frecuencias posteriores. Esta diferencia cuantitativa entre ambas curvas indica una degradación progresiva del contraste en el sistema óptico, asociada al desempeño del conjunto ojo con lupa.

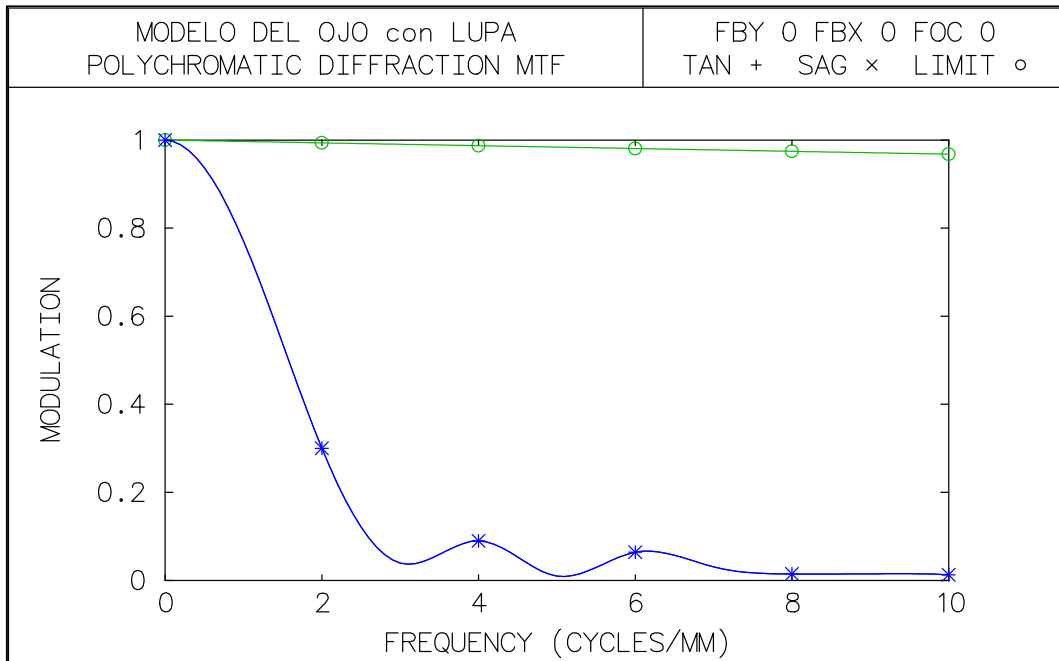
### 2.3.4.2.4 Análisis de la calidad de la imagen generada en un ojo con lupa a 50 mm de distancia.

Figura 46: Distribución de imagen del modelo del ojo humano con lupa, a 50mm de distancia.



La figura 46, muestra al modelo del ojo humano con lupa, donde se representa un objeto nuevamente de 8,9 mm de largo y centrado en las coordenadas (0 mm, 0 mm). La imagen formada presenta una distribución policromática de puntos, producto del trazado simultáneo de múltiples longitudes de onda, además se indica una escala vertical de 3,076 mm, lo que permite cuantificar la extensión espacial de la imagen formada sobre el plano. En este caso este sistema fue evaluado mediante el lanzamiento de 23 040 rayos, con una transmisión del 100 %. La estructura observada reproduce un patrón tipo rejilla, aunque con una mayor dispersión transversal respecto a las figuras previas, lo que indica una reducción cuantitativa de la calidad de enfoque.

Figura 47: Función de transferencia de modulación por difracción policromática del modelo del ojo humano con lupa simulada en OSLO EDU 6.6 y objeto situado a 50 mm de distancia.



Ahora, por último en la figura 47 se muestra la función de transferencia de modulación del sistema ojo con lupa, donde el eje horizontal representa la frecuencia espacial muestreada y el eje vertical la modulación normalizada. Se observan nuevamente dos curvas diferenciadas, una curva superior en color verde, prácticamente constante y cercana al valor máximo de modulación para todas las frecuencias representadas, y una curva inferior en color azul, con una caída abrupta inicial seguida de oscilaciones amortiguadas a frecuencias mayores. Los marcadores circulares y en cruz indican puntos discretos de evaluación del MTF, todo este comportamiento cuantitativo evidencia que una componente mantiene alta capacidad de transferencia de contraste, mientras la otra presenta una pérdida significativa de modulación, al aumentar la frecuencia espacial. Este resultado indica limitaciones en la resolución del conjunto óptico bajo análisis en condiciones simuladas del sistema.

### **2.3.5 Encuestas realizadas para la validación del sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.**

En este apartado se muestran las dos encuestas que se aplicaron a los 25 estudiantes del nivel secundario, del curso de Física, las cuales fueron tomadas en dos momentos marcados, la Encuesta 1 se realizó al finalizar las explicaciones teóricas sobre óptica geométrica, después de haber realizado ejercicios prácticos relevantes sobre los temas y de haber complementado esos conocimientos con videos didácticos, siendo lo convencional en esta parte de la Física, luego la Encuesta 2 se aplica, después de haber realizado todas las validaciones de las lentes y la práctica de laboratorio “Cuando la Luz se Adelanta: Visualizando y Corrigiendo la Miopía con Lentes”, en conjunto con los estudiantes.

#### **2.3.5.1 ENCUESTA 1: Sin experimentación.**

##### **Indicaciones para el estudiante:**

Lee atentamente cada afirmación y marca la opción que mejor represente tu nivel de aprendizaje, de acuerdo a tu experiencia después de haber recibido únicamente clases teóricas (explicaciones del docente, ejercicios en clase y videos).

No existen respuestas correctas o incorrectas. Responde con sinceridad.

##### **Escala de valoración:**

- (1) Totalmente en desacuerdo.
- (2) En desacuerdo.
- (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo.
- (4) De acuerdo.
- (5) Totalmente de acuerdo.

Tabla 8: ENCUESTA 1, antes de realizar las prácticas de laboratorio.

Preguntas		Escalas de valoración				
		1	2	3	4	5
1	Comprendo qué es la refracción de la luz solo con la explicación teórica.					
2	Entiendo la Ley de Snell tal como fue explicada en clase.					
3	Puedo aplicar la Ley de Snell en ejercicios escritos.					
4	Comprendo la diferencia entre una lente convergente y una lente divergente.					
5	Entiendo el significado físico de la distancia focal.					
6	Comprendo la formación de imágenes usando solo esquemas teóricos.					
7	Puedo interpretar diagramas de rayos presentados en el libro.					
8	Entiendo el funcionamiento del ojo humano explicado solo con teoría.					
9	Los conceptos de óptica geométrica me resultan abstractos.					
10	Me cuesta imaginar la trayectoria de los rayos de luz.					
11	Me resulta difícil relacionar las fórmulas con situaciones reales.					
12	Aprendo óptica principalmente memorizando fórmulas.					
13	La explicación teórica no siempre me permite visualizar lo que ocurre con la luz.					
14	Comprender la miopía sin experimentos es complicado.					
15	Me siento seguro resolviendo ejercicios sobre lentes.					
16	Podría explicar la refracción a otra persona usando solo teoría.					
17	Me siento confiado interpretando problemas sobre el ojo humano.					
18	Puedo identificar correctamente el foco en ejercicios escritos.					
19	Considero suficiente el aprendizaje solo con teoría.					
20	Mi comprensión de la óptica geométrica es adecuada sin laboratorio.					

### 2.3.5.2 ENCUESTA 2: Después de la experimentación.

#### Indicaciones para el estudiante

Lee atentamente cada afirmación y marca la opción que mejor represente tu nivel de acuerdo a tu experiencia después de haber realizado las prácticas experimentales utilizando el sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO. Responde con sinceridad, considerando cómo la experimentación influyó en tu comprensión de los conceptos de óptica geométrica.

#### Escala de valoración:

- (1) Totalmente en desacuerdo
- (2) En desacuerdo
- (3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- (4) De acuerdo
- (5) Totalmente de acuerdo

Tabla 9: ENCUESTA 2, después de haber realizado las experimentaciones.

Preguntas		Escala de valoración				
		1	2	3	4	5
1	Comprendo mejor la refracción de la luz al observarla con el Pentálar.					
2	La Ley de Snell se entiende mejor al ver los rayos refractarse.					
3	Puedo explicar la refracción usando el experimento realizado.					
4	Distingo claramente una lente convergente y una lente divergente.					
5	Identifico visualmente el foco de una lente.					
6	Comprendo la formación de imágenes observando los rayos láser.					
7	El experimento me ayudó a entender los diagramas de rayos.					
8	Comprendo mejor el funcionamiento del ojo humano con la práctica experimental.					
9	Los conceptos dejaron de ser abstractos gracias al experimento.					
10	Visualizar los rayos facilitó mi comprensión.					
11	Ahora puedo imaginar mejor la trayectoria de la luz.					

Preguntas		Escala de valoración				
		1	2	3	4	5
12	Relaciono mejor las ecuaciones con lo observado en el laboratorio.					
13	El experimento ayudó a comprender la miopía.					
14	La corrección de la miopía fue clara al observar el sistema óptico.					
15	El sistema óptico facilitó mi aprendizaje.					
16	El uso del Pentáser mejoró la explicación de los temas.					
17	Aprendí más con la práctica experimental que solo con teoría.					
18	El experimento aclaró definiciones que antes no comprendía bien.					
19	Me siento más seguro explicando estos temas después del laboratorio.					
20	Considero que este sistema óptico es un recurso didáctico eficaz.					

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Resultados del diseño en OSLO EDU 6.6.

##### 3.1.1 Resumen comparativo de los resultados sobre la materialización de las lentes:

En este apartado, en la Tabla 14 se presenta un resumen comparativo entre los valores teóricos de la longitud focal que se han obtenido mediante el diseño de las lentes del sistema óptico, en el software OSLO EDU 6.6 y los valores promedio experimentales medidos en la sección 3.3.2, para las lentes materializadas. Este análisis incluye las tres configuraciones ópticas: la lente plano–convexa, la lente Biconvexa y La lente Bicóncava.

Tabla 10: Resumen comparativo de los resultados de los diseños en OSLO EDU 6.6 y los resultados experimentales de la materialización de las lentes diseñadas:

Lente	Tipo óptico	Magnitud verificada	Valor promedio experimental	Valor teórico (OSLO)	Diferencia	Evaluación
a)	Plano convexo	Longitud focal (mm)	147,0	146,9	+0.1	Coincidente
b)	Biconvexa	Longitud focal (mm)	200,5	200,0	+0.5	Coincidente
c)	Bicóncava	Longitud focal (mm)	-199,8	-200,0	+0,2	Coincidente

Como se pudo apreciar en el apartado 3.3.2, los valores experimentales promedio de la longitud focal se obtuvieron a partir de la experimentación y a través de la repetición de las mediciones, las cuales fueron realizadas bajo las mismas condiciones experimentales para cada una de las lentes. A partir de esta comparación cuantitativa de los resultados obtenidos, presentada en la Tabla 14, se evidencia que se registraron diferencias absolutas de sólo 0,1 mm para el lente planoconvexo; 0,5 mm para la lente Biconvexa y 0,2 mm para la lente Bicóncava, entre los valores experimentales promedio y los valores teóricos calculados mediante OSLO EDU 6.6.

Si hablamos en términos relativos, estas diferencias corresponden a variaciones inferiores al 0,5 % respecto a los valores teóricos de longitud focal, esto para las tres configuraciones ópticas analizadas. El signo de la longitud focal obtenida experimentalmente se mantuvo consistente con el tipo de lente a considerar, siendo positivo para las lentes plano–convexa y biconvexa, y negativo para la lente bicóncava.

Cabe recalcar que durante las mediciones experimentales se observó un comportamiento convergente, tanto para las lentes planoconvexo y biconvexa, evidenciado así por la formación de un foco real a una distancia finita del eje óptico, mientras que en el caso de la lente bicóncava, ésta presentó un comportamiento divergente, reflejado en la separación progresiva de los haces de láser incidente, todo este comportamiento se encuentra cuantitativamente representado y resumido en los valores de las longitudes focales en la Tabla 14.

A su vez en las Figuras de la 28 a la 31, se muestran las evidencias fotográficas correspondientes a la formación del foco para las lentes planoconvexo y Biconvexa y así también la divergencia de los haces de los láseres del Pentalaser, para la lente Bicóncava. En estas imágenes también se identifican los planos focales y la geometría generada por los haces del Pentaláser, en concordancia cuantitativa con los valores de la longitud focal obtenidos experimentalmente mediante la validación de las lentes y comparados con los valores teóricos del diseño óptico en el software OSLO EDU 6.6.

### **3.1.2 Resultados de las encuestas aplicadas antes y después de las prácticas experimentales:**

Habiendo aplicado las encuestas correspondientes, previamente descritas en el apartado 3.3.6, se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir del análisis cuantitativo de las respuestas recopiladas, tanto antes y después de la implementación de las prácticas experimentales con el sistema óptico diseñado para el estudio de la óptica geométrica.

Estas encuestas fueron aplicadas con el único propósito de evaluar la percepción de los estudiantes respecto a su nivel de comprensión conceptual, su capacidad de visualización y la relación entre la teoría y los fenómenos ópticos estudiados; así también como la seguridad al explicar los contenidos abordados en esta parte de la Física. Entonces para poder medir estos aprendizajes, se empleó una escala de cinco niveles, tal cual como se había mostrado anteriormente, lo que permitió realizar un análisis descriptivo y comparativo de los resultados.

*Figura 48: Resultados cuantitativos de la Encuesta 1, realizada a los 25 estudiantes de quinto grado de secundaria de un colegio del distrito de Santa María de la provincia de Huacho.*

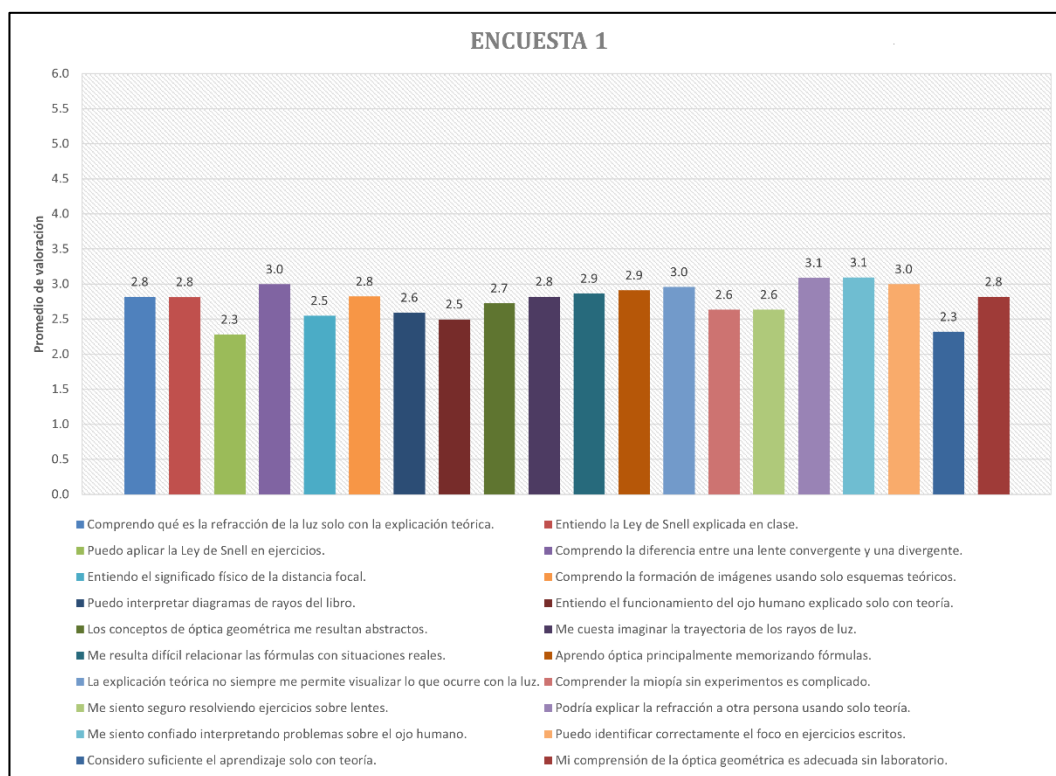
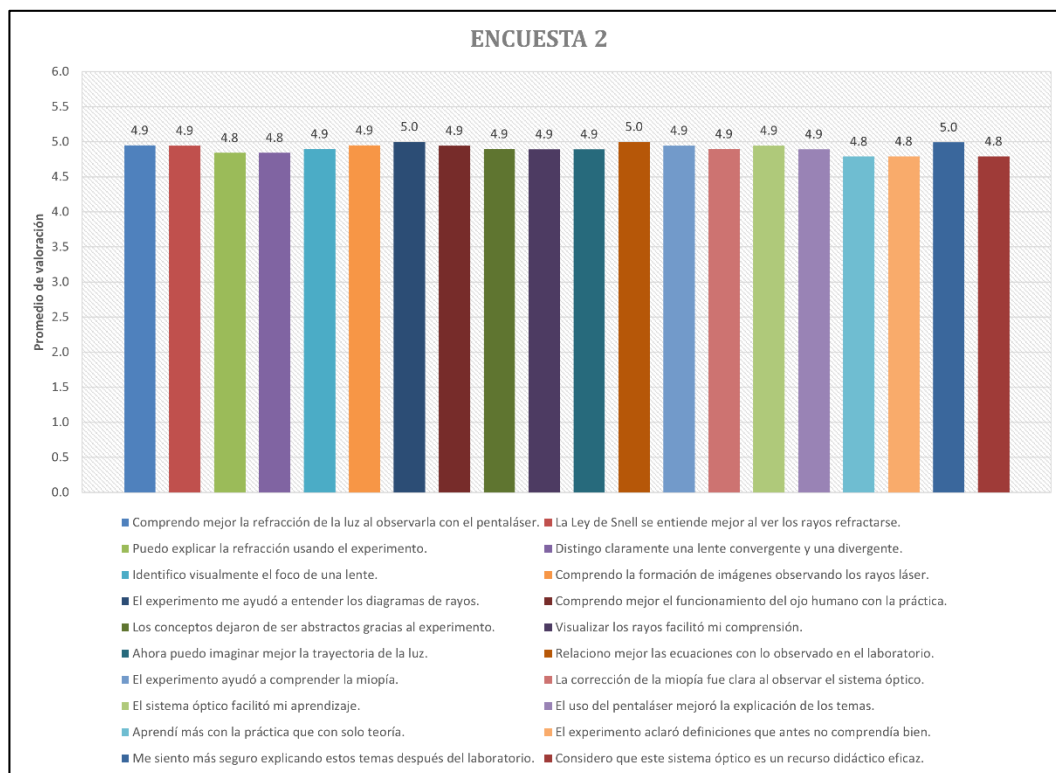


Figura 49: Resultados cuantitativos de la Encuesta 2, realizada a los 25 estudiantes de quinto grado de secundaria de un colegio del distrito de Santa María de la provincia de Huacho.



### 3.1.2.1 Descripción general de los resultados en las encuestas.

Estas encuestas aplicadas antes y después de la experimentación con el sistema óptico se analizaron, considerando como medida de tendencia principal la media aritmética de cada ítem en una escala de 1 al 5.

✓ **Primero: Encuesta 1 (antes de las prácticas de laboratorio).**

Como se puede apreciar en la figura 34, los valores promedio se concentran entre 2,3 y 3,1; con una media global aproximada de 2,8; en este caso la media de los ítems se ubica por debajo del nivel alto de valoración en la encuesta, que para este caso es inferior a 4, lo que indica claramente que antes de la experimentación, la comprensión conceptual de los estudiantes, era moderada o baja, además, no se sentían plenamente seguros respecto a su aprendizaje, en consecuencia, se puede afirmar que

predominaba una percepción de dificultad en temas como estos, que requieren visualización.

✓ **Segundo: Encuesta 2 (después de las prácticas de laboratorio).**

En este caso, los valores promedio se sitúan entre 4,8 y 5,0; con una media global aproximada de 4,9; evaluando estos resultados, después del uso del sistema óptico, se tiene que las medias se aproximan al valor máximo de la escala y claramente se puede observar un alto grado de acuerdo con la mayoría de las afirmaciones. También se puede decir que la comprensión de estos temas, es percibida como sólida y confiable.

De estos resultados también se puede apreciar que de acuerdo a la Encuesta 1, aunque los valores son relativamente cercanos entre sí, se aprecia claramente que todos permanecen en un rango bajo a medio, indicando así una dificultad generalizada y no focalizada en un solo concepto. En cambio, en la Encuesta 2, los valores son altos y homogéneos, lo que sugiere que el impacto del sistema óptico es eficiente y global, beneficiando todos los aspectos evaluados. Todos estos resultados muestran una clara evidencia de un cambio cuantitativo claro y consistente tras la implementación del sistema óptico experimental construido.

### 3.1.2.2 Comparación descriptiva entre las encuestas.

*Tabla 11: comparación cuantitativa sobre los aspectos evaluados en las encuestas propuestas.*

Aspecto evaluado	Encuesta 1	Encuesta 2
Nivel promedio	Medio-bajo	Muy alto
Seguridad conceptual	Baja	Alta
Visualización	Deficiente	Clara
Relación entre la teoría y la realidad	Limitada	Sólida

Viendo estos resultados de la tabla 15, desde un enfoque descriptivo, el aumento aproximado en la escala valorativa,

representa una mejora muy significativa en los instrumentos educativos y la comprensión conceptual de los temas.

Como se aprecia en los resultados mostrados en las figuras 34 y 35, antes del laboratorio, los estudiantes manifestaban dificultades para comprender conceptos clave como la refracción de la luz, la Ley de Snell, la formación de imágenes y el funcionamiento del ojo humano desde la óptica geométrica, todas estas dificultades se reflejan en valoraciones bajas que se aprecia en esa encuesta, lo que nos indica una comprensión principalmente memorística, con escasa construcción de significado. Pero tras la experimentación, los altos valores sugieren que los estudiantes logran relacionar e internalizar los conceptos, comprenden su sentido físico y pueden explicarlos con mayor seguridad.

Uno de los hallazgos más relevantes y principal es el cambio en la capacidad de visualización, se puede afirmar que antes los estudiantes manifestaban una dificultad para imaginar las trayectorias de los haces de láser y sobre todo la formación de las imágenes, además para manera de cómo interpretar los diagramas, en cambio después de la observación directa de las experimentaciones, haciendo uso del sistema óptico construido, se transformaron los conceptos abstractos en fenómenos observables que mejoran la comprensión de estos fenómenos.

Entonces se puede confirmar que el sistema óptico diseñado y construido, actúa eficientemente como un puente entre el modelo teórico y la realidad física.

#### IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Al haber realizado el análisis comparativo de todos los resultados obtenidos, tanto, mediante la simulación en el software OSLO EDU 6.6 y las experimentaciones con las prácticas de laboratorio, todo esto permite establecer una evaluación integral del sistema óptico diseñado y materializado para prácticas de laboratorio en óptica geométrica del nivel básico e intermedio. Es decir en términos generales, se puede observar una alta similitud entre las trayectorias de los rayos incidentes, previstas en las simulaciones realizadas con el software OSLO EDU 6.6 y aquellas observadas en las experimentaciones realizadas con el sistema óptico físico y el Pentaláser, toda esta coincidencia se evidencia principalmente en los fenómenos de refracción, y corrección de la miopía en el ojo humano, desde el punto de vista de la óptica geométrica, en donde las direcciones de propagación, los puntos de convergencia de los haces de láser y las posiciones focales de las lentes diseñadas y materializadas, presentan una similitud clara entre el modelo teórico, simulado y el comportamiento real del sistema.

Ahora, a pesar de todas estas similitudes, también se identifican pequeñas desviaciones entre los resultados simulados y los experimentales, los cuales pueden atribuirse principalmente a deficiencias en el proceso de materialización de las lentes, entre estos se incluyen pequeñas imprecisiones en las caras de las lentes, por donde pasan los haces de láser, también se detectó, pequeñas variaciones en el índice de refracción real, respecto al valor idealizado utilizado en la simulación, asimismo, se detectó durante las experimentaciones, fenómenos como la reflexión interna parcial en las superficies de las lentes y la dispersión de la luz, que contribuyen a diferencias menores en la definición y nitidez de las trayectorias observadas, pero aun así, estas limitaciones, no invalidan el sistema óptico, sino que representan oportunidades para el análisis crítico y la discusión científica dentro del proceso de aprendizaje.

Pero si hablamos en relación con el funcionamiento global del sistema óptico, todos los resultados experimentales demuestran que este sistema diseñado y materializado, opera de manera adecuada y consistente para los

finés educativos propuestos, ya que este sistema permite visualizar de forma clara los procesos de refracción y propagación de la luz a través de las lentes, reproduciendo con éxito los esquemas de los haces de láser incidentes, esperados teóricamente, toda esta coincidencia entre las trayectorias observadas experimentalmente y las obtenidas en la simulación en OSLO EDU 6.6, refuerza la validez del diseño y materialización del sistema, confirmando así, que los principios de la óptica geométrica se manifiestan de una forma observable y comprensible en el entorno de las prácticas de laboratorio.

Ahora hablando con respecto al Pentaláser, su desempeño resultó satisfactorio, tanto desde el punto de vista técnico como el didáctico, todas las mediciones y pruebas realizadas indican una estabilidad adecuada del voltaje de salida, lo que puede garantizar una emisión constante de los haces de láser durante el desarrollo de las prácticas experimentales. Además, cabe resaltar que el funcionamiento individualizado de cada uno de los cinco haz de láser permite generar múltiples rayos paralelos bien definidos y facilitando así la observación simultánea de diversas trayectorias, mejorando significativamente la comprensión de la refracción en los diferentes medios. En términos de seguridad, el sistema óptico, cumple con todos los requerimientos básicos para su uso en un entorno educativo, siempre que se respeten las normas básicas de manejo de instrumentos electrónicos de laboratorio, lo que lo convierte en una herramienta efectiva para prácticas de laboratorio con estudiantes de secundaria.

Desde una perspectiva académica y pedagógica, se puede decir y afirmar que el sistema óptico diseñado demuestra una alta utilidad como material didáctico para los laboratorios de física y, en consecuencia, su implementación permite reducir el nivel de abstracción de los conceptos de la óptica geométrica, favoreciendo así la visualización directa de los fenómenos que tradicionalmente se suelen abordar de manera, únicamente teórica. Todos estos resultados obtenidos, tanto los cuantitativos como los cualitativos, evidencian que el uso del sistema óptico, contribuye significativamente a mejorar la comprensión conceptual, la relación entre la teoría y la práctica y a su vez, la seguridad de los estudiantes al abordar los temas estudiados, por

lo tanto se puede afirmar que el sistema presenta un alto potencial para ser implementado de manera sistemática en prácticas de laboratorio educativas de óptica geométrica, en un nivel básico e intermedio, constituyéndose como un recurso didáctico eficaz que fortalece el aprendizaje significativo en la enseñanza del curso de física.

## V. CONCLUSIONES

1. A partir de todos los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas antes y después de la implementación del sistema óptico experimental, para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO, se puede concluir que la enseñanza de la óptica geométrica, basada exclusivamente en métodos teóricos, presenta limitaciones significativas en la comprensión de los estudiantes de educación secundaria, todos estos datos evidencian que, antes de la experimentación, el nivel de comprensión promedio se situaba alrededor de un 45 % en los temas estudiados, lo que deja afirmar que los conceptos abordados resultan abstractos y difíciles de visualizar cuando no se cuenta con recursos experimentales.
2. La implementación de este sistema óptico experimental diseñado, compuesto por un Pentaláser de haces rojos de longitud de onda de 630 nm, con prismas o lentes acrílicos transparentes, Plano convexo, Biconvexa y Bicóncava, además de plantillas milimetradas y del ojo humano, permitió una mejora sustancial en la comprensión de los conceptos fundamentales de la óptica geométrica, además de las encuestas posteriores a las prácticas experimentales, reflejan un nivel de comprensión aproximado del 98 % en los temas ya estudiados, evidenciando un impacto positivo y significativo en el aprendizaje y una clara superación de los estudiantes.
3. También se concluye que la visualización directa de los fenómenos ópticos estudiados, como la refracción de la luz, la aplicación de la Ley de Snell, la formación de imágenes y el funcionamiento del ojo humano, facilita radicalmente la asimilación de conceptos anteriormente solo podían ser percibidos como abstractos, es así que el uso del sistema óptico permitió a los estudiantes, relacionar de manera efectiva las ecuaciones y definiciones teóricas con situaciones reales observadas en las prácticas de laboratorio.
4. Este sistema óptico experimental, diseñado y materializado, demostró ser un recurso didáctico eficaz, para así promover un aprendizaje significativo en los temas de la óptica geométrica de los niveles básicos e intermedios. Todas estas experimentaciones favorecieron no solo la comprensión conceptual, sino también el incremento de la confianza en los estudiantes

al poder resolver ejercicios más complejos, interpretar los diagramas de rayos y explicar los fenómenos ópticos estudiados, superando la dependencia de la memorización de las fórmulas.

5. El uso del software OSLO EDU 6.6, en el diseño de las lentes, así como el uso del PROTEUS 8 PROFESIONAL, con las herramientas de simulación electrónica para el circuito controlador de los láseres, permitió garantizar un diseño funcional y adecuado para las prácticas de laboratorio en óptica geométrica para el nivel básico e intermedio, todo esto demuestra la importancia de integrar las herramientas tecnológicas en el desarrollo de recursos educativos para prácticas experimentales.
6. Ahora en función de los resultados obtenidos, se pudo concluir que el sistema óptico experimental cumple con el objetivo general y los objetivos específicos planteados en esta tesis, validando así la hipótesis propuesta inicialmente, además que la experimentación se consolida como una estrategia fundamental para mejorar la enseñanza de la óptica geométrica en el curso de física, contribuyendo de gran manera a transformar la percepción de la física como una disciplina accesible, comprensible y aplicada.
7. Finalmente, se puede concluir que la incorporación de sistemas experimentales como el desarrollado en esta tesis, puede ser replicada y adaptada en instituciones educativas del nivel secundario, contribuyendo así a fortalecer la enseñanza del curso de física y fomentando un aprendizaje activo, reflexivo y significativo en los estudiantes de nivel secundario en los niveles de básico e intermedio.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda principalmente, que el sistema óptico experimental sea utilizado en un entorno de laboratorio adecuado y siempre bajo la supervisión del docente del curso, a fin de garantizar el uso correcto de los componentes ópticos y electrónicos, así también como la seguridad de los estudiantes durante las prácticas experimentales.
2. Dado que los elementos ópticos del sistema, como las lentes, están fabricadas en acrílico transparente, hay que tener en cuenta que hay que manipularlos con cuidado para así evitar rayaduras que puedan afectar la calidad de la visualización de los rayos láser, también, se sugiere almacenarlos en estuches o recipientes protectores cuando no estén en uso.
3. Hay que tener en cuenta que se tiene que evitar el contacto directo de las lentes con superficies calientes o a altas temperaturas, ya que su exposición prolongada podría deteriorar las superficies acrílicas y afectar así el funcionamiento del sistema, también hay que considerar que la limpieza de las lentes y prismas debe realizarse únicamente con paños suaves, secos y con materiales específicos para limpieza de material óptico.
4. De igual forma se recomienda no exponer el Pentaláser a ambientes húmedos, ni permitir de ningún modo que le caiga agua directamente, ya que esto podría dañar el circuito electrónico interno y comprometer así el correcto funcionamiento del sistema óptico experimental.
5. Se aconseja estrictamente, no abrir el Pentaláser innecesariamente. La apertura de la caja protectora, debe realizarse únicamente cuando sea estrictamente necesario, como en el caso de reemplazo de algún diodo láser o mantenimiento técnico específico, y de preferentemente, esto lo debe de realizar un personal capacitado.
6. Se recomienda utilizar exclusivamente el cargador adecuado para el Pentaláser y especificado al inicio en los materiales, respetando los valores nominales de voltaje y corriente, ya que el uso de cargadores no compatibles podría provocar sobrecalentamiento, fallas en el circuito o daños irreversibles en los láseres.

7. Se recomienda que previamente a una práctica de laboratorio, se debe instruir a los estudiantes sobre el uso correcto del sistema óptico experimental, incluyendo normas básicas de seguridad, como evitar la exposición directa de los haces del Pentláser, a los ojos y no apuntar de igual forma los haces hacia otras personas.
8. Se sugiere que este sistema óptico se deba implementar e integrar su uso, como complemento permanente de la enseñanza teórica de la óptica geométrica en el curso de física, con el fin de reforzar la comprensión conceptual y promover un aprendizaje significativo, basado en la experimentación.
9. Por último, se recomienda que, para futuras investigaciones, se consideren las mejoras y la ampliación del sistema óptico experimental, incorporando nuevas lentes de diferentes materiales, ajustes en el diseño, con el objetivo de adaptarlo a otros niveles educativos o a contenidos más avanzados de la óptica, además se podría implementar un riel óptico para la fijación de los implementos del sistema óptico y así evitar errores en la adquisición de la toma de datos.

## REFERENCIAS

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Carmona Riveros, E. A., Arango Jiménez, J. E., & Gallego Becerra, H. A. (2016). *Diseño e implementación de guías didácticas de laboratorio modular de óptica para la enseñanza de la física en grado 11 en el Instituto Tecnológico de Dos Quebradas y la Institución Educativa Santa Isabel* [Proyecto de investigación, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio UTP. <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/4eae3240-50f5-4a8c-87f8-988d9854f761/content>
- Centro de Investigación en Matemáticas. (2016). *Midiendo la longitud de onda de la luz*. [https://www.cimat.mx/ciencia\\_para\\_jovenes/tcj/2016/optica.pdf](https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/tcj/2016/optica.pdf)
- Cruz Ramírez, H. (2017). *Óptica geométrica II: Lentes e imágenes (Versión 2.0)*. Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México. [https://www.paginaspersonales.unam.mx/files/5268/Optica\\_geometrica\\_II.pdf](https://www.paginaspersonales.unam.mx/files/5268/Optica_geometrica_II.pdf)
- Durán, J. L., Gámiz, J., Domingo, J., & Martínez, H. (2020). *Electrónica: GSM instalaciones eléctricas y automáticas*. Lexus.
- Figueras Atienza, M. (2013). *Óptica geométrica: La óptica sin ondas (Licence CC BY-SA)*. Barcelona: Fundación para la Universidad Oberta de Catalunya / Universitat Oberta de Catalunya. <https://archive.org/details/2013OpticaGeometrica>
- Griffith, W. T. (2008). *Física conceptual*. McGraw-Hill/Interamericana.
- Hecht, E. (2017). *Optics (5th ed.)*. Pearson Education.

- INACAL. (2016). *NTP 399.010:2016. Seguridad en laboratorios. Requisitos generales*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2017). *NTP 399.012:2017. Equipos de laboratorio. Uso, manipulación y mantenimiento*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019). *NTP IEC 60825-1:2019. Seguridad de los productos láser*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2020). *NTP 399.015:2020. Buenas prácticas en laboratorios educativos de ciencias*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.
- Laguna Dávila, A. de los Á., Cruz Cruz, C. Z., & Balmaceda Mendoza, C. M. (2020). *Estrategias metodológicas para facilitar el contenido Reflexión especular de la luz* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua]. Repositorio UNAN. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/12967/1/20120.pdf>
- Lambda Research Corporation. (2021). *OSLO: Optics software for layout and optimization. User guide* (Rev. 4 de junio de 2021). Lambda Research Corporation.
- Mapro Ingeniería S.A. (s. f.). *Potenciómetros: definiciones técnicas*. <https://maprosensor.com/pubimg/files/Definiciones%20tecnicas%20en%20potenciometros.pdf>
- Mazo Vivar, A., Velasco Maíllo, S., & García Molina, R. (2016). *Experimentos en óptica geométrica: Nivel básico e intermedio* (p. 81). University of Murcia Press.
- Mendiola Venegas, S. E., Acevedo Pérez, S. M., & Meneses Castillo, J. E. (2020). *Prácticas de laboratorio para el aprendizaje del contenido espejos planos*

y esféricos [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua]. Repositorio UNAN. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/12978/12/20115.pdf>

ON Semiconductor. (s.f.). *LM317 – 3 terminal adjustable regulators*. ON Semiconductor. <https://www.onsemi.com/products/power-management/linear-regulators-ldo/LM317>

Oxford University Press. (s. f.). *Matemática: un enfoque aplicado*. Oxford University Press.

Pascuala Villalobos, A., Hernández Poveda, J., Fimia Gil, J., & Mateos Álvarez, M. (1998). *Prácticas de óptica geométrica y radiométrica*. Universidad de Alicante, Secretariado de Publicaciones.

Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., & Pedrotti, L. M. (2018). *Introduction to Optics (3rd ed.)*. Cambridge University Press.

Rossano, V. (2021). *Proteus VSM: Simulación de circuitos electrónicos*. Users.

Sánchez, E. (2020). *Óptica geométrica clínica*. Bogotá: Editorial Unisalle.

Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2018). *Circuitos microelectrónicos*. Oxford University Press.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2020). *Physics for Scientists and Engineers (10th ed.)*. Cengage Learning.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2020). *University Physics with Modern Physics (15th ed.)*. Pearson Education.

## ANEXOS

### *Anexo 1: Guía de laboratorio de óptica geométrica.*

#### **“Cuando la Luz se Adelanta: Visualizando y Corrigiendo la Miopía con Lentes”**

##### **A.1.1 Introducción.**

El ojo humano se puede comparar con un delicado sistema óptico en el que la luz al ingresar al ojo, sufre procesos de refracción en medios transparentes como son la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. Desde una perspectiva de la óptica geométrica, el ojo puede modelarse como un sistema de lentes capaz de formar imágenes nítidas sobre la retina. Sin embargo, cuando este sistema presenta alteraciones, se producen defectos visuales, que se puede traducir como imágenes borrosas.

Es así que uno de los defectos más comunes es la miopía, caracterizada por la formación de la imagen antes de la retina, donde se debe formar la imagen, lo que impide una visión clara de objetos lejanos. Este fenómeno puede analizarse y comprenderse experimentalmente utilizando el sistema óptico propuesto, que está conformado por un Pentálar y lentes Biconvexas y Bicóncavas.

Para esta práctica de laboratorio se diseñó e implementó un sistema óptico didáctico que simula el ojo miope y su corrección mediante una lente bicóncava, que permite a los estudiantes observar directamente cómo la refracción de la luz determina la calidad de la imagen formada. De este modo, conceptos abstractos de la física se transforman en experiencias observables y medibles.

##### **A.1.2 Objetivos.**

**a. Objetivo general:** Analizar experimentalmente la formación de imágenes y la corrección de la miopía.

**b. Objetivos específicos:**

- ✓ Determinar la distancia focal de una lente biconvexa.
- ✓ Evidenciar la miopía.
- ✓ Analizar la refracción en lentes.
- ✓ Comprobar la corrección con lente bicóncava.

### **A.1.3 Pregunta de investigación.**

¿En qué medida el sistema óptico construido mediante el uso de un Pentaláser y lentes convergentes y divergentes permite validar experimentalmente la corrección de la miopía y facilita la comprensión de los conceptos teóricos de la óptica geométrica en los estudiantes?

### **A.1.4 Definición de variables.**

#### **a. Variable independiente:**

- ✓ Tipo de lente utilizada (biconvexa y bicóncava).

#### **b. Variable dependiente:**

- ✓ Posición del punto de convergencia de los haces láser (formación de la imagen).

#### **c. Variables controladas:**

- ✓ Distancia entre la fuente láser y la lente.
- ✓ Alineación del sistema óptico.
- ✓ Longitud del modelo de ojo.
- ✓ Condiciones ambientales.

### **A.1.5 Formulación de la hipótesis**

Al implementar un sistema óptico didáctico basado en un Pentaláser y lentes convergentes y divergentes para simular el ojo humano, entonces es posible validar experimentalmente la corrección de la miopía y mejorar significativamente la comprensión de los conceptos teóricos de la óptica geométrica, al así permitir la visualización directa de la refracción y la formación de imágenes.

### **A.1.6 Materiales**

- ✓ Pentaláser con control individual de haces: dispositivo emisor de cinco haces láser paralelos de luz visible (roja), que permite trazar trayectorias rectilíneas bien definidas para el análisis de la refracción en las prácticas de laboratorio de la óptica geométrica, para un nivel básico e intermedio.
- ✓ Lente biconvexa (convergente): lente con distancia focal nominal  $f = +200$  mm, utilizada para modelar el sistema óptico del ojo humano (córnea–cristalino).

- ✓ Lente biconcava (divergente): lente con distancia focal nominal  $f = -200$  mm, empleada para la corrección de la miopía.
- ✓ Plantilla del ojo humano (escala didáctica): representación bidimensional del globo ocular que incluye el eje óptico y el plano de la retina. La plantilla posee un diámetro de 260 mm, valor mayor que la distancia focal de la lente biconvexa, lo que permite observar la convergencia adelantada y la convergencia corregida de los haces del Pentaláser.
- ✓ Regla milimetrada: con resolución mínima de 1 mm, utilizada para medir distancias focales y posiciones relativas de los elementos ópticos.
- ✓ Superficie plana de trabajo: mesa de laboratorio.

### A.1.7 Diseño experimental.

Realizar un montaje similar al de la Imagen 01 para poder realizar la experimentación.

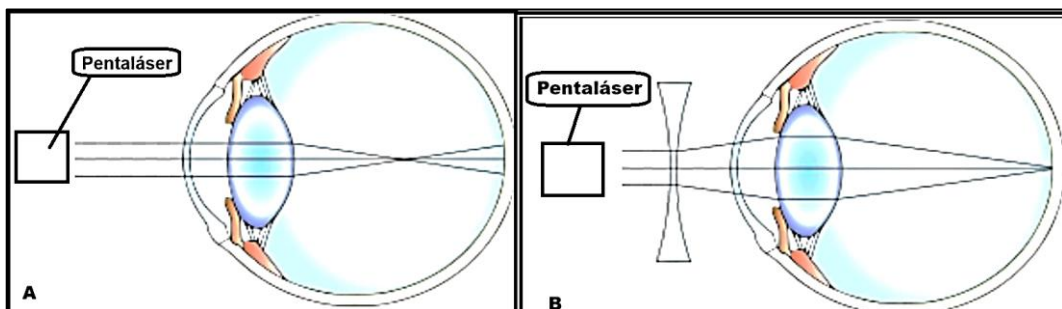


Imagen 01: Montaje lineal con Pentaláser, lentes y plantilla del ojo.

### A.1.8 Procedimiento experimental.

Se realizan mediciones del foco antes y después de la corrección, para esto, habiendo ubicado la lente Biconvexa en la plantilla del ojo sobre el eje óptico, hay que colocar el Pentaláser de modo que emita haces paralelos y alineados a la lente.

Luego se procede a medir la distancia desde la lente biconvexa hasta el punto donde convergen los haces del Pentaláser, siendo esta el foco de la lente biconvexa, realizar esta medición 20 veces para obtener datos estadísticamente significativos y anotarlos en la tabla A, estos datos representan la simulación de miopía, al no converger en la retina, la imagen observada se verá borrosa.

Ahora Insertar la lente bicóncava delante de la lente biconvexa e ir ajustando la distancia entre lentes hasta lograr que la convergencia de los haces del Pentaláser, ocurra sobre la retina, registrar nuevamente 20 mediciones del nuevo foco y de la distancia entre las 2 lentes, y anotar los datos en la tabla B.

A su vez en cada tabla realizar la propagación de incertidumbre de estas mediciones aplicando la desviación estándar muestral.

### A.1.9 Toma de datos.

Tabla A. *Posición del foco en el ojo miope (sin corrección)*

Medición	Distancia focal (mm)	Medición	Distancia focal (mm)
1		11	
2		12	
3		13	
4		14	
5		15	
6		16	
7		17	
8		18	
9		19	
10		20	
<b>Promedio</b>		<b>Desviación estándar muestral</b>	

Tabla B. *Corrección de la miopía con lente bicóncava.*

Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)	Medición	Distancia entre las lentes (mm)	Distancia a la retina (mm)
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		
<b>Promedio</b>			<b>Desviación estándar muestral</b>		

### **A.1.10 Preguntas orientadoras**

- F. ¿Cómo se manifiesta la refracción de la luz al atravesar una lente biconvexa y cómo se relaciona con la formación del foco observado experimentalmente? (*Objetivo: determinar la distancia focal*)
- G. ¿Por qué un exceso de convergencia provoca que la imagen se forme antes de la retina en el modelo del ojo miope? (*Objetivo: evidenciar la miopía*)
- H. ¿De qué manera la refracción divergente en una lente bicóncava modifica la trayectoria de los rayos luminosos? (*Objetivo: analizar la refracción*)
- I. ¿Cómo se explica, desde la óptica geométrica, que la combinación de lentes permita desplazar el foco hasta la retina? (*Objetivo: comprobar la corrección*)
- J. ¿Qué relación existe entre los valores experimentales obtenidos y la ecuación de las lentes delgadas? (*Objetivo: relacionar teoría y experimento*)

### **A.1.11 Conclusiones.**

### **A.1.12 Evaluación del método.**

### **A.1.13 Bibliografía.**

Hecht, E. (2017). *Optics* (5th ed.). Pearson Education.

Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., & Pedrotti, L. M. (2018). *Introduction to Optics* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2020). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2020). *University Physics with Modern Physics* (15th ed.). Pearson Education.

Para continuar con los Anexos 2 y 3, se tiene que especificar que los ítems de las ENCUESTAS, 1 y 2 se estructuraron como enunciados afirmativos bajo una escala tipo Likert (1 - 5), que están únicamente formulados para evaluar el nivel de comprensión de los conceptos básicos de la óptica geométrica, tales como son la refracción de la luz, la Ley de Snell y el funcionamiento del ojo humano, así como la percepción de la dificultad y el nivel de abstracción de dichos contenidos.

**Ítem 1:** Comprendo qué es la refracción de la luz solo con la explicación teórica.

**Ítem 3:** Puedo aplicar la Ley de Snell en ejercicios.

**Ítem 5:** Entiendo el significado físico de la distancia focal.

**Ítem 7:** Puedo interpretar diagramas de rayos del libro

**Ítem 9:** Los conceptos de óptica geométrica me resultan abstractos.

**Ítem 11:** Me resulta difícil relacionar las fórmulas con situaciones reales.

**Ítem 13:** La explicación teórica no siempre me permite visualizar lo que ocurre con la luz.

**Ítem 15:** Me siento seguro resolviendo ejercicios sobre lentes.

**Ítem 17:** Me siento confiado interpretando problemas sobre el ojo humano.

**Ítem 19:** Considero suficiente el aprendizaje solo con teoría.

**Ítem 2:** Entiendo la Ley de Snell explicada en clase.

**Ítem 4:** Comprendo la diferencia entre una lente convergente y una divergente.

**Ítem 6:** Comprendo la formación de imágenes usando solo esquemas teóricos

**Ítem 8:** Entiendo el funcionamiento del ojo humano explicado solo con teoría.

**Ítem 10:** Me cuesta imaginar la trayectoria de los rayos de luz.

**Ítem 12:** Aprendo óptica principalmente memorizando fórmulas.

**Ítem 14:** Comprender la miopía sin experimentos es complicado

**Ítem 16:** Podría explicar la refracción a otra persona usando solo teoría.

**Ítem 18:** Puedo identificar correctamente el foco en ejercicios escritos

**Ítem 20:** Mi comprensión de la óptica geométrica es adecuada sin laboratorio.

## Anexo 2: Resultados de la encuesta antes de la experimentación

Cuestionario de evaluación de la comprensión de la óptica geométrica																				
Estudiante	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11	Ítem 12	Ítem 13	Ítem 14	Ítem 15	Ítem 16	Ítem 17	Ítem 18	Ítem 19	Ítem 20
E1	2	2	3	3	4	5	2	1	2	3	2	4	5	3	2	3	2	3	1	2
E2	3	3	4	2	2	2	4	1	4	4	4	2	2	2	2	2	5	2	4	3
E3	3	2	4	1	3	3	2	3	2	2	3	3	3	1	2	2	3	2	2	3
E4	2	4	1	4	3	4	2	2	2	1	2	2	4	2	3	4	2	3	3	3
E5	3	3	1	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	4	4	2	3
E6	3	2	1	3	2	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	5	2	2	3
E7	3	2	4	3	1	2	2	1	2	5	4	3	3	1	3	3	3	3	3	3
E8	4	3	3	2	4	2	2	1	2	4	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3
E9	3	4	2	1	2	2	3	1	3	4	3	3	2	4	3	3	4	2	1	4
E10	2	3	2	4	3	2	2	2	3	2	3	4	3	2	3	2	4	2	3	3
E11	2	3	2	4	3	5	3	2	3	2	2	2	3	3	2	4	2	3	2	3
E12	4	3	1	2	2	3	4	2	4	2	5	4	3	3	1	5	4	2	3	1
E13	4	2	2	4	3	2	2	2	2	3	3	3	5	2	3	3	4	5	4	3
E14	2	3	3	3	4	4	3	5	3	2	2	2	3	4	4	4	3	3	1	3
E15	2	2	1	2	1	3	3	3	3	2	4	3	4	3	4	4	3	2	2	3
E16	3	3	3	2	2	2	4	3	5	4	1	3	4	2	3	2	3	4	2	3
E17	2	3	2	1	3	3	3	2	4	2	2	4	2	1	2	2	3	2	3	2
E18	2	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	4	3	4	3	3
E19	2	5	2	4	4	3	1	2	3	4	3	3	2	3	3	1	4	3	2	2
E20	3	2	3	4	2	3	4	3	3	2	4	2	3	4	3	3	1	3	2	3
E21	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	4	4	3	3	1	3	3	4	2	3
E22	2	3	3	2	3	1	2	3	1	3	1	3	2	2	2	4	3	3	2	3
E23	4	3	4	3	2	4	3	3	2	5	4	2	3	3	3	4	3	4	2	4
E24	3	2	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2
E25	5	3	3	4	3	3	2	4	3	2	3	4	3	4	3	4	2	3	2	2
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.8</b>	<b>2.76</b>	<b>2.44</b>	<b>2.88</b>	<b>2.6</b>	<b>2.88</b>	<b>2.6</b>	<b>2.4</b>	<b>2.72</b>	<b>2.84</b>	<b>2.88</b>	<b>2.92</b>	<b>3</b>	<b>2.56</b>	<b>2.56</b>	<b>3</b>	<b>3.12</b>	<b>2.92</b>	<b>2.32</b>	<b>2.8</b>

### Anexo 3: Resultados de la encuesta después de la experimentación

Cuestionario de evaluación de la comprensión de la óptica geométrica																				
Estudiante	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Ítem 8	Ítem 9	Ítem 10	Ítem 11	Ítem 12	Ítem 13	Ítem 14	Ítem 15	Ítem 16	Ítem 17	Ítem 18	Ítem 19	Ítem 20
E1	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
E2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
E3	5	4	4	5	5	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5
E4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
E6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5
E7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	5
E8	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
E9	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E10	5	4	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5
E12	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5
E14	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4
E15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E16	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5
E17	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E20	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
E21	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E22	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
E23	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4
E24	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.8</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>4.8</b>	<b>4.8</b>	<b>4.9</b>	<b>4.8</b>

## **Anexo 4: Manual de uso y mantenimiento del sistema óptico experimental para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica del nivel básico e intermedio, haciendo uso del software OSLO.**

### **A.4.1 Introducción.**

Este presente manual, tiene como finalidad principal, establecer los lineamientos adecuados para el uso seguro, la correcta manipulación y el mantenimiento preventivo del sistema óptico experimental diseñado y materializado para el desarrollo de prácticas de laboratorio en óptica geométrica de nivel básico e intermedio, este sistema ha sido construido como un recurso didáctico, el cual permita a los estudiantes visualizar de manera directa los fenómenos asociados a la propagación de la luz, favoreciendo así la comprensión de conceptos que resulten abstractos, cuando se aborden únicamente desde un enfoque teórico (Hecht, 2017).

El correcto uso del sistema óptico, garantiza su funcionamiento óptimo, prolongará la vida útil de sus componentes y asegurará condiciones adecuadas de seguridad, durante las prácticas de laboratorio realizada, en concordancia con las Normas Técnicas Peruanas establecidas por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2016).

### **A.4.2 Descripción general del sistema óptico experimental.**

Este sistema óptico experimental está conformado por los siguientes elementos principales, que se describirán a continuación:

- Un Pentaláser de baja potencia, diseñado únicamente para la emisión simultánea o independiente de cinco haces de luz láser rojo visibles, que permitan observar claramente la trayectoria de los haces luminosos.
- Tres lentes de material acrílico de 17 mm de espesor y con un índice de refracción de 1,49: una lente plano convexa, una lente biconvexa y una lente bicóncava, que serán utilizadas para el estudio de la convergencia y divergencia de la luz.

- Una primera plantilla circular tipo transportador de 180 mm de diámetro, destinada a la medición de ángulos de incidencia y refracción en las lentes.
- Una segunda plantilla del ojo humano de 26 mm de diámetro, que simula el sistema óptico del ojo y que a su vez permite analizar defectos visuales como la miopía.

El diseño óptico de este sistema fue realizado mediante el software OSLO EDU 6.6, que es una herramienta que permitió verificar el comportamiento de los elementos ópticos y asegurar así su adecuación para prácticas de laboratorio educativas (Lambda Research Corporation, 2015).

#### **A.4.3 Condiciones generales de uso.**

El sistema óptico experimental propuesto, debe ser utilizado exclusivamente en los laboratorios educativos y siempre bajo la supervisión de un docente o responsable del laboratorio, esto conforme a las buenas prácticas recomendadas para los laboratorios de ciencias (INACAL, 2020).

Ahora antes de iniciar cualquier práctica, siempre se debe verificar que todos los componentes se encuentren limpios, correctamente ensamblados y en buen estado, además el Pentaláser debe encenderse únicamente cuando los elementos ópticos estén correctamente posicionados para la práctica a realizar, evitando la exposición directa de los haces láser a los ojos de los estudiantes o cualquier otra persona, en concordancia con las normas de seguridad para productos láser (INACAL, 2019).

#### **A.4.4 Uso del Pentaláser.**

Para la manipulación del Pentaláser, el cual constituye el núcleo del sistema experimental y que debe ser manipulado con especial cuidado, durante su uso, se debe evitar las siguientes indicaciones:

- Dirigir los haces de luz directamente hacia los ojos de cualquier ser vivo, o superficies reflectantes que puedan causar lo mismo.
- Exponer este dispositivo a la humedad o al contacto con el agua, ya que esto puede dañar el circuito electrónico interno.

- Utilizar cargadores o fuentes de alimentación distintas a las especificadas dadas para el Pentaláser.

El uso de una fuente de alimentación adecuada garantizará siempre la estabilidad de los haces del Pentaláser en este caso y previene daños en el sistema eléctrico del dispositivo (INACAL, 2017).

#### **A.4.5 Uso de las lentes acrílicas.**

Con respecto a las lentes plano convexa, biconvexa y bicóncava, están fabricadas en acrílico transparente, material que presenta ventajas didácticas, pero que es susceptible a rayaduras si no se manipula correctamente, además de que es susceptible al calor extremo (Pedrotti et al., 2007).

Durante su uso, se recomienda explícitamente:

- Manipular las lentes, únicamente sujetándolas por los bordes.
- Evitar el contacto directo de las lentes, con superficies abrasivas.
- No limpiar las lentes en seco, ya que esto puede provocar micro rayaduras e interferir en las mediciones.

Todas estas medidas permiten preservar la calidad óptica de las lentes y así asegurar resultados experimentales confiables.

#### **A.4.6 Uso de las plantillas ópticas.**

Con respecto a la plantilla circular de 180 mm de diámetro debe colocarse siempre sobre una superficie plana y estable, para así garantizar la correcta medición de ángulos de difracción en las lentes. Por otro lado, la plantilla del ojo humano de 26 mm de diámetro debe utilizarse siempre en conjunto con las lentes biconvexa y bicóncava, para así simular el comportamiento del sistema visual humano.

El uso adecuado de estas plantillas permitirá relacionar los resultados experimentales con los principios teóricos de la óptica geométrica, fortaleciendo así el aprendizaje significativo (Ausubel et al., 1983).

#### **A.4.7 Mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento del sistema óptico experimental es únicamente de carácter preventivo, y debe realizarse de forma periódica y así asegurar su correcto funcionamiento, para ello se recomienda:

- Limpiar las lentes acrílicas, únicamente con un paño de microfibra ligeramente humedecido con alcohol o limpiador óptico.
- Verificar periódicamente el estado del Pentaláser, así como de la fuente de alimentación.
- Revisar siempre que las plantillas no presenten deformaciones.

Todas estas acciones se alinean con las recomendaciones de mantenimiento para equipos de laboratorio educativo (INACAL, 2017).

#### **A.4.8 Almacenamiento.**

Con respecto al almacenamiento, cuando el sistema no se encuentre en uso, todos los componentes deben almacenarse en un lugar seco, limpio y protegido del polvo, además de que las lentes acrílicas deben guardarse individualmente, preferentemente en fundas suaves, para evitar rayaduras.

Además, el Pentaláser debe almacenarse desconectado de su fuente de alimentación, reduciendo así el riesgo de los daños eléctricos (INACAL, 2016).

#### **A.4.9 Restricciones y advertencias.**

Por ningún motivo se debe abrir el Pentaláser, a menos que sea un caso estrictamente necesario, como, por ejemplo, el reemplazo de algún diodo láser, y siempre debe realizarlo un personal capacitado, el incumplimiento de estas recomendaciones de uso y mantenimiento puede afectar la precisión de los resultados experimentales y comprometer la seguridad de los usuarios y del propio sistema.

#### **A.4.10 Consideraciones finales.**

El cumplimiento de todas estas indicaciones establecidas en este manual, garantizará el uso seguro y eficiente del sistema óptico

experimental, contribuyendo así a una experiencia de aprendizaje más efectiva y alineada con las buenas prácticas de laboratorio, además la correcta manipulación y mantenimiento de este sistema, refuerzan su valor como recurso didáctico para la enseñanza de la óptica geométrica en niveles básicos e intermedios.

#### **A.4.11 Referencias Bibliográficas.**

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.

Hecht, E. (2017). *Optics* (5th ed.). Boston, MA: Pearson Education.

INACAL. (2016). *NTP 399.010:2016. Seguridad en laboratorios. Requisitos generales*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

INACAL. (2017). *NTP 399.012:2017. Equipos de laboratorio. Uso, manipulación y mantenimiento*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

INACAL. (2019). *NTP IEC 60825-1:2019. Seguridad de los productos láser*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

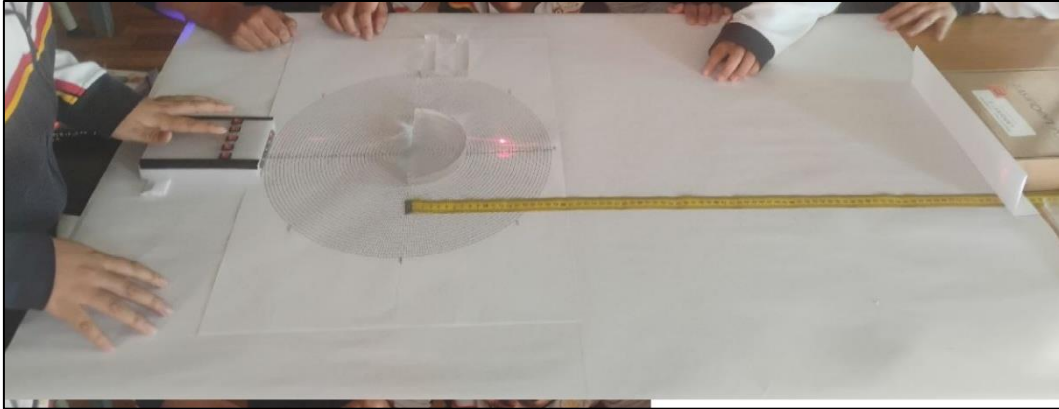
INACAL. (2020). *NTP 399.015:2020. Buenas prácticas en laboratorios educativos de ciencias*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Calidad.

Lambda Research Corporation. (2015). *OSLO User's Manual*. Littleton, MA: Lambda Research Corporation.

Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., & Pedrotti, L. M. (2007). *Introduction to Optics* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

## Anexo 5: Registro fotográfico de prácticas experimentales adicionales.

*Figura A.5.1. Desarrollo inicial de las prácticas de laboratorio, utilizando el sistema óptico sobre la plantilla circular.*



*Figura A.5.2. Trabajando con el sistema óptico experimental durante la actividad práctica de óptica geométrica.*



*Figura A.5.3. Interacción grupal durante la ejecución de la práctica experimental con el sistema óptico diseñado.*



Figura A.5.4. Diseños previos del esquema experimental para la disposición de las lentes, para el sistema óptico.

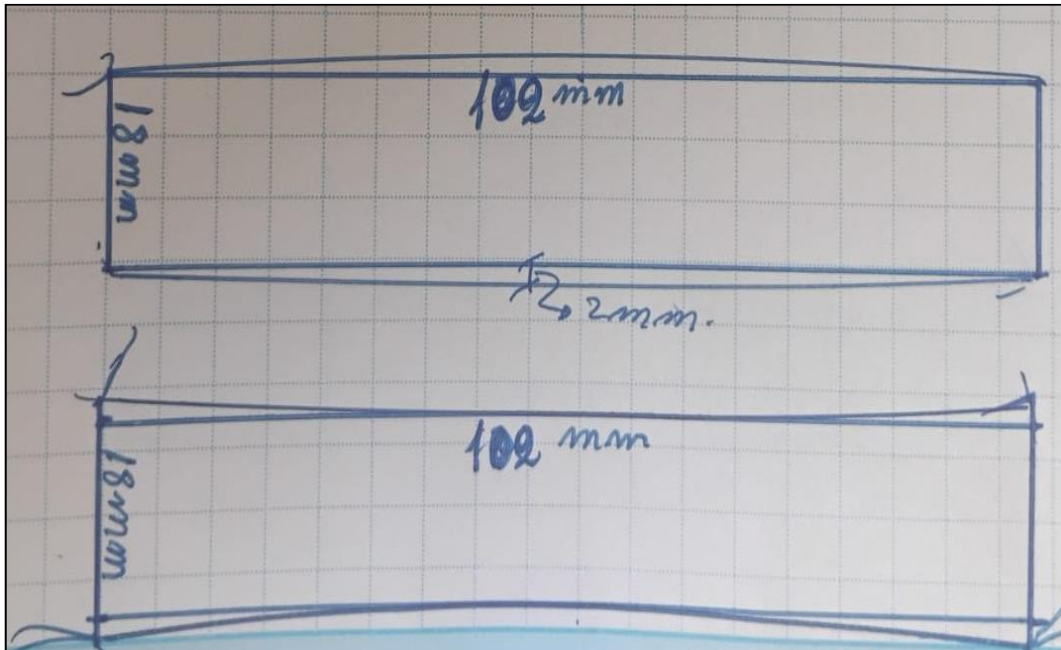
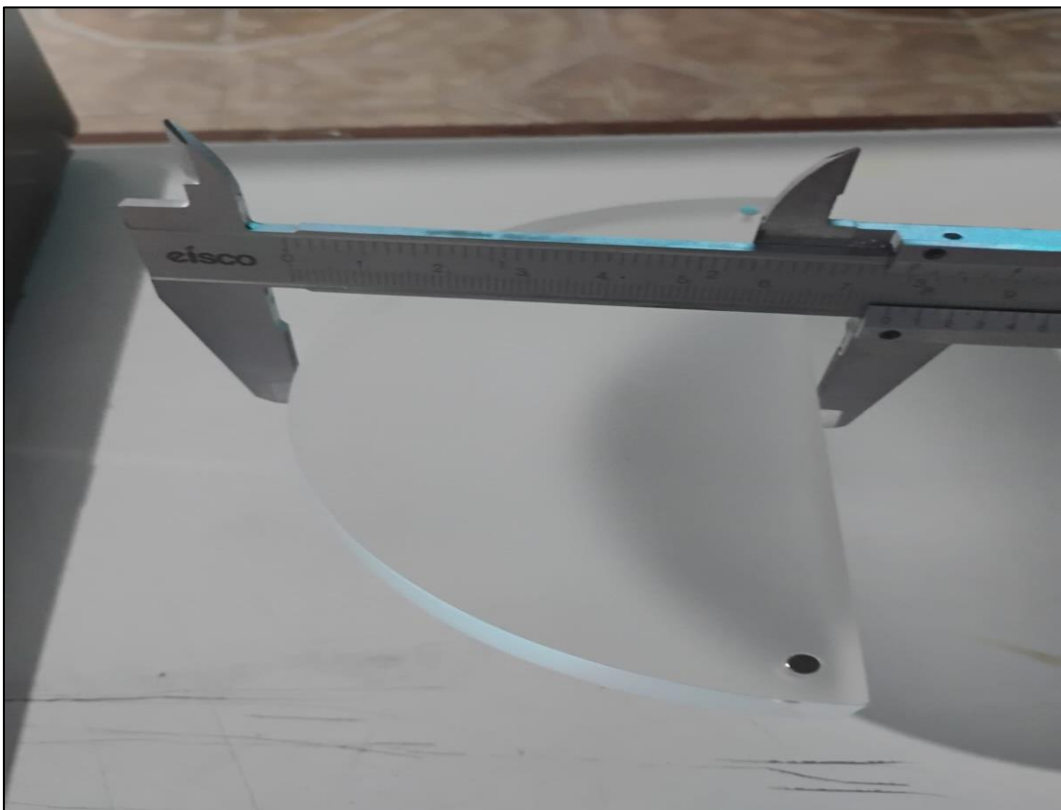
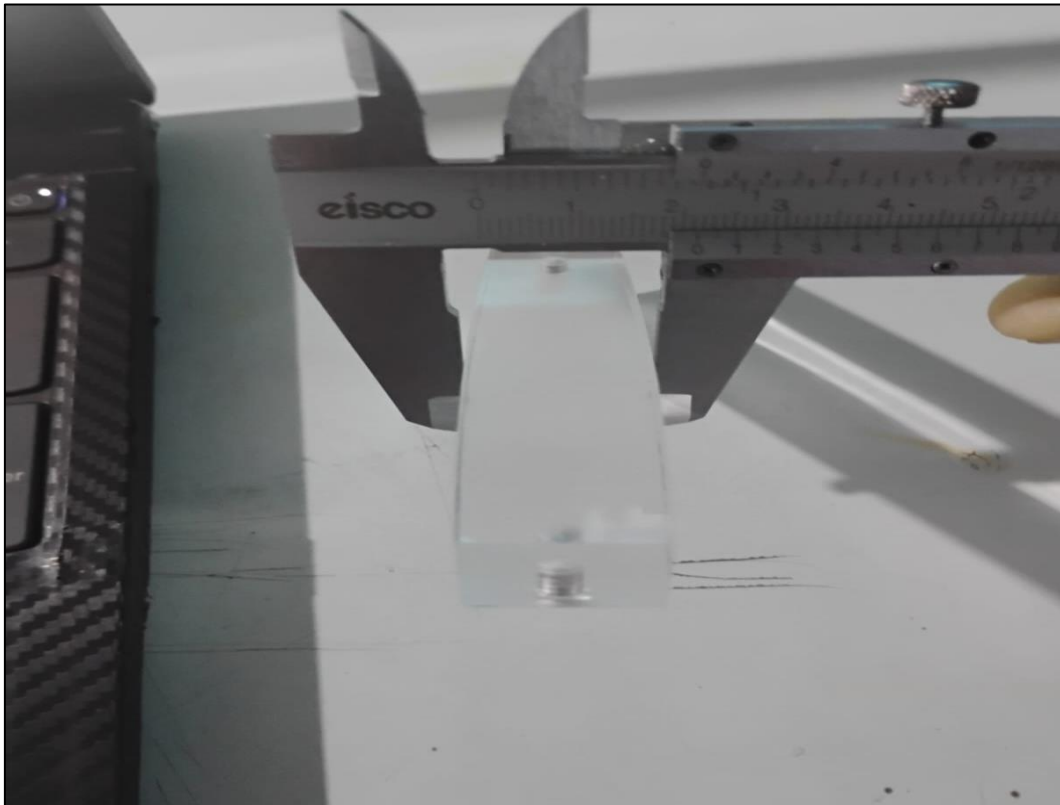


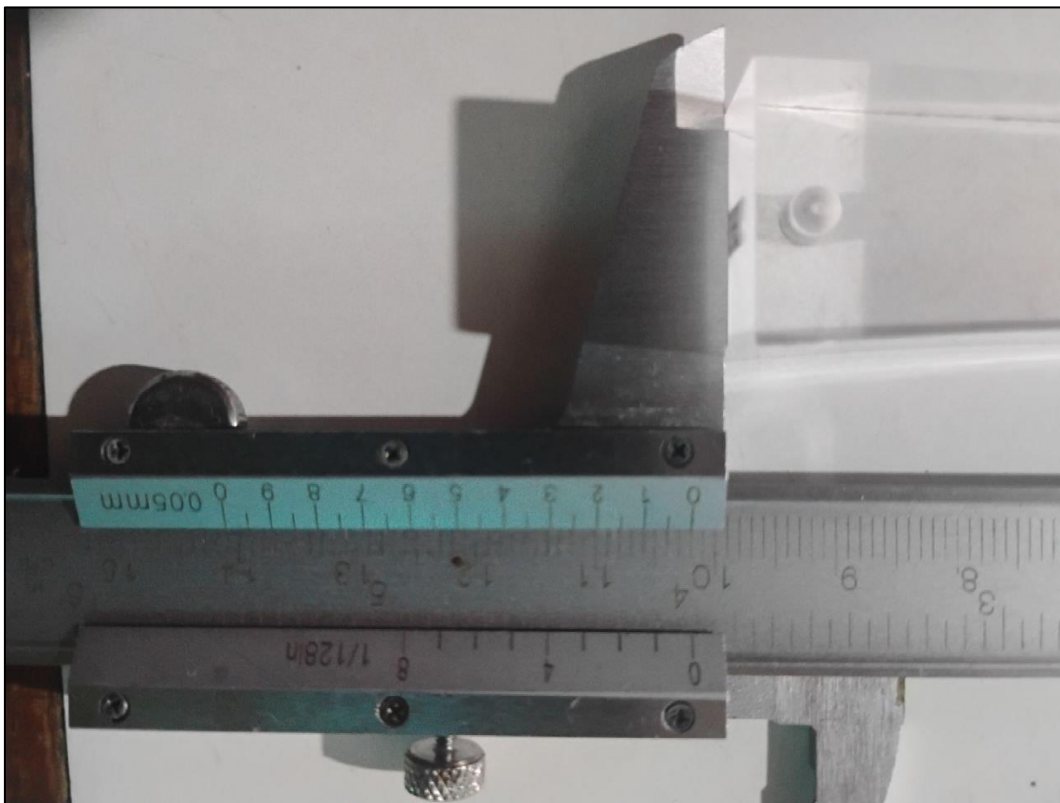
Figura A.5.5. Medición del radio de la lente plano – convexa empleada en el sistema óptico experimental.



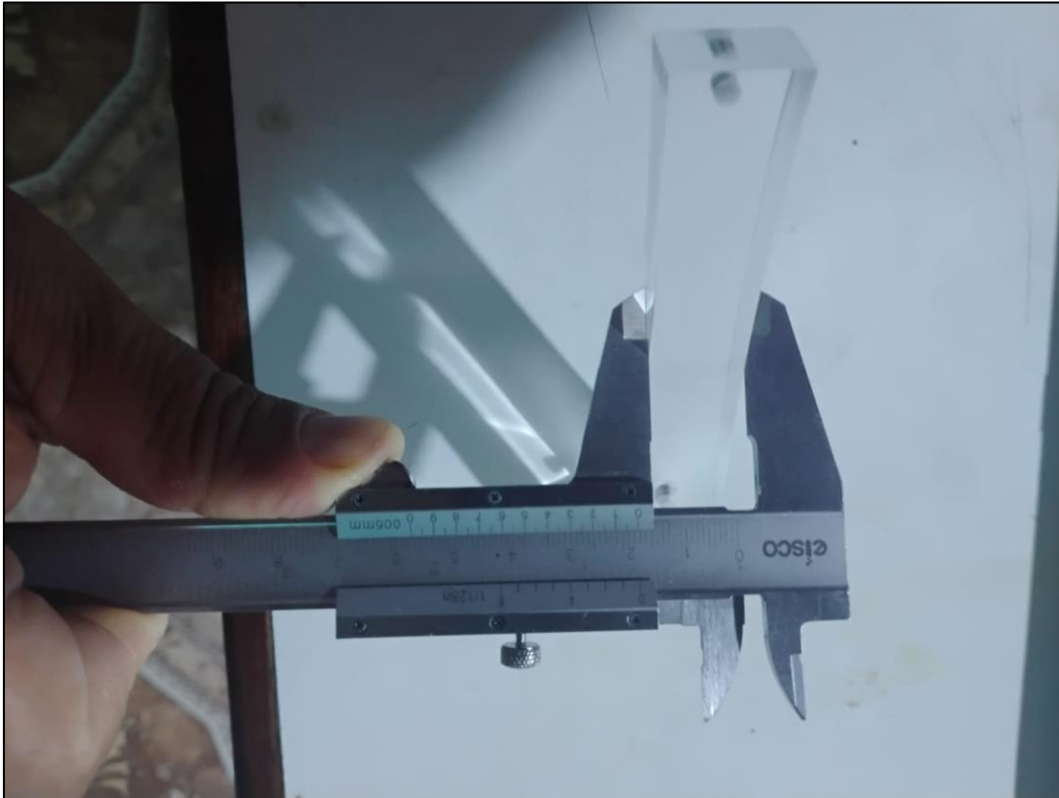
*Figura A.5.6. Verificación del ancho de la lente Biconvexa utilizada en las prácticas de laboratorio.*



*Figura A.5.7. Medición del largo de la lente Bicóncava mediante instrumentos de precisión, después del tratamiento térmico.*



*Figura A.5.8. Comprobación del ancho de la lente Bicóncava del sistema experimental, después del tratamiento térmico.*



*Figura A.5.9. comprobación del espesor de la lente Biconvexa después del tratamiento térmico.*

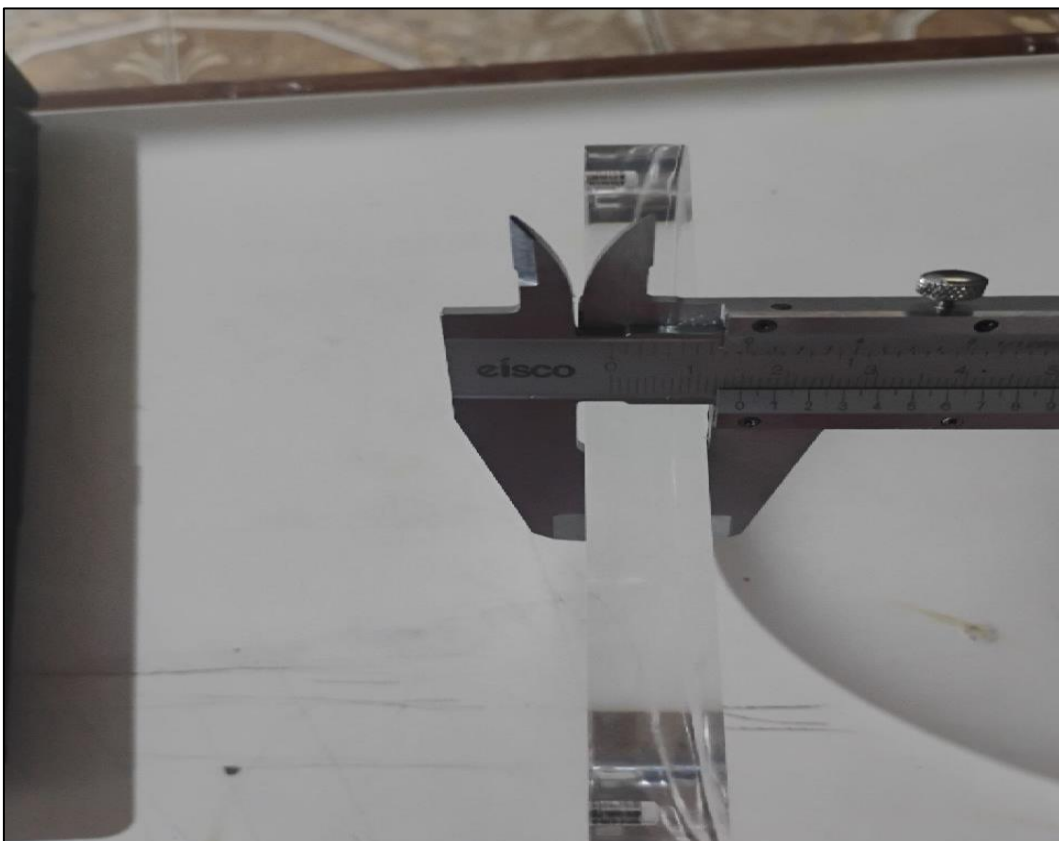


Figura A.5.10. Instrumento de medición empleado para la verificación de la iluminación durante la experimentación.

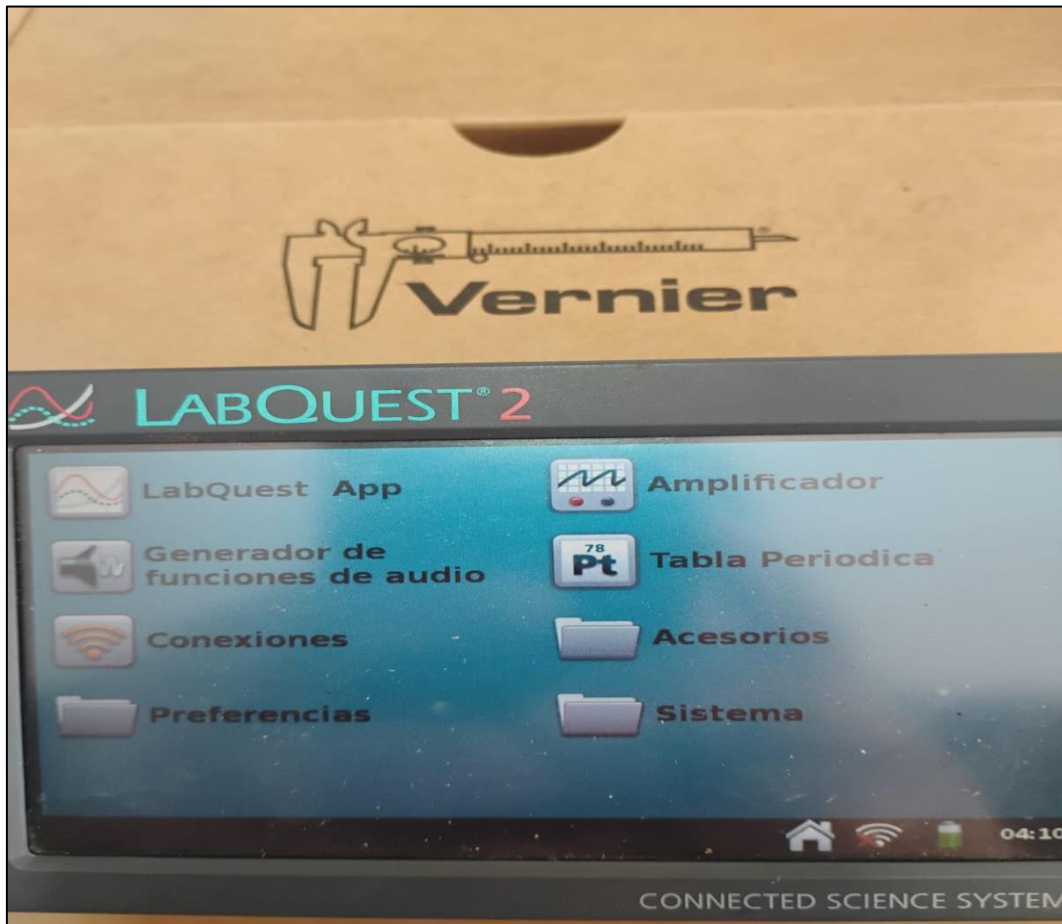


Figura A.5.11. conexión del luxómetro para la medición de la intensidad luminosa del sistema óptico.

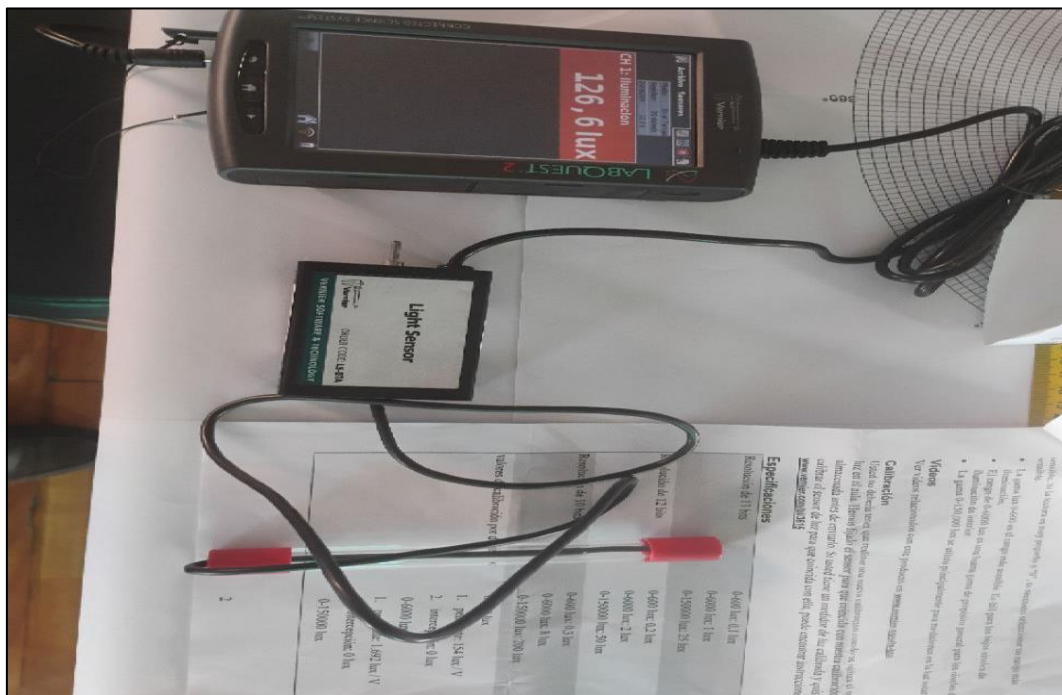


Figura A.5.12. Calibración del sensor de luminosidad para el registro de la intensidad luminosa ambiental previa a la experimentación.

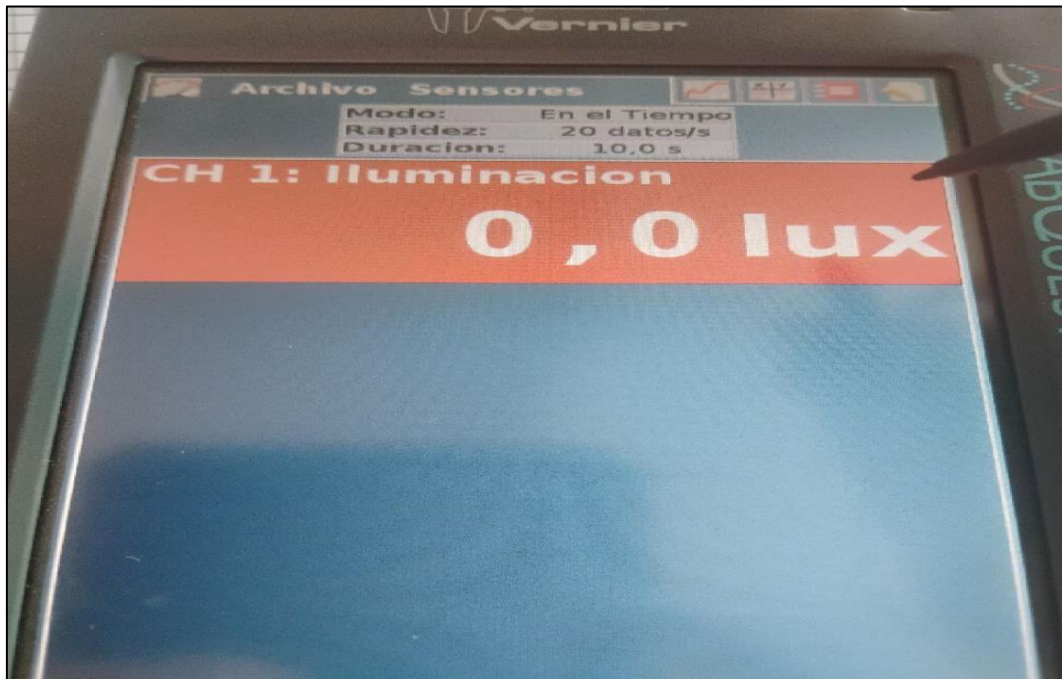


Figura A.5.13. Control de encendido, disposición para el calibrado de los haces del Pentá láser utilizado en la práctica experimental.

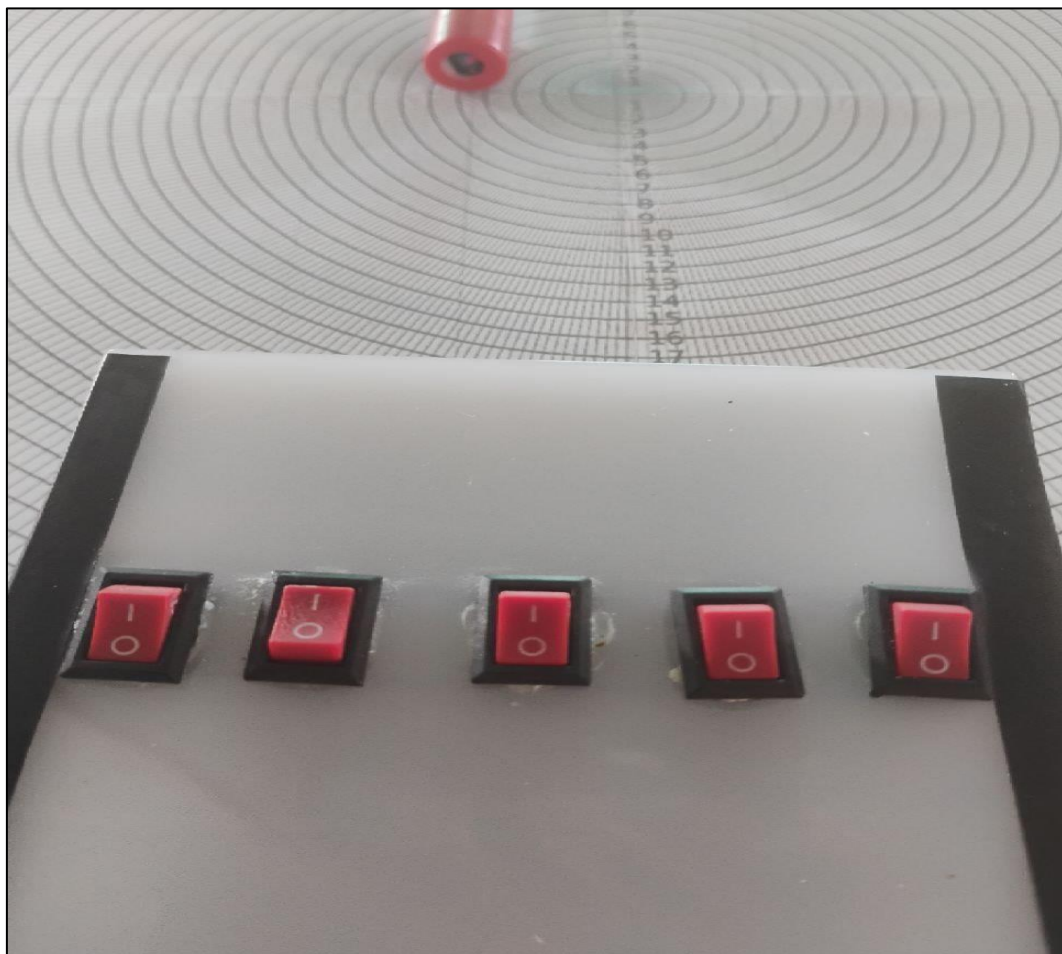


Figura A.514. Alineación del Pentaláser sobre la plantilla circular para el estudio de la propagación rectilínea de la luz.

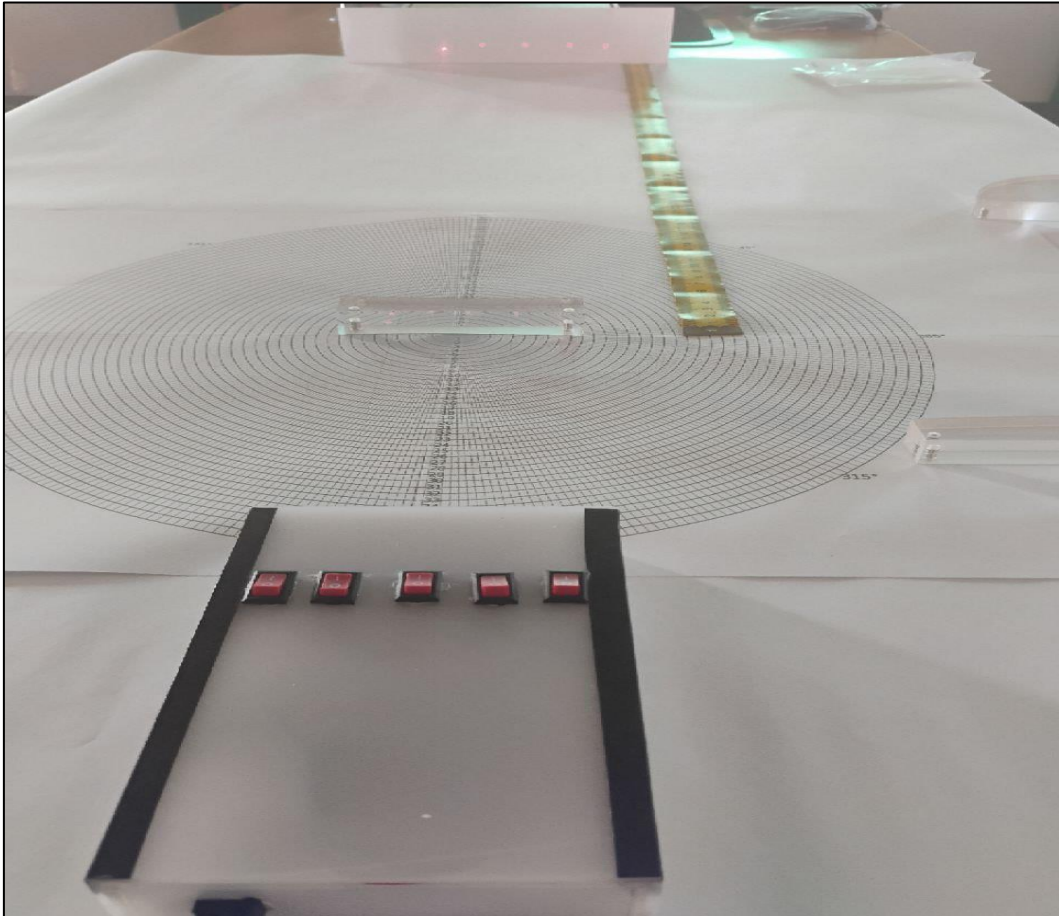
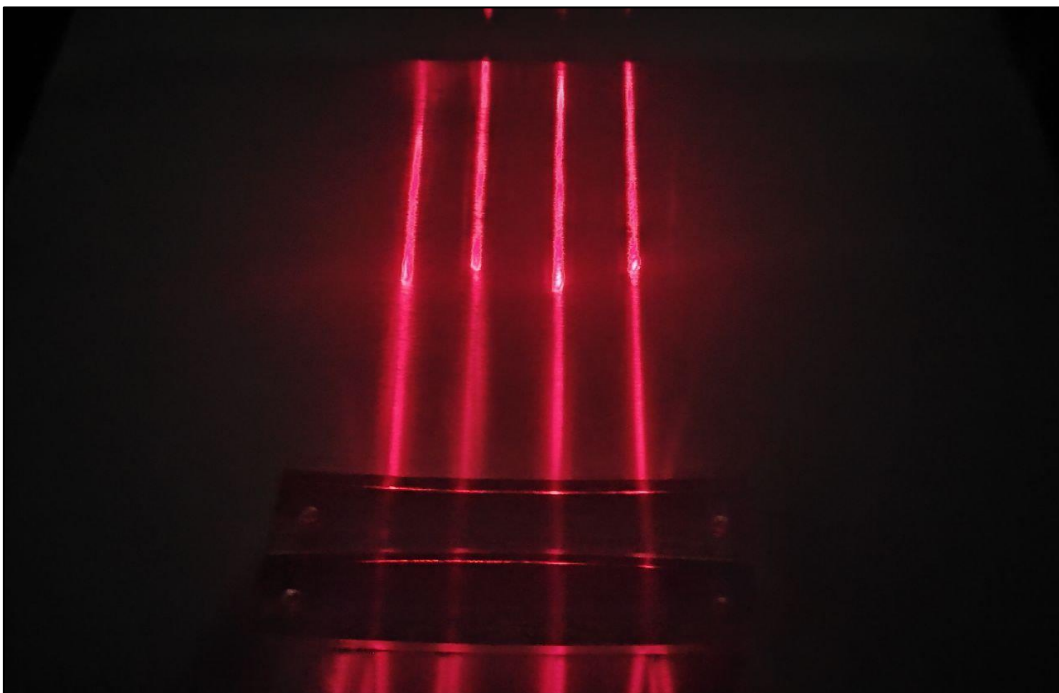
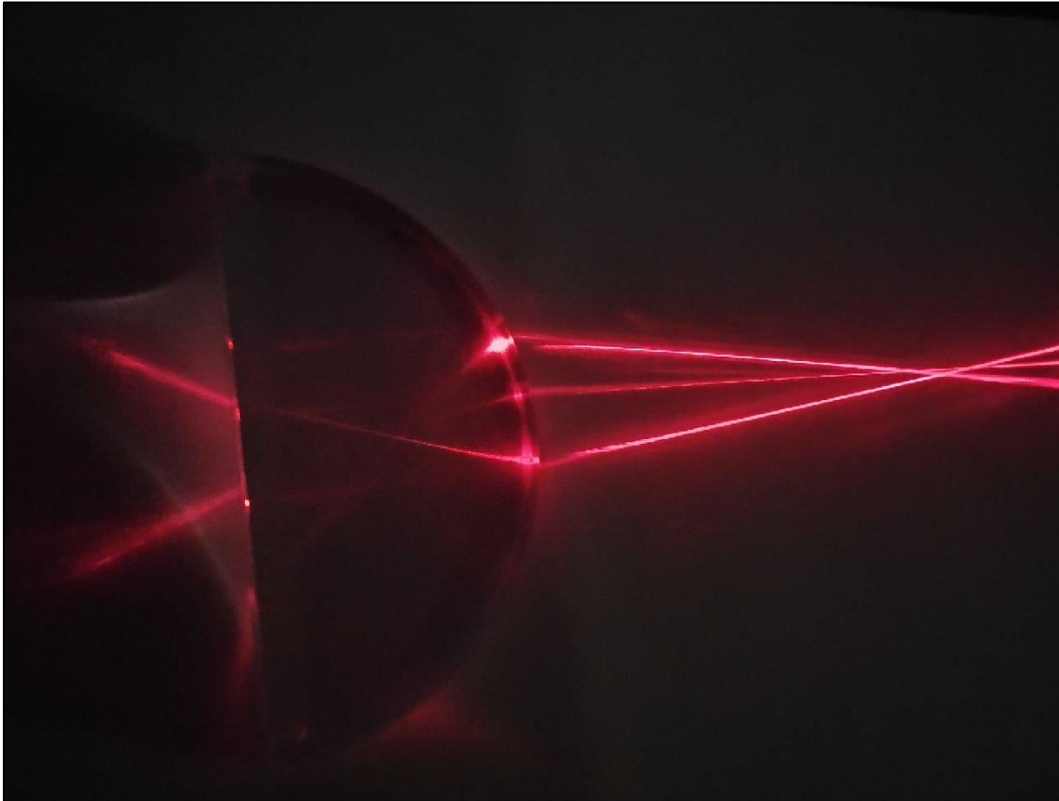


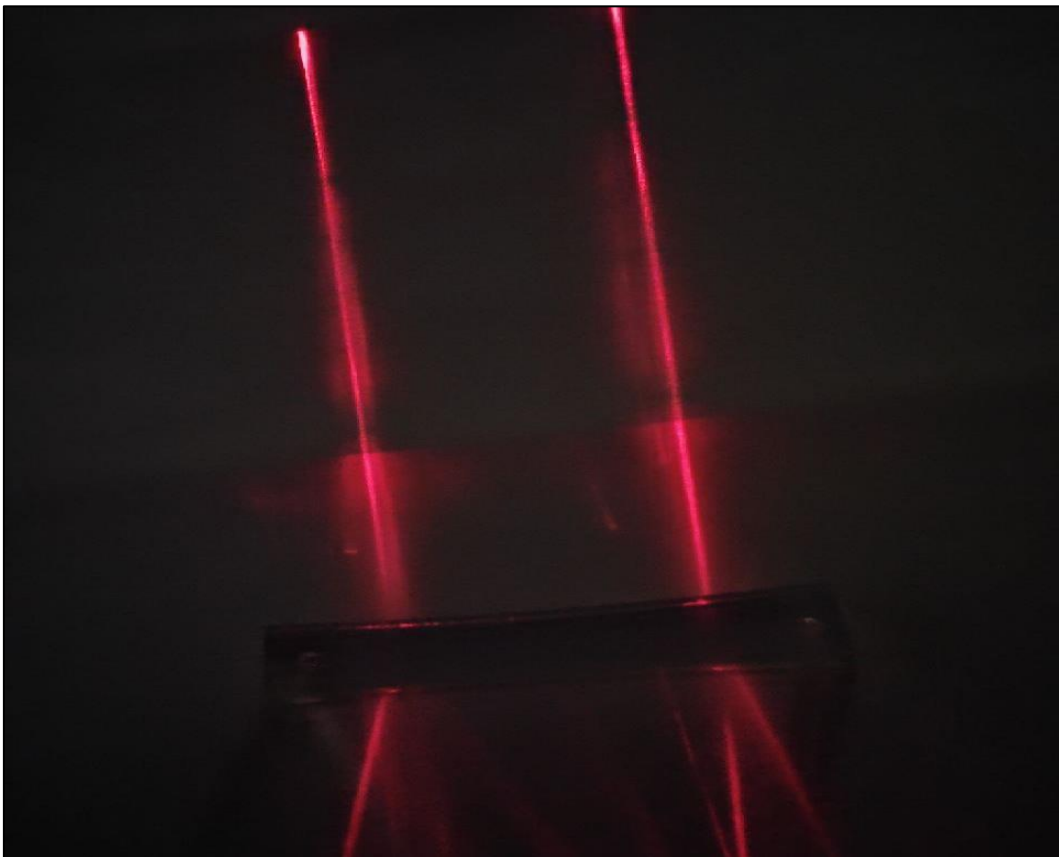
Figura A.5.15. Visualización de haces paralelos generados por el Pentaláser durante la experimentación con ambas lentes, Biconvexa y Bicóncava.



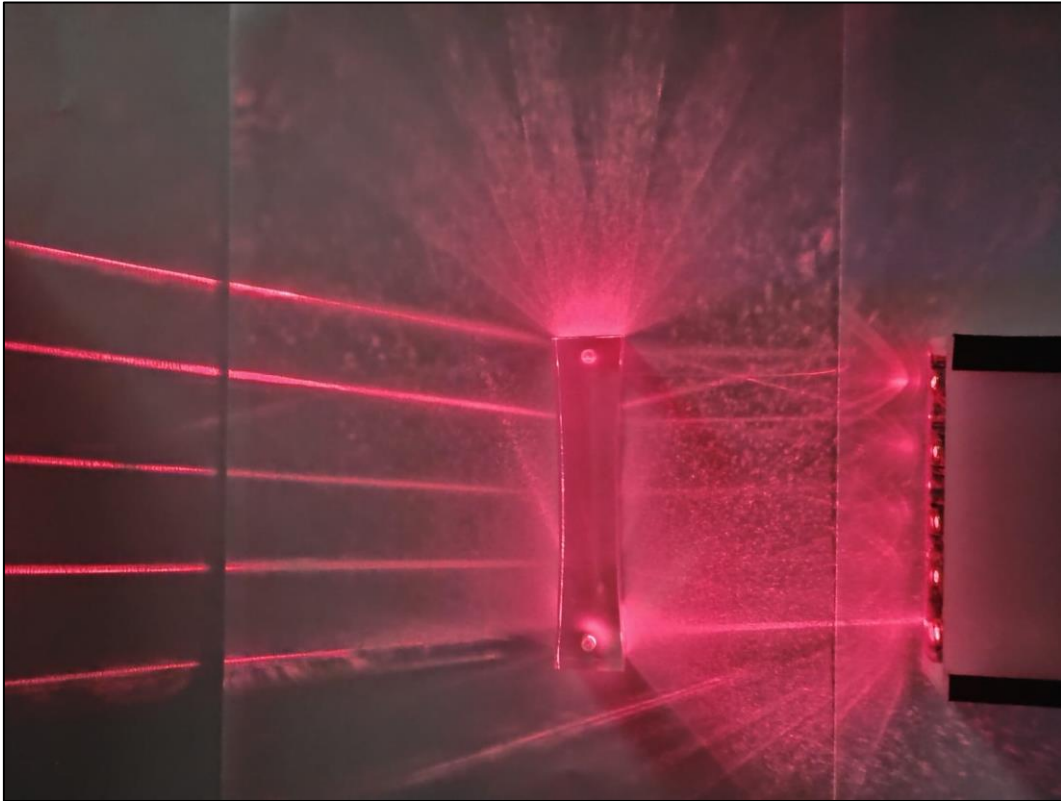
*Figura A.5.16. Observación de la convergencia y reflexiones internas de los haces de láser al atravesar una lente plano convexa.*



*Figura A.5.17. Análisis de haces paralelos y su interacción con el sistema óptico experimental.*



*Figura A.5.18. Dispersión y desviación de los rayos luminosos al atravesar una lente bicóncava.*



*Figura A.5.19. Visualización simultánea de múltiples trayectorias de rayos utilizando el Pentaláser.*

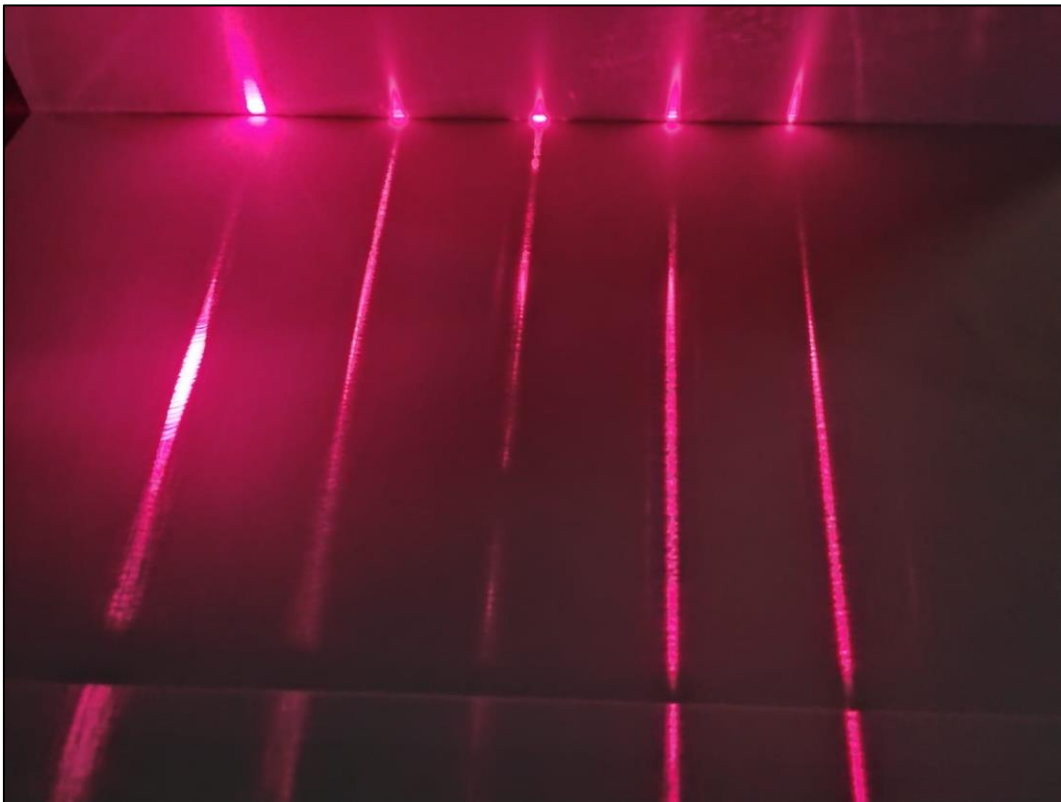


Figura A.5.20. Ubicación de la lente sobre la plantilla circular para el análisis de la refracción en una lente Biconvexa.

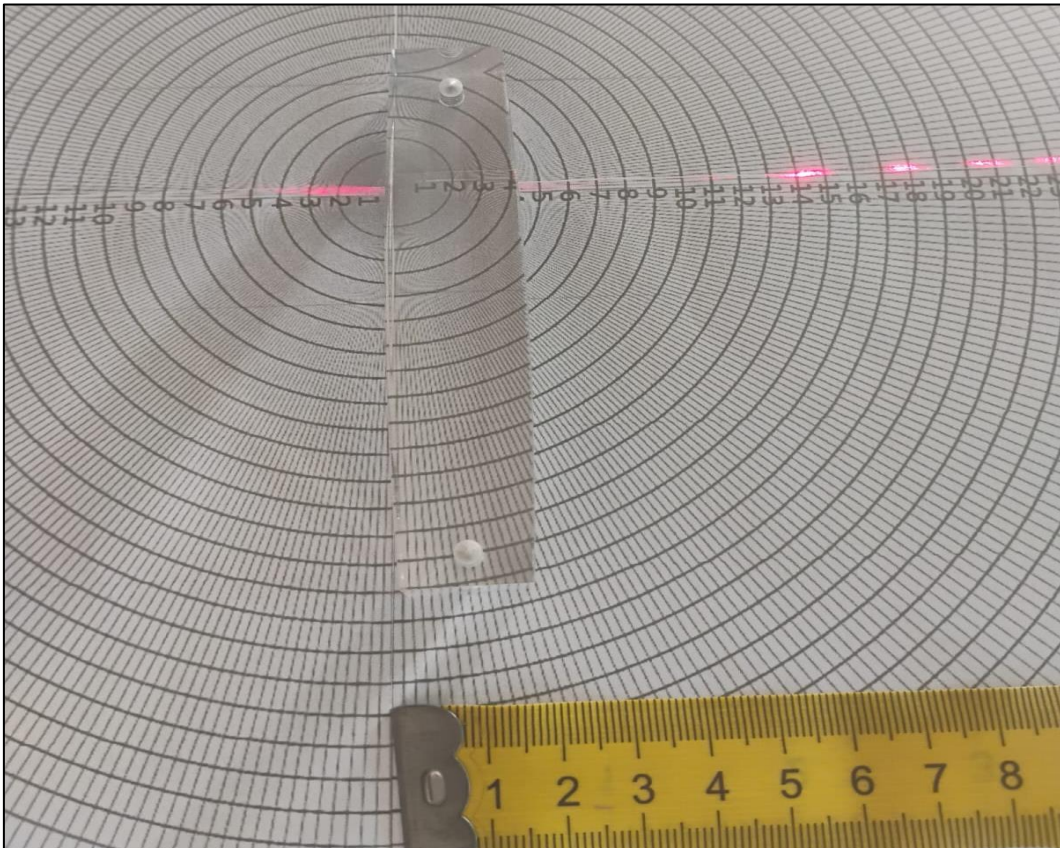


Figura A.5.21. Verificación experimental de la difracción de los haces de láser en la plantilla graduada.

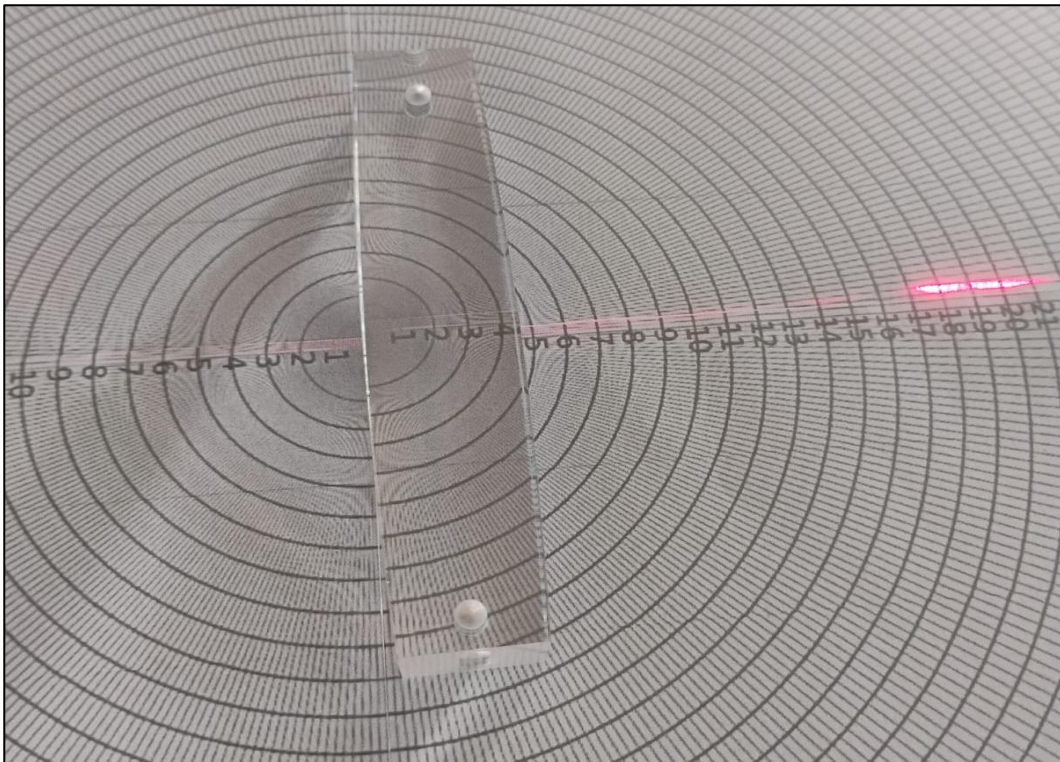


Figura A.5.22. Medición del ángulo crítico sobre la plantilla circular durante la práctica experimental.

