UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TESIS

DESARROLLO DE LENTES CON RESINA EPOXI PARA LA DIVULGACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES EN FIBRAS ÓPTICAS

Que para obtener el título de
Licenciada en Ingeniería en Telecomunicaciones

PRESENTA

Daniela González Enríquez

Director de tesis

Dr. Esteban Rueda Soriano

Codirector

Dr. Francisco Misael Muñoz Pérez

Mineral de la reforma, Hidalgo, México. 2025

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 12 de marzo de 2025

Número de control: ICBI-D/343/2025
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Egresada de la Licenciatura en Ingeniería en Telecomunicaciones **Daniela González Enríquez,** quien presenta el trabajo de titulación **"Desarrollo de lentes con resina epoxi para la divulgación de las telecomunicaciones en fibras ópticas",** después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Heberto Gómez Pozos

Secretario: Dra. Karina Alemán Ayala

Vocal: Dr. Esteban Rueda Soriano

Suplente: Dr. Francisco Misael Muñoz Pérez

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx,
vergarar@uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han participado en este proyecto, a mi asesor, el Dr. Esteban Rueda Soriano. Asimismo, agradezco a mi madre, a mis hermanos y a mi padre, que lamentablemente ya no está con nosotros, pero que fue un pilar en mi trayectoria académica y a quien mantengo vivo en mi memoria para ser quien soy ahora, así como a mis amigos y a mi pareja, que siempre me han apoyado. A todos ustedes dedico este resultado de mucho esfuerzo y trabajo, que agradezco a Dios y a la vida por permitirme lograrlo.

Daniela González

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo desarrollar y evaluar lentes fabricadas con resina epoxi para la divulgación de conceptos relacionados con las telecomunicaciones en fibras ópticas. Para ello, se diseñaron moldes en 3D utilizando la aplicación Tinkercad y se imprimieron con filamento PLA, lo que permitió obtener moldes viables a bajo costo. La fabricación se desarrolló mediante el vertido de la resina epoxi, seguida de un proceso de curado y pulido para mejorar la claridad óptica, las mediciones de las lentes mostraron que, si bien presentan discrepancias con respecto a las dimensiones teóricas, mantienen una funcionalidad adecuada para aplicaciones educativas. Además, se encontró que las lentes de resina epoxi no solo son más resistentes que las de plástico convencional o las de cristal, sino que además resultan considerablemente más económicas que las lentes comerciales. Un factor clave de este desarrollo es la posibilidad de personalización total, permitiendo adaptar el diseño y las propiedades de las lentes según las necesidades específicas de los entornos de enseñanza y divulgación. Este estudio confirma que las lentes ópticas fabricadas con resina epoxi son una alternativa practica y de bajo costo para la difusión de la óptica y las telecomunicaciones en fibras ópticas, abriendo muevas posibilidades para el uso de materiales accesibles en la educación científica.

Palabras clave: fibra óptica, lentes, resina epoxi, óptica geométrica, telecomunicaciones.

Abstract

This thesis was carried out with the objective of developing and evaluating lenses made of epoxy resin for the dissemination of concepts related to fiber optic telecommunications. For this purpose, 3D molds were designed using the Tinkercad application and printed with PLA filament. Fabrication was developed by pouring the epoxy resin, followed by a curing and polishing process to improve optical clarity, measurements of the lenses showed that, although they present discrepancies with respect to theoretical dimensions, they maintain adequate functionality for educational applications. In addition, the epoxy resin lenses were found to be not only stronger than conventional plastic or glass lenses, but also considerably less expensive than commercial lenses. A key factor in this development is the possibility of full customization, which allows the design and properties of the lenses to be tailored to the specific needs of teaching and outreach environments. This study confirms that optical lenses made of epoxy resin are a practical and low-cost alternative for fiber optic and telecommunication outreach, opening new possibilities for the use of accessible materials in science education.

Keywords: fiber optics, lenses, epoxy resin, geometrical optics, telecommunications.

Contenido

CAPÍTULO I 7

1. Introducción 7

1.1 Planteamiento del problema 9

1.2 Hipótesis 10

1.3 Objetivo 10

1.4 Justificación 11

CAPÍTULO II 13

2. Marco teórico 13

2.1 Sistemas de comunicación ópticos 13

2.1.1 Fibra óptica 14

2.1.2 Tipos de fibra óptica 16

2.2 Óptica 19

2.3 Instrumentos ópticos. 20

2.4 Luz 20

2.4.1 Propagación de la luz 21

2.4.2 Frente de onda 22

2.4.3 Punto focal 23

2.4.4 Índice de refracción 23

2.5 Reflexión 24

2.6 Refracción 25

2.7 Principio de Huygens 27

2.8 Principio De Fermat 28

2.9 Lentes ópticas 28

Contenido

2.9.1 Lente convergente 29
2.9.2 Lente divergente 29
2.10 Ecuaciones de lentes delgadas 30
2.10.1 Focos 34
2.10.2 Aumento Lateral 35
CAPÍTULO III 37
3. Metodología 37
3.1 Desarrollo matemático 37
3.1.1 Lente plano-convexa 38
3.1.2 Lente biconvexa 39
3.1.3 Lente bicóncava 40
3.1.4 Lente plana-cóncava 41
3.2 Desarrollo Práctico 43
3.2.1 Diseño de los moldes 43
3.2.2 Impresión del Molde 44
3.2.3 Preparación de la Resina 46
3.2.4 Vertido en los Moldes 47
3.2.5 Curado de la Resina 48
3.2.6 Pulido de las Lentes 50
CAPITULO IV 53
4 Resultados 53
4.1 Dimensiones y precisión 53
4.2 Rendimiento en aplicaciones ópticas 55
4.3 Aspectos económicos y sostenibilidad 56

CAPITULO V 60

5. Conclusiones 60

5.1 Trabajos futuros 61

Referencias 62

Índice de Figuras

Figura	Descripción	Página
2.1	El sistema de comunicación por fibra óptica.	14
2.2	Trayectoria de un rayo luminoso que entra a una fibra óptica.	15
2.3	Propagación fibra monomodo.	16
2.4	Propagación fibra multimodo índice escalonado.	17
2.5	Propagación fibra multimodo índice gradual.	17
2.6	Rayos y frentes de onda.	22
2.7	Diagrama que ilustra la trayectoria vectorial de la ley de reflexión.	25
2.8	Diagrama que ilustra la ley de refracción.	26
2.9	Ejemplificación grafica de cómo se aplican las leyes de refacción y reflexión en fibras ópticas.	27
2.10	Aplicación grafica de las variables que conforman la ecuación de fabricante de lentes.	31
2.11	Aumento lateral.	35
3.1	Captura de pantalla de los diferentes moldes creados en el software Tinkercad	45
3.2	Filamento PLA	46
3.3	Impresión del molde en impresora 3D	47
3.4	Preparación de la resina con los porcentajes determinados.	48
3.5	Preparación de los moldes para verter la resina dentro.	49
3.6	Curado de la resina.	50
3.7	Resultado al extraer las lentes del molde.	50
3.8	Imagen alusiva a los gramajes de lijas utilizadas en el proceso de pulido.	51
3.9	Lentes antes del proceso de pulido.	52
3.10	Lentes después del proceso de pulido.	53
4.1	Imágenes de las lentes con objetos.	54
4.2	Imágenes ilustrativas de las medidas obtenidas en las lentes fabricadas con resina epoxi.	55
4.3	Experimentación con la lente plano convexa.	56
4.4	Resultado de la prueba con la lente plano convexa.	57

Índice de ecuaciones

Numero	Ecuación	Pagina
(2.1)	$n_e sin\,\alpha = n_i sin\,\alpha'$	15
(2.2)	$sin\,\alpha = sin\,\alpha'$,	15
(2.3)	$sin\,\alpha = \sqrt{\left[\frac{n_i}{n_e}\right]^2 - 1}.$	15
(2.4)	$NA = n_e sin\,\alpha$,	16
(2.5)	$NA = \sqrt{n_i^2 - n_e^2}.$	16
(2.6)	$V = \frac{2\pi}{\lambda} aAN$	18
(2.7)	$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2}$	18
(2.8)	$n = \frac{c}{v}$	28
(2.9)	$\frac{n}{S_i} - \frac{n}{s} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$	30
(2.10)	$\frac{n}{S_i} + \frac{n}{S_o} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$	32
(2.11)	$\frac{n_l}{s} - \frac{n_m}{S_o} = \frac{n_l - n_m}{R_1}$	32
(2.12)	$\frac{n_m}{S_i} - \frac{n_l}{s} = \frac{n_m - n_l}{R_2}$	32
(2.13)	$\frac{n_m}{S_i} - \frac{n_m}{S_o} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$	32
(2.14)	$\frac{1}{S_i} - \frac{1}{S_o} = (n_l - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$	33
(2.15)	$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$	34
(2.16)	$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{f}$	34
(2.17)	$M_T \equiv \frac{y_i}{y_o}$	35
(2.18)	$M_T = -\frac{S_i}{S_o}$	36
(2.19)	$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o}$	36

CAPÍTULO I

1. Introducción

Las telecomunicaciones pueden ser definidas como la transmisión de datos o información a distancia mediante el uso de sistemas electrónicos o tecnológicos. Muchas de las actividades humanas cotidianas engloban el uso de las telecomunicaciones, la televisión, los ordenadores y dispositivos móviles, son algunos ejemplos de receptores de información usados en el ámbito de las telecomunicaciones.

La comunicación está sujeta a distintas características, entre la distancia, el tipo de información a transmitir, englobando voz, datos y video, el tiempo en el que se desea que llegue, que las telecomunicaciones se encargan de resolver. Muchas técnicas sofisticadas se han desarrollado para lograr hacer llegar la información de un punto a otro, desde el uso de ondas electromagnéticas, como portadoras de la señal de información, que operan en radiofrecuencias como en microondas y ondas milimétricas, hasta el uso de portadoras electromagnéticas tomada en la gama de frecuencias ópticas.

Los sistemas de comunicación óptica se refieren al uso de ondas electromagnéticas pertenecientes a regiones infrarrojas, visible o ultravioleta del espectro electromagnético para comunicarse. La invención de las fibras ópticas cambió de manera considerable las redes de comunicaciones en todo el mundo.

Las fibras ópticas se rigen por diversas leyes de propagación de la luz a través de guías de onda de forma monomodo y multimodo, en las que el diámetro del filamento de la guía de onda es igual a las distintas longitudes de onda de la radiación que se propaga a través de

ellas; la óptica geométrica, a través de sus principios fundamentales, nos ayuda a comprender el funcionamiento de las fibras.

En el estudio de la óptica la herramienta más utilizada es la lente, a través de ella es posible percibir variaciones en las imágenes de los objetos, es decir, modificar los frentes de onda de la luz que viene del objeto. Esto gracias a la refracción, fenómeno que consiste en cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio a otro. Esta característica ha sido utilizada desde la antigüedad usando lentes como vidrios quemadores, para encender fuego, de igual forma se usaron como lupas desde tiempos muy remotos.

Malacara (2015) define a la lente como una placa de vidrio con caras curvadas. A lo largo del tiempo, se han descubierto nuevos materiales para fabricar lentes, esto con el fin de mejorar las características de la lente con respecto al uso que tendrán. El material más usado en la fabricación de lentes es el vidrio o cristal de fluorita (KALSTEIN, 2022), mientras que en la fabricación de lentes oftálmicas se usa el plástico o también denominado cristal orgánico, y cristal (auténtico) o cristal mineral (ZEISS, 2018). Existen más materiales de los que se han experimentado, pero solo han quedado en esa fase experimental. En esta tesis se probará que el acrílico puede mostrar un nuevo panorama en el desarrollo de lentes ópticas

En esta tesis, se llevará a cabo el desarrollo de una lente con resina epoxi o epóxica, tomando como base de molde, el diseño de la lente en impresión 3D, con el objetivo de comprender las propiedades ópticas (específicamente refractivas), que ayudarán a entender el desempeño de las fibras ópticas.

1.1 Planteamiento del problema

Las telecomunicaciones son tecnologías en constante crecimiento y en los últimos tres años debido a la pandemia del COVID-19, ha dado un gran impacto a la vida cotidiana; un gran avance se dio con la implementación de las fibras ópticas, mejorando la comunicación a larga distancia conectando países y continentes, proporcionando conexiones más rápidas y más seguras. El estudio de las fibras ópticas se puede dividir en dos, la parte teórica y la otra experimental. En el estudio de esta disciplina llega a ser de forma limitada, teniendo sólo la parte teórica debido a que los instrumentos del ámbito práctico operacional son caros para su adquisición, o de otra forma, sea delicado su uso y se limite a prestarlo para su enseñanza.

El uso de la lente es esencial en muchas disciplinas de la ciencia, como lo es el estudio del universo, la física, biología, materiales, entre otras. Principalmente el uso de las lentes en instrumentos ópticos de medición y observación han resultado importantes en el impulso de encontrar nuevos materiales para su fabricación, materiales que ofrezcan capacidades semejantes a lo que hay en la actualidad, e incluso superarlas y que sean de forma económica, ligera y segura.

El acrílico es un material polimérico, es decir plástico, con gran resistencia y rigidez además de claridad óptica, es un material que presenta mejor desempeño que otros polímeros, sus características son similares a las del vidrio, en cuanto a trasparencia, brillo, claridad, con la ventaja de que el precio es mucho menor. Lo que lo hace perfecto para implementar su uso en la fabricación de lentes. Mismas que se podrán utilizar en campos de estudio, investigación y docencia.

La mayoría de los planes de estudios de las escuelas contienen temas de óptica, particularmente en las telecomunicaciones, entender cómo viaja la luz a través de las fibras ópticas es uno de los objetivos básicos, el comprender propiedades como reflexión o refracción. Para lograr este objetivo, es necesario adquirir equipos ópticos de formación de imágenes, donde los estudiantes puedan adquirirlos de forma económica e interactuar con ellos sin el riesgo de dañar el equipo o sufrir un accidente. Es por lo anterior el diseñar y crear **lentes** resistentes para el desarrollo de prácticas experimentales a nivel docente.

1.2 Hipótesis

Al usar resina epoxi como material principal para la fabricación y diseño de una lente, se obtendrá un instrumento óptico económico y de uso práctico, que podrá utilizarse en el ámbito educativo como apoyo al estudiante en el estudio de las fibras ópticas utilizadas en la telecomunicación.

1.3 Objetivo

General

Fabricar lentes de resina epoxi con el propósito de facilitar la divulgación de conceptos relacionados con fibras ópticas en las telecomunicaciones, mediante la mejora de la transmisión óptica y calidad de imagen en dispositivos destinados a actividades educativas y de divulgación.

Específicos

1 Calcular los parámetros fundamentales para el diseño de la lente de acrílico mediante el uso de las ecuaciones para lentes.
2 Desarrollar el diseño de molde específico que se adapte a las dimensiones y características deseadas para las lentes de resina epoxi. Considerando los principios ópticos que se desean estudiar.
3 Seleccionar los materiales adecuados para la construcción del molde, considerando la durabilidad y la precisión requeridas para reproducción de lentes consistentes.
4 Utilizar técnica de manufactura avanzada, como la impresión 3D, para construir el molde de manera eficiente y precisa.
5 Desarrollar un proceso para obtener el negativo del molde a partir del diseño inicial, utilizando materiales que permitan una reproducción exacta de las lentes y faciliten la liberación de la resina epoxi.

6 Establecer parámetros óptimos para el vertido de la resina epoxi en el molde, asegurando una distribución homogénea y eliminando posibles burbujas de aire que podrían afectar la calidad de las lentes.
7 Efectuar un proceso de pulido para obtener mayor pureza en las lentes fabricadas.
8 Realizar pruebas para evaluar la calidad óptica de las lentes de resina epoxi, incluyendo pruebas de transmisión de luz y calidad de imagen.

1.4 Justificación

A partir de la realización de este trabajo se pretende lograr implementar el acrílico como un material para el diseño de lentes ópticas que sean útiles para el estudio de las telecomunicaciones en el ámbito de las fibras ópticas. Gracias a las características esenciales del acrílico es posible emplearlo en la fabricación de lentes, las cuales principalmente se han estado elaborando con vidrio, con el acrílico se pretende reemplazar al vidrio en cuanto a economía y facilidad de fabricación, así como alcanzar propiedades óptimas y suficientes para que las lentes se puedan ocupar con normalidad en la educación.

El acrílico es altamente transparente y permite que la luz pase a través de él con poca o ninguna distorsión. El índice de luz del acrílico es del 92%, superior al del vidrio que es del 84% (Grupo OG, 2022). En cuanto a la resistencia, el acrílico es significativamente más resistente a los impactos que el vidrio, es aproximadamente 17 veces más resistente, resistiendo los rayos UV y la mayoría de los productos químicos (Mariano, 2011). Gracias a que el acrílico es un material termoplástico se puede moldear en diferentes formas ya sea cortarlo, pulirlo o exponiéndose al calor, cosa que resulta altamente compleja cuando se trabaja con vidrio.

Los lentes son una herramienta muy útil en la ciencia y, como se menciona anteriormente, en la educación. Es importante contar con un juego de lentes en las instituciones, con el fin de incentivar el estudio creativo de los estudiantes, así como en el área de docencia e investigación. Y hoy en día son muy pocos los lugares que cuentan con un kit de este tipo, ya que los lentes de vidrio existentes son de difícil acceso, esto se debe a que su fabricación es compleja y las herramientas que utilizan son costosas, además de que el vidrio es un

material delicado que para los estudiantes e incluso investigadores la manipulación lentes como estos es difícil y minuciosa.

Esta tesis tiene como objetivo principal la fabricación y caracterización completa de una lente de acrílico para uso tanto en el estudio de las fibras ópticas como en otras áreas de la ciencia. A través de un análisis de las propiedades ópticas de las lentes y su desempeño en diversas condiciones, se busca proporcionar una mejor comprensión de las capacidades y limitaciones de la luz mediante la herramienta de la lente. Esto contribuirá a mejorar el conocimiento de los alumnos acerca de la luz y sus aplicaciones, como es la fibra óptica.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1 Sistemas de comunicación ópticos

Un sistema de comunicación óptica es muy similar a cualquier tipo de sistema de comunicación. Su función es enviar una señal desde una fuente de información hasta su destino a través de un medio de transmisión. Los sistemas de comunicación básicos utilizan un transmisor o modulador, un medio de transmisión y un receptor o demodulador. En las comunicaciones eléctricas, se utilizan señales eléctricas para transmitir señales que normalmente no son eléctricas. El transmisor tiene la función de comprimir los componentes eléctricos para convertirlos en una forma adecuada para su propagación a través del medio de transmisión. Esta forma se conoce como portadora, que a menudo puede ser una onda electromagnética. El medio de transmisión puede consistir en un par de hilos, un cable coaxial o un enlace de radio que transmite una señal al receptor y la devuelve a su estado original, es decir, la demodula, para enviarla a su destino.

Es preciso reconocer que en cualquier medio de transmisión hay pérdidas de información debidas a diferentes causas, como el ruido, las interferencias o la atenuación. La distancia es un factor importante por el que se limitan muchos sistemas de comunicación, por lo que cada cierto punto se añaden amplificadores, donde se eliminan las señales distorsionadas y se aumenta el nivel de la señal.

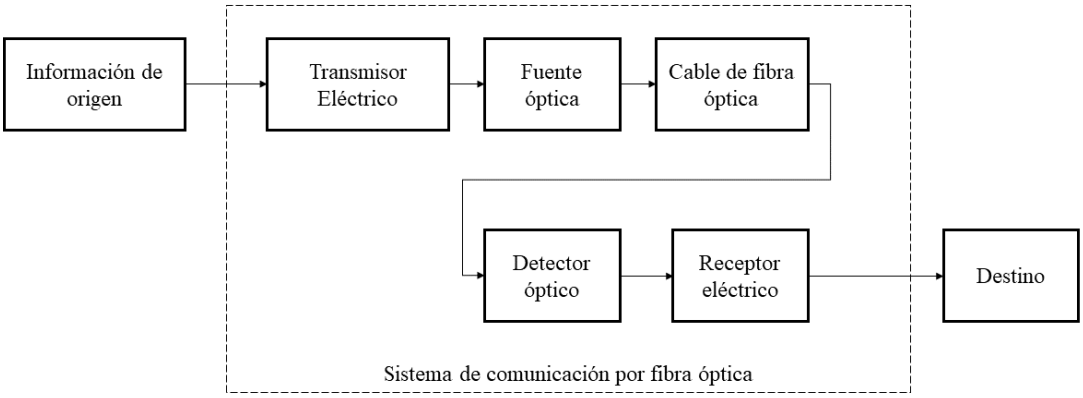


Figura 2.1 El sistema de comunicación por fibra óptica. *Fuente: Elaboración propia.*

En las comunicaciones ópticas, la fuente de información es una señal eléctrica que pasa por un transmisor compuesto por una etapa eléctrica que acciona una fuente óptica para modular la portadora en señales luminosas. La fuente óptica que genera la conversión de eléctrica a óptica debe ser un semiconductor o un diodo emisor de luz (LED). En este caso, el medio de transmisión consiste en una fibra óptica, que llega a un rectificador o detector óptico que demodula la portadora óptica. Los fotodiodos se utilizan como receptores en un sistema óptico y, a veces, las fotorresistencias y los fotoconductores para la conversión óptico-eléctrica. (Senior, 2009)

2.1.1 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión físico de vidrio o de plástico que utiliza pulsos de luz emitidos por LED (Light Emiting Diode) o LASER (Light Amplification by Stimulated Emision of Radiation), trasmitiéndolos a velocidades de gigabits por segundo. (Torres & Vásquez, 2021)

Este medio actúa como un cilindro dieléctrico transparente que conduce la luz a través de él, como una guía de onda, mediante el fenómeno de reflexión total interna y con base en múltiples reflexiones, como se muestra en la figura:

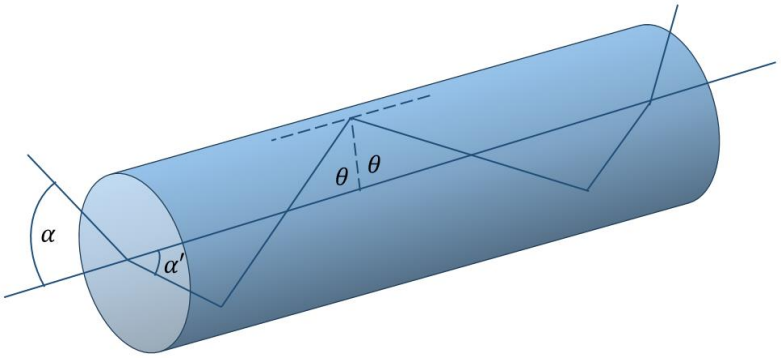


Figura 2.2 Trayectoria de un rayo luminoso que entra a una fibra óptica. *Fuente: Elaboración propia.*

Malacara (2015), explica el funcionamiento de las fibras ópticas, mencionado que la cantidad de luz que puede transmitir una fibra óptica se rige por un cono con semidiámetro α que debe cumplir con que el ángulo de reflexión interna sea igual al **ángulo crítico $\boldsymbol{\theta}$**. Quedando de la siguiente manera:

$$n_e sin\,\alpha = n_i sin\,\alpha' \qquad (2.1)$$

Donde n_e y n_i son los índices de refracción exterior e interior, respectivamente, de la fibra. Esta ecuación es conocida como Ley de Snell. Por otro lado $\alpha' + \theta = 90°$, por consiguiente:

$$sin\,\alpha = sin\,\alpha', \qquad (2.2)$$

Sin embargo, como θ es el ángulo crítico, $sin\,\theta = \frac{n_e}{n_i}$, obteniendo:

$$sin\,\alpha = \sqrt{\left[\frac{n_i}{n_e}\right]^2 - 1}. \qquad (2.3)$$

Si se define ahora la abertura numérica NA de un arriba como:

$$NA = n_e sin\ \alpha\ , \qquad (2.4)$$

Se obtiene:

$$NA = \sqrt{n_i^2 - n_e^2}. \qquad (2.5)$$

Una parte muy importante en las fibras ópticas es el recubrimiento dieléctrico de índice de refracción n_e menor que el índice de fracción n_i de la fibra, está cubierta tiene la función de mantener la reflexión total interna dentro de la fibra.

2.1.2 Tipos de fibra óptica

La fibra óptica es clasificada por el tipo de propagación de la luz. El modo de propagación hace referencia la numero de trayectorias que sigue la luz dentro de la fibra. Estos modos en fibras ópticas se dividen en monomodo y multimodo.

Fibra óptica monomodo:

Este tipo de fibra solo permite transmitir un tipo de modo de luz a través de ella ya que, el diámetro de su núcleo es infinitamente pequeño, en la figura --- se ilustra este caso.

Figura 2.3 Propagación fibra monomodo. *Fuente: Elaboración propia.*

Fibra óptica multimodo:

Este tipo de fibra es capaz de propagar más de un modo de luz, se usan principalmente a cortas distancias y se clasifican por el índice de refracción del núcleo de índice escalonado y gradual.

En las fibras multimodo de índice escalonado, los rayos ópticos viajan de manera simultánea y son reflejados en distintos ángulos sobre la pared del núcleo, esto ocasiona que recorran diferentes distancias.

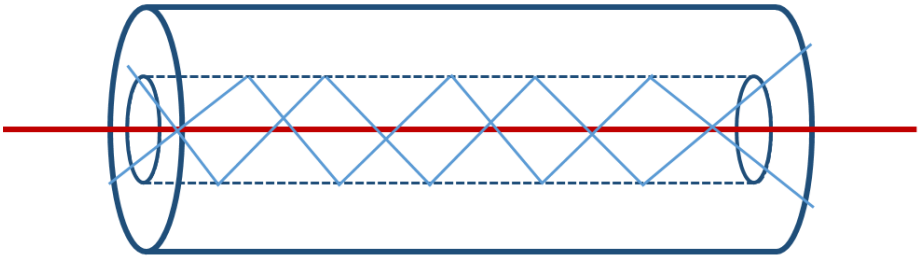


Figura 2.4 Propagación fibra multimodo índice escalonado. *Fuente: Elaboración propia.*

Una fibra multimodo de incide gradual se caracteriza por la constitución del núcleo, el cual se conforma por diferentes materiales con diferentes índices de refracción, logrando que la luz se refracte.

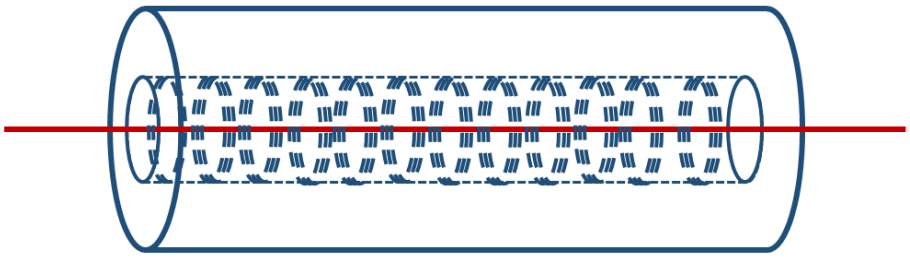


Figura 2.5 Propagación fibra multimodo índice gradual. *Fuente: Elaboración propia.*

Atenuación: dentro de la fibra óptica, la atenuación depende principalmente de la transparencia del material del que está fabricada.

Disminución de la potencia de la señal a medida que esta se propaga. En una fibra óptica, y para un determinado modo de propagación. La atenuación se produce de manera exponencial con respecto a la longitud recorrida. (España Boquera, 2005) (Pierri, 2010)

En términos logarítmicos (decibelios), la atenuación es proporcional a la distancia.

En las fibras multimodo la constante de atenuación de cada modo individual es diferente. La constante de atenuación especificada se refiere al promedio ponderado de los valores asociados a los modos que componen la señal, suponiendo que se ha alcanzado una situación de equilibrio. Por lo cual la potencia de cada modo se mantiene con la distancia.

La atenuación depende de la longitud de la onda de operación.

Frecuencia normalizada, V: Este parámetro auxiliar adimensional permite discriminar si una fibra opera en régimen monomodo o multimodo. Cuanto mayore es el valor de V, mayor es el número de modos que una fibra es capaz de guiar.

Se reacciona con características físicas de la fibra como el radio del núcleo (a) y la apertura numérica (AN) y con la longitud de onda de operación λ su ecuación es la siguiente:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} aAN \qquad (2.6)$$

Frecuencia normalizada de corte, V_c: Este valor marca el límite entre el régimen monomodo o multimodo de operación de las fibras y su valor es: $V_c = 2.405$. Si a frecuencia normalizada rebasa el valor de corte es multimodo ($V > V_c$) y si por el contrario es menor, ($V < V_c$) Se trata de una fibra monomodo.

Diferencia relativa de índices Δ: Este parámetro adimensional se define como:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \qquad (2.7)$$

2.2 Óptica

Una de las ramas más antiguas de la ciencia es la óptica. Mucho antes de que se iniciaran estudios serios de los fenómenos ópticos, ya se construían espejos y lentes para mejorar la visión. (Hecht, 2000)

Los primeros instrumentos ópticos fueron los telescopios, utilizados para la magnificación de imágenes distantes, y los microscopios, utilizados para magnificar imágenes muy pequeñas. En la actualidad, los instrumentos ópticos se constituyen por diferentes clases de lentes prismas o espejos que logran trabajar con las propiedades de la luz.

Así mismo, la óptica es la ciencia que estudia los orígenes, la propagación y la detección de la luz. Se define la luz como una onda electromagnética, análoga a una onda de radio, cuya diferencia radica en su frecuencia (véase la tabla 2.1). La luz comprende la radiación electromagnética visible, infrarroja y ultravioleta.

La luz se propaga en el espacio como una onda, su comportamiento al atravesar una lente, un orificio o un conjunto de rendijas, está sujeto a sus características ondulatorias e igualmente mantiene un comportamiento de partícula durante los procesos de emisión y absorción.

Tabla 2.1: espectro electromagnético

	Tipo de oda	**Limites aproximados de sus longitudes de onda**
Dominio electrónico	Ondas de radio	1 000 m — 0.50 m
	microondas	50 cm — 0.05 mm
Dominio óptico	Infrarrojo lejano	0.5 mm — 0.03 mm
	Infrarrojo cercano	30 μm — 0.72 μm
	Luz visible	720 nm — 400 nm
	Ultravioleta	400 nm — 200 nm
	Extremo ultravioleta	2 000 Å — 500 Å
Física de alta energía	Rayos X	500 Å — 1 Å

Rayos gamma	1 Å — 0.1 Å

Unidades de medida: 1 micra = 1 μm = 10^{-6}m; 1 ångström = 1Å = 10^{-10} m; 1 nanómetro=1 nm = 10^{-9} m.

2.3 Instrumentos ópticos.

Los instrumentos ópticos tienen como base el conocimiento científico. La óptica es un sector de la física que analiza y explica la propagación de la luz y su interacción con la materia. Las leyes de la óptica física se mezclan con la óptica técnica e influyen en la interpretación, el diseño y la fabricación de instrumentos ópticos. (Ramírez , 2020)

El instrumento óptico más conocido tiene su origen en la naturaleza: se trata del ojo humano. Su facultad de transformar ondas electromagnéticas con longitudes de onda de 380 nm (violeta) hasta 780 nm (rojo), conocido también como luz visible, mediante fotorreceptores sobre la retina en impulsos nerviosos, que se transfieren al cerebro humano donde son procesados, permite al ser humano tener el sentido de la vista. Los mecanismos ópticos que posee el ojo humano son los que se usan en instrumentos ópticos. Mediante alteraciones de radios de curvatura y refracciones se manipula la distancia focal y se enfocan los rayos de luz, lo que amplía los objetos. Microscopios, lupas, prismáticos o telescopios se basan en este simple principio. Normalmente se trata con este tipo de instrumentos de aparatos pasivos; es decir, que se requiere una fuente luminosa externa para este tipo de mediciones. Sistemas más complejos se usan por ejemplo en la técnica de satélites, donde se usan radiómetros y espectrómetros para mediciones de intensidad y análisis espectrales.

2.4 Luz

La luz corresponde a la radiación electromagnética en la banda estrecha de frecuencias desde 3.84×10^{14} Hz hasta aproximadamente 7.69×10^{14} Hz (Véase la tabla 2.2). Se produce generalmente por una nueva disposición de los electrones exteriores en los átomos y moléculas. En un material incandescente en un filamento de metal o en la esfera solar, los

electrones están acelerados al azar y sometidos a frecuentes colisiones. El ancho espectro de la emisión resultante se llama radiación térmica, y es una fuente muy importante de luz.

Tabla 2.2: rangos de frecuencia y de longitud de onda en el vacío aproximados para distintos colores

Color	$\lambda_0(nm)$	$v\ (THz)$
Rojo	780-622	384-482
Naranja	622-597	482-503
Amarillo	597-577	503-520
Verde	577-492	520-610
Azul	492-455	610-659
Violeta	455-390	659-769

Unidades de medida: 1 Terahercio (THz) = 10^{12} Hz, 1 nanómetro (nm) = 10^{-9} m.

La luz presenta propiedades especiales, como que es capaz de propagarse en todas direcciones de manera recta, se refleja cuando llega a una superficie reflectante, cuando pasa de un medio a otro cambia de dirección, lo cual se conoce como refracción, la absorción de colores al iluminar un cuerpo opaco por un rayo de luz blanca.

2.4.1 Propagación de la luz

Hay tres formas en las que la luz viaja de una fuente a otro lugar. Puede venir de la fuente directamente a través del vacío, un ejemplo es cómo viaja la luz del sol a la tierra. También puede viajar a través de diversos medios, como el cristal, el aire o el agua, hasta llegar al observador. Y del mismo modo, la luz puede reflejarse en alguna superficie, como es posible observar en un espejo. En cada uno de estos casos la trayectoria de la luz se modela como un rayo, estudiando su comportamiento como una línea recta. (Malacara, 2015)

Un ***rayo de luz*** es la definición de la dirección en la que se propaga la energía de una onda luminosa. Cuando la luz viaja de un lugar a otro se comporta como una línea recta, cambiando su dirección cuando interactúa con materiales, su trayectoria se describe utilizando geometría simple y trigonometría. Esta parte de la óptica, en la que predomina el aspecto de los rayos luminosos, se denomina óptica geométrica. (Beléndez, 1996)

De acuerdo con diferentes autores existen dos leyes que rigen el cambio de dirección de la luz cuando interactúa con la materia, las leyes de la reflexión y la refracción. Éstas se describen en las siguientes secciones de este capítulo.

2.4.2 Frente de onda

Existen superficies sobre las que la perturbación de la onda de luz es máxima; en otras palabras, las crestas de las ondas de luz forman la superficie denominada frente de onda. También se puede definir un frente de onda como una superficie imaginaria en la que la fase de la onda luminosa es constante. La distancia entre dos frentes de onda consecutivos con la misma fase es la longitud de onda (Malacara, 2015).

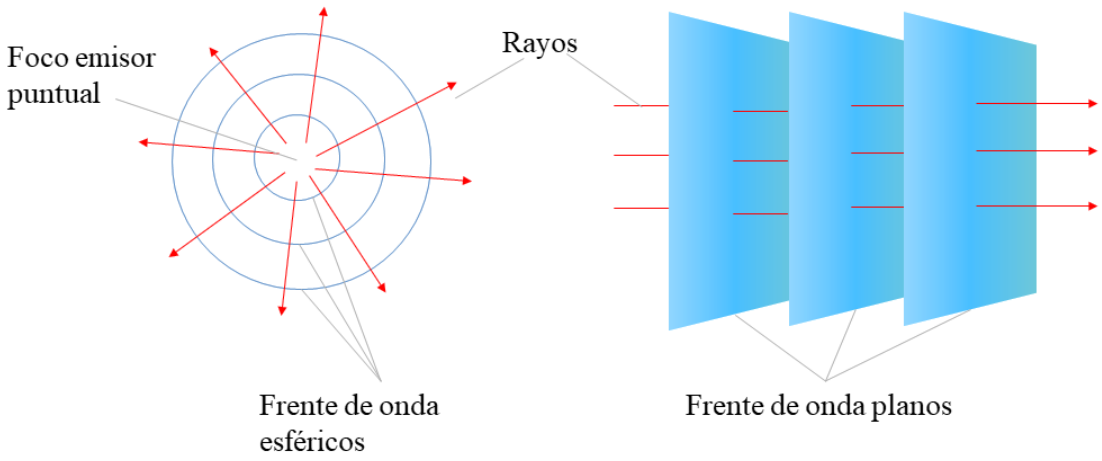


Figura 2.6 Rayos y frentes de onda. *Fuente: Elaboración propia.*

En la imagen se ilustra gráficamente el comportamiento de los rayos en color rojo, que representan la dirección de propagación del flujo de energía radiante, estos rayos en cada uno de sus puntos son perpendiculares a los frentes de onda, representados en azul.

La configuración de un frente de onda permite entender cómo se propaga la luz a través de una superficie de separación curva, como lo puede ser una lente, entre dos medios transparentes.

2.4.3 Punto focal

Cuando un haz de rayos paralelos atraviesa una lente convergente, el punto hacia el que converge (o cuando atraviesa una lente divergente, el punto hacia el que diverge) es el punto focal de la lente, es decir, el punto de convergencia de los rayos de luz cuando llegan a la lente. En una lente divergente el foco es el punto de convergencia de las prolongaciones de los rayos refractados, la distancia focal de una lente delgada es la distancia de la lente al foco, siendo positiva para una lente convergente y negativa para una lente divergente. (Hecht, 2000)

2.4.4 Índice de refracción

El índice de refracción es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz a través de un medio dado, se simboliza con la letra n. Explicado por la ley de Snell (ver ecuación 2.1), el índice de refracción es la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción.

Según Malacara (2015) el índice de refracción surge cuando el proceso de absorción y emisión adelanta o retrasa las fases de los fotones dispersados, aun cuando ellos se propagan a una velocidad *c*. En la siguiente tabla se presentan algunos de los índices de refracción de los materiales más comunes.

Tabla 2.3 Índices de refracción de materiales comunes

Materiales	Índices de refracción
Vacío	1
Aire	1.0003

Agua	1.33
Cuarzo fundido	1.46
Acrílico	1.49
Hielo	1.31
Alcohol etílico	1.333
Vidrio Crown	1.52
Vidrio Flint ligero	1.58
Diamante	2.417
Poliestireno	1.59

2.5 Reflexión

La reflexión es un fenómeno que ocurre cuando un rayo de luz incide en la superficie de un material transparente, como una lámina de vidrio la onda se encuentra con una enorme distribución superficial de átomos muy próximos entre sí que harán que se esparza la onda. En el caso de la trasmisión a través de un medio denso, los trenes de ondas se anulan mutuamente en todas las direcciones excepto en la frontal y solamente se mantiene el rayo que avanza hacia adelante. Pero esto sucede solo cuando no hay discontinuidades. Este no es el caso en una interfaz entre dos medios transparentes diferentes, donde se produce una discontinuidad de salto. Cuando un haz de luz alcanza tal interfaz, siempre hay una parte de la luz que se esparce hacia atrás, y a este fenómeno se le denomina reflexión. (Beléndez, 1996).

La ley de reflexión indica que cuando un haz de luz está compuesto por una serie de frentes de onda planos incidiendo con un determinado ángulo sobre la superficie, suave y plana, de un medio ópticamente denso, (por ejemplo, el vidrio). Si el medio es el vacío. Al seguir la trayectoria de un frente de onda a medida que va adentrándose por entre las moléculas de la superficie.

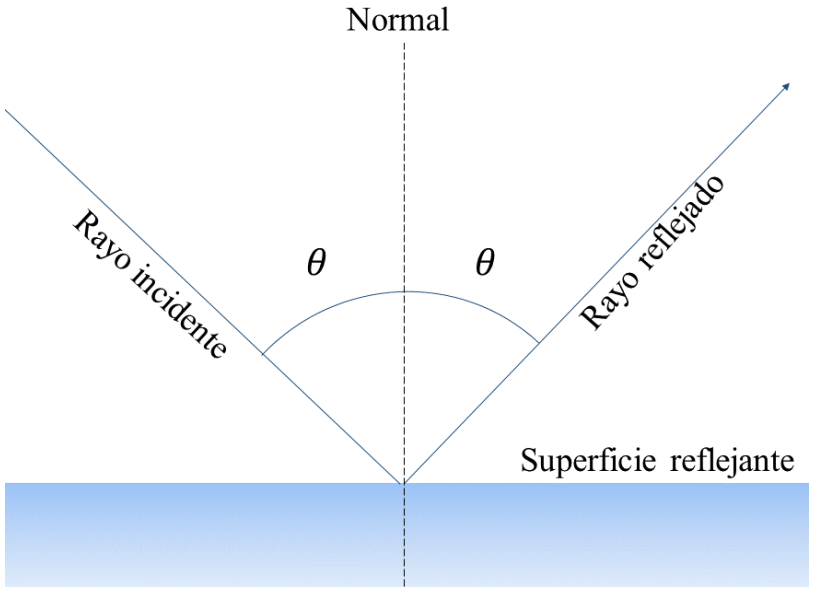


Figura 2.7 Diagrama que ilustra la trayectoria vectorial de la ley de reflexión. *Fuente: Elaboración propia.*

2.6 Refracción

El fenómeno de refracción se percibe visualmente como una curvatura que modifica la dirección de un rayo de luz al atravesar sustancias o materiales con diferentes índices de refracción. Esto tiene directa relación con los cambios de velocidad de la luz al pasar de un medio a otro. La refracción explica una gran variedad de fenómenos ópticos, desde el funcionamiento de lentes hasta la transmisión de datos a través de una fibra óptica.

Ley de Refracción o Ley de Snell: Willebrord Snell (1591-1626) estableció esta ley en 1621, donde indica que el cambio de dirección del rayo de luz depende del ángulo de incidencia y el cambio de velocidad que ocurre al pasar de un medio a otro., donde se dice que, para un ángulo de incidencia determinado, un gran cambio de velocidad provoca un gran cambio de dirección, y por tanto un gran cambio de ángulo, esto se resume en la siguiente ecuación:

$$n_1 \, sin \, sin \, \theta_1 \, = n_2 \, sin \, sin \, \theta_2 \qquad (2.1)$$

Donde n_1 y $n_2$son los índices de refracción de los medios 1 y 2, y θ_1 y θ_2 son los ángulos entre los rayos y la perpendicular en los medios 1 y 2. El rayo entrante se llama rayo incidente, el rayo saliente se llama rayo refractado, y los ángulos asociados son el ángulo incidente y el ángulo refractado, respectivamente.

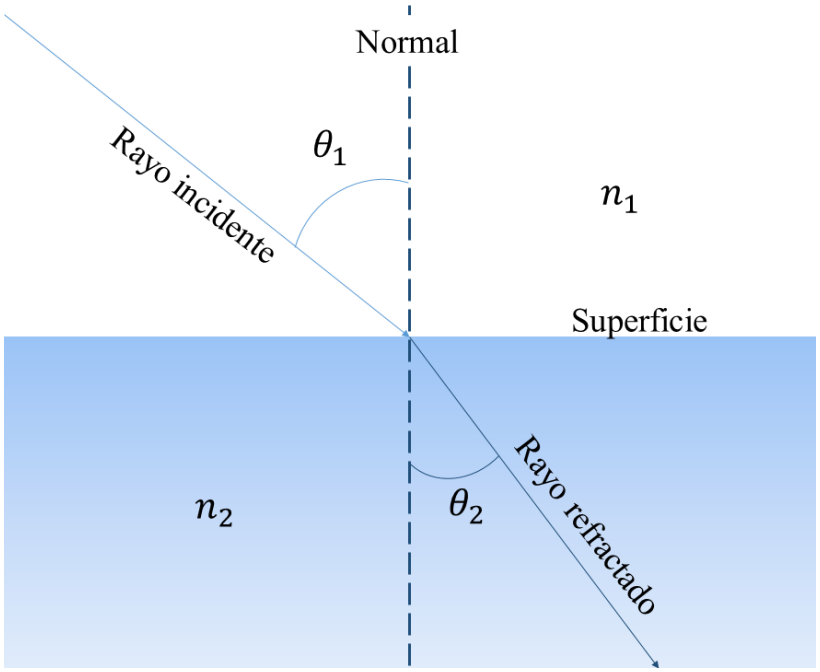


Figura 2.8 Diagrama que ilustra la ley de refracción. *Fuente: Elaboración propia.*

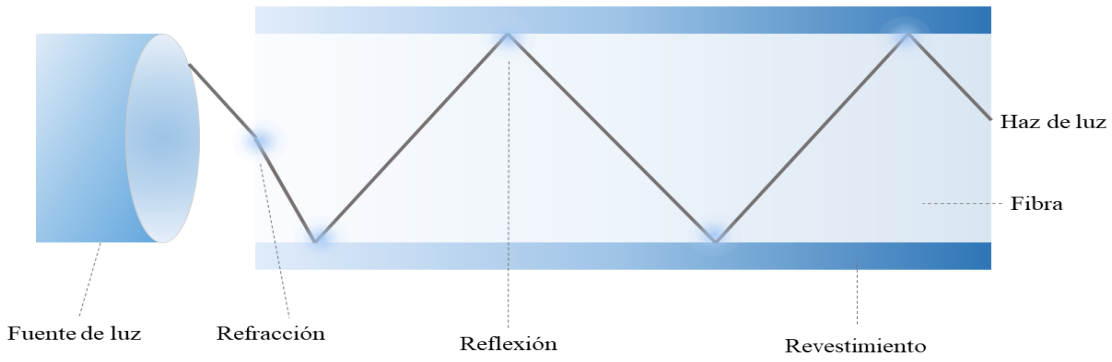


Figura 2.9 Ejemplificación grafica de cómo se aplican las leyes de refacción y reflexión en fibras ópticas. *Fuente: Elaboración propia.*

2.7 Principio de Huygens

De acuerdo con Malacara (2015) quien explica que el científico holandés Christiaan Huygens diseño una técnica que determina como y donde se propagan las ondas, es llamado el principio de Huygens el cual establece que cada punto en un frente de onda en propagación sirve como fuente de trenes de ondas específicas secundarias de tal modo que, al cabo de cierto tiempo, el frente de onda será la envolvente de estos trenes de ondas. Estas ondas se propagan hacia adelante con la misma velocidad que la propia onda. El nuevo frente de onda es tangente a todas las ondículas. Así mismo, describe las siguientes leyes:

Reflexión: el principio de Huygens explica la ley de reflexión, aplicado en un espejo, cuando el frente de onda incide, las ondículas se emiten primero por la parte izquierda del espejo y luego por la derecha. Donde se comprueba que la onda entrante es reflejada en el mismo ángulo incidente.

Refracción: Ley de refracción desde el concepto de Huygens, en un frente de onda que pasa de un medio a otro. Cada onda que se emite cuando el frente de onda cruza la interfase entre los medios. Dado que la velocidad de la luz es menor en el segundo medio. Las ondas no viajan tan lejos en un tiempo determinado, y el nuevo frente de onda cambia de dirección, es decir un rayo cambia de dirección para acercarse a la perpendicular cuando la luz se ralentiza. Derivando la ley de Snell de la geometría.

2.8 Principio De Fermat

El principio de Fermat, en el que se basa toda la óptica geométrica, establece que un rayo de luz viaja de un punto a otro por la trayectoria que lleva el menor o mayor tiempo posible. En sentido estricto, el tiempo de recorrido debe ser extremo o estacionario con respecto al de otras trayectorias.

La velocidad de la luz en el vacío es aproximadamente igual a 300 000 km/s y se representa por la letra *c*. En cualquier otro medio transparente la velocidad es *v*, menor que *c*, y su valor depende del medio que se considere. El índice de refracción (*n)* de un material se define como:

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2.8)$$

Dado un material, el índice de refracción (*n)* está en función del color o longitud de onda de la luz. En general este índice aumenta al disminuir la longitud de onda.

El principio de Fermat establece que la longitud de trayectoria óptica (L.T.O) a lo largo de cada rayo desde S hasta P debe ser estacionaria. (Malacara, 2015)

2.9 Lentes ópticas

Una lente es un objeto de vidrio o plástico translúcido delimitado por dos superficies de las que al menos una es curva. Se utiliza en instrumentos ópticos para modificar la trayectoria de los rayos de luz y formar imágenes. (Senior, 2009)

Algunos ejemplos de instrumentos ópticos en los que se pueden encontrar lentes son en la construcción de lupas, cámaras, telescopios, microscopios, prismáticos, catalejos o para corregir problemas de visión como gafas, anteojos o lentes de contacto.

Según su comportamiento, las lentes se clasifican en divergentes o convergentes.

2.9.1 Lente convergente

Si la lente hace que los rayos paralelos incidentes se refractan y converjan, se dice que es una lente convergente, a este tipo de lente también se puede denominar como lente positiva. Las lentes convergentes son más gruesas en su centro que en su periferia y tienden a disminuir el radio de curvatura de los frentes de onda, también son llamadas lentes convexas. (Hecht, 2000)

Las lentes convergentes para objetos alejados forman imágenes reales invertidas de arriba abajo y de izquierda a derecha respecto al objeto y de menor tamaño que los objetos. Esta imagen no se puede percibir directamente con los ojos, pero se registra colocando una pantalla en el lugar donde convengan los rayos.

2.9.2 Lente divergente

Si una lente hace que diverjan en un punto los rayos de luz que la atraviesan, la lente es divergente o positiva. Una lente es cóncava, ya que, es más delgada en el centro que en sus extremos, lo cual hace que los rayos que entran como haz paralelo diverjan, estas lentes alejan los rayos exteriores del eje central.

Estas lentes forman imágenes virtuales. La imagen se percibe en el lugar donde convergen las prolongaciones de los rayos divergentes. Las imágenes virtuales no se pueden proyectar sobre una pantalla y son derechas y menores que los objetos. (Hecht, 2000)

Las lentes delgadas pueden tener las siguientes formas:

Tabla 2.4 Formas básicas de las lentes delgadas.

CONVEXA	CÓNCAVA
$R_1 < 0$ $R_2 < 0$ Bi-convexa	$R_1 < 0$ $R_2 > 0$ Bi-cóncava
$R_1 = \infty$ $R_2 < 0$ Plano convexa	$R_1 = \infty$ $R_2 > 0$ Plano cóncava
$R_1 > 0$ $R_2 > 0$ Menisco convexo	$R_1 > 0$ $R_2 > 0$ Menisco cóncavo

2.10 Ecuaciones de lentes delgadas

Una lente es un sistema refringente que consiste en dos o más superficies de separación, de las cuales una por lo menos es cuerva. Una lente compuesta se forma de dos o más lentes simples. Una lente delgada, compuesta o simple, es aquella en donde el espesor de los elementos no desempeña un papel importante y como tal es despreciable. (Moebs, Ling, & Sanny, 2021) (Fernandez, 2023)

La ecuación fundamental de las lentes delgadas o también conocida como ecuación del fabricante de lentes, es una igualdad que relaciona la distancia a la lente de objeto y de la imagen con los índices de refracción de la lente y del medio en el que se encuentra según:

$$\frac{n}{S_i} - \frac{n}{s} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (2.9)$$

Donde n_l y n_m son los índices de refracción de la lente y del medio que la rodea, respectivamente, s representa la distancia del objeto y s_i la distancia de la imagen al origen. Si están delante de la lente es negativa y cuando están detrás son positivas. Así mismo R_1 y R_2 Son los radios de curvatura de la primera y segunda superficie refractada de la lente respectivamente.

En la imagen se ilustran las variables que componen la ecuación del fabricante de lentes. Los rayos que proceden del punto S se enfocan en el punto P. la lente funciona como dos superficies que separan dos medios con distinto índice de refracción, de radios R_1 y R_2 respectivamente de manera que la imagen proyectada por la primera superficie, P' actúa como objeto del segundo.

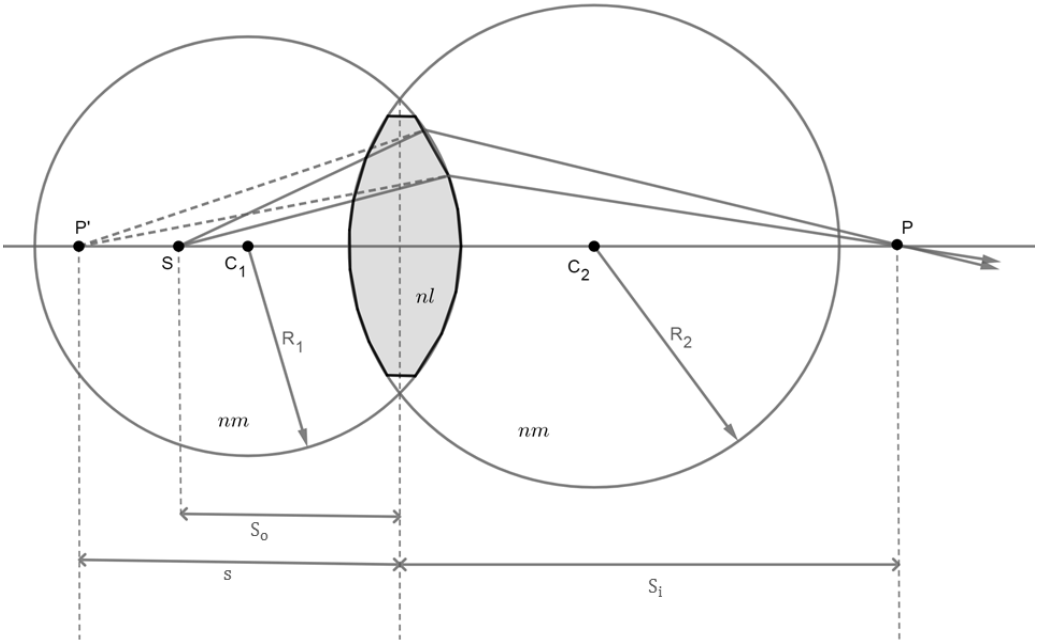


Figura 2.10 Aplicación grafica de las variables que conforman la ecuación de fabricante de lentes. *Fuente: Elaboración propia.*

La ecuación 2.9 también es expresada como:

Asumiendo el criterio de los signos en donde s Es positivo para los objetos reales, es decir

$$\frac{n}{S_i} + \frac{n}{S_o} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2.10)$$

delante de la lente y el resto de magnitudes coinciden con el signo.

Para comprobar las ecuaciones 2.9 y 2.10 con un caso particular de una lente biconvexa. Al ser una lente delgada el grosor de esta se desprecia y se sitúa el origen del sistema óptico en el centro de la lente. De esta forma los rayos procedentes de un punto S, se encuentran a distancias s del origen se refractan en primer lugar en la superficie de radio R_1 y forman una imagen en el puto P', a una distancia S_o del origen. La ecuación fundamental de la superficie da la siguiente reacción:

$$\frac{n_l}{s} - \frac{n_m}{S_o} = \frac{n_l - n_m}{R_1} \quad (2.11)$$

Al atravesar la lente los rayos atraviesan la siguiente superficie de la lente con radio R_1. En esta ocasión los rayos parecen provenir de P', que esta vez actúa como objeto. Tras refractarse, se forma la imagen en el punto P a una distancia S_{i2} del origen. La ecuación fundamental resulta como:

$$\frac{n_m}{S_i} - \frac{n_l}{s} = \frac{n_m - n_l}{R_2} \quad (2.12)$$

Para obtener la ecuación general se suman la ecuación 2.11 y 2.12, llegando a lo siguiente:

$$\left(\frac{\cancel{n_l}}{\cancel{s}} - \frac{n_m}{S_o}\right) + \left(\frac{n_m}{S_i} - \frac{\cancel{n_l}}{\cancel{s}}\right) = \left(\frac{n_l - n_m}{R_1}\right) + \left(\frac{n_m - n_l}{R_2}\right)$$

$$\frac{n_m}{S_i} - \frac{n_m}{S_o} = (n_l - n_m) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2.13)$$

Para una lente que se encuentra en el aire el cual tiene $n_m = 1$ la ecuación se puede expresar como:

$$\frac{1}{S_i} - \frac{1}{S_o} = (n_l - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2.14)$$

Esta expresión es válida para el resto de tipos de lente, considerando en cada ocasión el signo de los radios de las superficies.

Tabla 2.5 Características de la imagen de las lentes planas para objetos reales

Convexa				
OBJETO		**IMAGEN**		
Localización	**Tipo**	**Localización**	**Orientación**	**Tamaño relativo**
$\infty > S_o > 2f$	real	$f < S_i < 2f$	invertida	disminuido
$S_o = 2f$	real	$S_i = 2f$	invertida	igual tamaño
$f < S_o < 2f$	real	$\infty > S_i > 2f$	invertida	aumentado
$S_o = f$	virtual	$\pm\infty$	derecha	aumentado
$S_o < f$		$\lvert S_i \rvert > S_o$		

Cóncava				
OBJETO		**IMAGEN**		
Localización	Tipo	Localización	Orientación	Tamaño relativo
Cualquiera	virtual	$\lvert S_i \rvert > \lvert f_i \rvert$	derecha	disminuido

Se dice que un objeto es real cuando la luz diverge a partir del mismo y Virtual cuando la luz converge hacia él. Análogamente, una imagen se dice real cuando la luz converge hacia ella y virtual cuando la luz diverge a partir de ella. La tabla 2.6 resume la convención de signos, en todos los casos se supone que la luz viene de lado izquierdo. Se observa que un valor negativo de S_o o de S_i significa un objeto virtual o una imagen virtual, respectivamente. (Fernandez, 2023)

Tabla 2.6 convenio de signos para superficies refractoras y lentes delgadas (luz entrando por la izquierda)

Convención de signos para superficies esféricas		
S_o, f_o	+	a la izquierda de V
S_i, f_i	+	a la derecha de V
R	+	cuando C está a la derecha de V
y_o, y_i	+	Por encima del eje óptico
x_o	+	a la izquierda de F_o
x_i	+	a la derecha de F_i

2.10.1 Focos

El foco de una lente es el punto de convergencia de los rayos luminosos cuando estos llegan a la lente en un haz de rayos paralelos entre sí y al eje de la lente. Los focos son dos puntos importantes en el estudio de una lente, se dividen por foco objeto f_o y foco imagen f_i. El primero corresponde al punto en el que se coloca el objeto y el siguiente al punto donde la imagen toma forma.

En una superficie esférica individual si S_o se desplaza hacia el infinito, la distancia imagen se convierte en la distancia focal f_i

$$S_i = f_i$$

De manera parecida,

$$S_o = f_o$$

Modificando la ecuación (2.14) que para una lente delgada $f_{i=}f_o$ y en consecuencia eliminar totalmente los sub índices. Entonces:

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (2.15)$$

Y

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{f} \quad (2.16)$$

Que es la fórmula gaussiana para las lentes.

2.10.2 Aumento Lateral

La imagen de los objetos puede resultar aumentada o disminuida respecto al objeto original tras atravesar una lente. En lentes delgadas el espesor de la lente es despreciable, se pueden medir distancias desde el plano central que pasa por el punto O. además es posible dibujar los rayos como si sufriera una sola refracción en ese plano en lugar de dos en ambas superficies.

Tomando esta información como referencia, el aumento lateral o aumento transversal de la imagen, M_T, se define como la relación entre la altura y está. (Hecht, 2000)

$$M_T \equiv \frac{y_i}{y_o} \qquad (2.17)$$

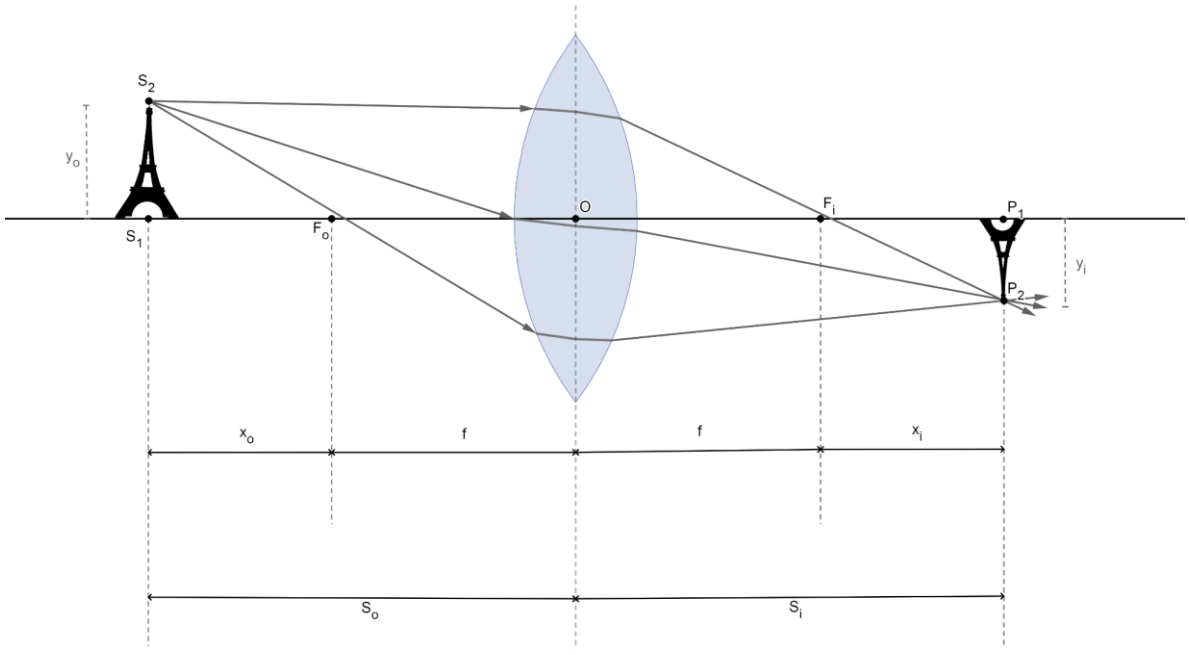


Figura 2.11. Aumento lateral. *Fuente: Elaboración propia.*

Como se ilustra en la imagen, de los triángulos semejantes S_1, S_2, O y P_1, P_2, O, es posible llegar a la siguiente expresión:

$$M_T = -\frac{S_i}{S_o} \qquad (2.18)$$

Entonces, un M_T positivo indica una imagen derecha mientras que un valor negativo significa que la imagen está invertida.

es importante tomar en cuenta que S_i y S_o son ambas positivas tanto para objetos reales como para imágenes reales. Entonces todas las imágenes reales formadas por una lente simple serán invertidas.

En la forma Newtoniana, se expresaría como:

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} \qquad (2.19)$$

Tabla 2.7 Significado físico de los signos de las lentes planas y de los parámetros de la superficie esférica de separación.

Combinar	Signo	
	+	-
S_o	Objeto real	objeto virtual
S_i	Imagen real	imagen virtual
f	Lente convergente	lente divergente
y_o	Objeto derecho	objeto invertido
y_i	Imagen derecha	imagen invertida
M_T	Imagen derecha	imagen invertida

En la tabla se enumeran las propiedades de la imagen para lentes cóncavas y convexas según Hetch (2000).

Teniendo presente que una imagen real puede ser proyectada directamente sobre una pantalla, mientras que una imagen virtual no puede ser proyectada.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1 Desarrollo matemático

En el marco del desarrollo de la fabricación de lentes de resina epoxi, con el objetivo de facilitar la divulgación de conceptos relacionados con las telecomunicaciones en fibras ópticas, se encuentra una fase crucial del proceso: el cálculo de los parámetros esenciales para el diseño óptimo de la lente de acrílico.

En esta etapa, se recurre a las ecuaciones fundamentales que describen el comportamiento óptico de las lentes, lo que permite obtener datos cruciales como el índice de refracción, la distancia focal, el tamaño y la forma de la lente, entre otros parámetros relevantes. Estos cálculos son esenciales para garantizar el rendimiento óptimo de la lente en las aplicaciones previstas.

El uso adecuado de estas ecuaciones establece la base teórica necesaria para el diseño preciso y eficiente de la lente de acrílico. Este enfoque teórico proporciona la guía necesaria para la fabricación de una lente que cumpla con los estándares de calidad requeridos y que pueda desempeñar su función de manera efectiva en la divulgación de conceptos relacionados con las telecomunicaciones en fibras ópticas.

3.1.1 Lente plano-convexa

Para está primera lente, se busca proyectar una imagen del doble del tamaño de la original, usando un radio de curvatura de 5 cm y un índice de refracción del acrílico de 1,49. De acuerdo con las características ópticas y en base a la óptica de lentes, se establece que se trata de una lente plano-convexa.

Con el siguiente desarrollo matemático se obtienen las distancias entre la lente, el objeto e imagen donde se cumplirán las características iniciales.

Dado que se trata de una lente plano convexa el radio de la primera superficie es $R_1 = \infty$ y mientras que $R_2 = -5cm.$

De acuerdo con la tabla 2.5 la imagen real aumentada ocurrirá cuando $f < S_o < 2f$, que será invertida y estará localizada de tal manera que $\infty > S_i > 2f$. En este caso, para determinar la distancia focal se utiliza:

$$\frac{1}{f} = (n_l - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{f} = (0.49)\left(\frac{1}{5}\right) \tag{2.15}$$

con esto se obtiene $f = 10.2\ cm$. La magnitud del aumento transversal debe de ser negativo si se desea el tamaño sea aumentado es por ello que se establece como: -2,

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} = -2$$

$$x_o = \frac{f}{2} = 5.1$$

$$x_i = 2f = 20.4082$$

Con $f = 10.2\ cm,\ x_o = 5.1\ cm$ y $x_i = 20.4082\ cm$

Usando la fórmula de Gauss

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} \tag{2.16}$$

Junto con el hecho que

$$M_T = -\frac{S_i}{S_o} = -2$$

$$S_i = 2S_o$$

Da

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{2S_o} = \frac{1}{f}$$

$$2 \cdot \left(\frac{1}{S_o} + \frac{1}{2S_o} = \frac{1}{f}\right)$$

$$\frac{2}{S_o} + \frac{1}{S_o} = \frac{2}{f}$$

$$\frac{3}{S_o} = \frac{2}{f}$$

Resultando en

$$2S_o = S_i = 30.6\ cm$$

$$S_o = 15.3\ cm$$

Considerando que $f = 10.2\ cm$.

3.1.2 Lente biconvexa

Para caracterizar la siguiente lente con el objetivo de proyectar una imagen del doble aumento, usando radios de curvatura de 5 cm y un índice de refracción del acrílico de 1,49. De acuerdo con las características ópticas y en base a la óptica de lentes, se establece que se trata de una lente bi-convexa.

A continuación, se presenta el método matemático para obtener las distancias entre la lente, el objeto e imagen donde se cumplirán las características iniciales.

para ambos radios curvatura de lente se toma el valor de $5cm$. Siendo: $R_1 = 5cm$ y $R_2 = -5cm$

De acuerdo con la tabla 2.5 la imagen real aumentada ocurrirá cuando $f < S_o < 2f$, que será invertida y estará localizada de tal manera que $\infty > S_i > 2f$. En este caso, para determinar la distancia focal se utiliza

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (1.49-1)\left(\frac{1}{5} - \frac{1}{-5}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (0.49)\left(\frac{2}{5}\right)$$

con esto se obtiene $f = 5.102\ cm$. La magnitud del aumento transversal es de -2

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} = -2$$

$$x_o = \frac{f}{2} = 2.55$$

$$x_i = 2f = 10.204$$

Con $f = 5.102\ cm,\ x_o = 2.55\ cm$ y $x_i = 10.204\ cm$

Finalmente, para calcular las distancias lente-imagen y lente-objeto se determina usando:

$$S_o = f + x_o = 7.652\ cm$$

$$S_i = f + x_i = 15.306\ cm$$

3.1.3 Lente bicóncava

Como siguiente objetivo se busca diseñar una lente bicóncava para proyectar una imagen con disminución doble, usando radios de curvatura de 5 cm y un índice de refracción del acrílico de 1,49.

A continuación, se presenta el método matemático para obtener las distancias entre la lente, el objeto e imagen donde se cumplirán las características iniciales.

De acuerdo con la tabla 2.5 la imagen virtual disminuida ocurrirá cuando $|S_i| > |f_i|$ En este caso, para determinar la distancia focal se utiliza

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (1.49-1)\left(\frac{1}{-5} - \frac{1}{5}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (0.49)\left(-\frac{2}{5}\right)$$

con esto se obtiene $f = -5.102\ cm$. La magnitud del aumento transversal es de $\frac{1}{2}$,

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} = \frac{1}{2}$$

$$x_i = -\frac{f}{2} = -\frac{(-5.102)}{2} = -2.55$$

$$x_o = -2f = 10.204$$

Con $f = -5.102\ cm,\ x_i = 2.55\ cm$ y $x_o = 10.204\ cm$

Finalmente, para calcular las distancias lente-imagen y lente-objeto se determina usando:

$$S_i = f + x_i = -2.5510\ cm$$

$$S_o = f + x_o = 5.1020\ cm$$

Al ser S_i un parámetro negativo se establece que la imagen obtenida será de tipo virtual.

3.1.4 Lente plana-cóncava

En esta ocasión se persigue obtener una lente plano cóncava con radio de curvatura 5 cm y un índice de refracción de 1,49 para el acrílico qué proyecte una imagen disminuida a la mitad.

Con el siguiente desarrollo matemático se obtienen las distancias entre la lente, el objeto e imagen donde se cumplirán las características iniciales.

Dado que se trata de una lente plano convexa el radio de la primera superficie es $R_1 = -5\ cm$ y mientras que $R_2 = \infty$.

De acuerdo con la tabla 2.5 la imagen virtual disminuida ocurrirá cuando $f < S_o < 2f$, que será invertida y estará localizada de tal manera que $\infty > S_i > 2f$. En este caso, para determinar la distancia focal se utiliza

$$\frac{1}{f} = (1.49 - 1)\left(\frac{1}{-5} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (0.49)\left(-\frac{1}{5}\right)$$

con esto se obtiene $f = -10.2\ cm$. La magnitud del aumento transversal es de $\frac{1}{2}$,

$$M_T = -\frac{x_i}{f} = -\frac{f}{x_o} = \frac{1}{2}$$

$$x_i = -\frac{f}{2} = 5.1$$

$$x_o = -2f = 20.4082$$

Con $f = -10.2\ cm,\ x_o = 5.1\ cm$ y $x_i = 20.4082\ cm$

La fórmula de Gauss

$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

Junto con el hecho que

$$M_T = -\frac{S_i}{S_o} = \frac{1}{2}$$

$$S_i = \frac{S_o}{2}$$

Da

$$\frac{1}{S_o} + \frac{2}{S_o} = \frac{1}{-10.2}$$

$$\frac{3}{S_o} = \frac{1}{-10.2}$$

Resultando en

$$\frac{S_o}{2} = S_i = -30.6\ cm$$

$$S_o = -15.3\ cm$$

$$S_i = f + x_i = -5.1020\ cm$$

$$S_o = f + x_o = 10.2041\ cm$$

De acuerdo con las características ópticas y en base a la óptica de lentes, se establece que al tratarse de lente plano-cóncava a imagen obtenida será virtual, no real, es decir solo podrá verse si se combina con otro tipo de lente.

3.2 Desarrollo Práctico

3.2.1 Diseño de los moldes

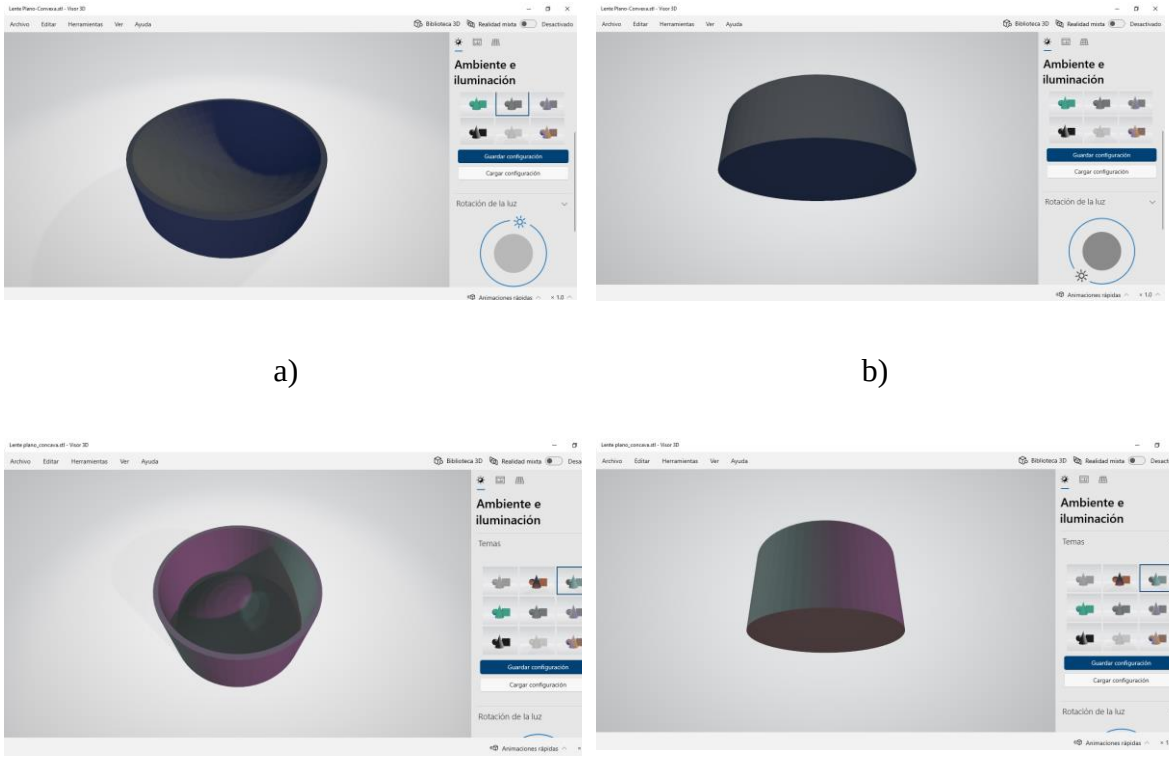
Materiales y Equipos:

- Computadora con acceso a internet
- Aplicación web Tinkercad

Proceso:

El diseño de los moldes necesarios para la fabricación de las lentes se realizó con la herramienta de diseño 3D, con el fin de obtener un molde con gran fidelidad a el modelo deseado.

Para esto, se hizo uso de la aplicación web Tinkercad. Tinkercad es una plataforma gratuita y versátil que no solo permite el diseño 3D, sino que también es utilizada para el diseño de tarjetas electrónicas y la codificación. La elección de esta herramienta se basó en su facilidad de uso, su accesibilidad y su capacidad para proporcionar resultados precisos y detallados en el diseño de figuras complejas.



a) b)

c) d)

Figura 3.1 Captura de pantalla de los diferentes moldes creados en el software Tinkercad; (a) y (b) molde de lente plano convexa; (c) y (d) molde de lente plano cóncava). *Fuente: Elaboración propia.*

En las imágenes se ilustran los diversos moldes que fueron desarrollados, en la figura c) y d) se muestra el molde negativo para la lente plano-convexa para rellenarse con resina epóxica. Mientras que en la figura e) y f) está el molde del negativo de una lente plano-cóncava.

3.2.2 Impresión del Molde

Materiales y Equipos:

- Impresora 3D
- Filamento PLA (ácido poliláctico)

Proceso:

Para la construcción del molde se buscaron materiales adecuados para garantizar la durabilidad y precisión del molde, factores determinantes para asegurar la reproducción consistente de las lentes diseñadas. En este contexto, opto por utilizar una técnica de manufactura avanzada: la impresión 3D. Esta técnica ofrece numerosas ventajas, como la capacidad de producir formas complejas con alta precisión y rapidez.

Figura 3.2 Filamento PLA. *Fuente: Elaboración propia.*

Para la construcción del molde se selecciona el filamento PLA, un termoplástico fabricado a partir de recursos renovables como el almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar. El PLA es una opción popular debido a su biodegradabilidad, baja toxicidad y facilidad de uso en impresión 3D.

Procedimiento:

1. Diseñar el molde en un software de diseño 3D, como Tinkercad.
2. Cargar el diseño en la impresora 3D.
3. Imprimir el molde utilizando filamento PLA.

Una vez impreso, se limpia y se concluye el molde para asegurar que no existan imperfecciones.

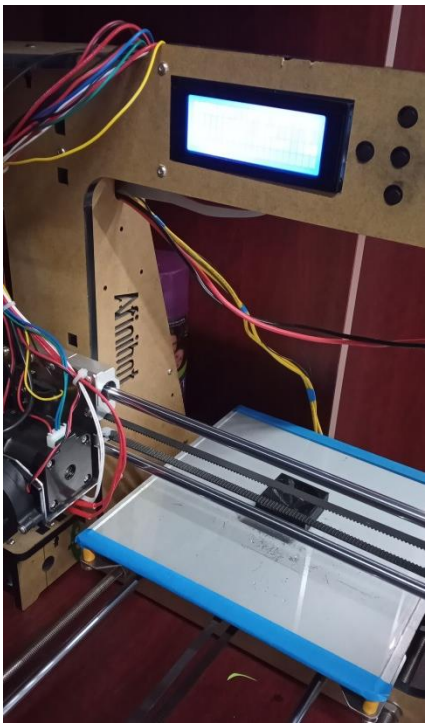


Figura 3.3 Impresión del molde en impresora 3D. *Fuente: Elaboración propia.*

3.2.3 Preparación de la Resina

Materiales y Equipos:

- Resina epoxi (marca Decoart)
- Catalizador (compatible con la resina DecoArt)
- Recipientes de mezcla (preferentemente transparente para facilitar la observación)
- Varillas de mezcla
- Bascula

Procedimiento:

1. Para fabricar la lente empleando una cantidad de 10 gramos de resina. De acuerdo con la proporción recomendada por la marca de dos partes de resina por cada parte de catalizador, se realiza el siguiente cálculo:

   Resina: 10 gramos

   Catalizador: 10 g/2 = 5 g

2. Después, se procede a pesar dichas cantidades, 10 gramos de resina epóxica DecoArt y 5 gramos de catalizador, siguiendo la relación 2:1 (resina:catalizador), utilizando una báscula.

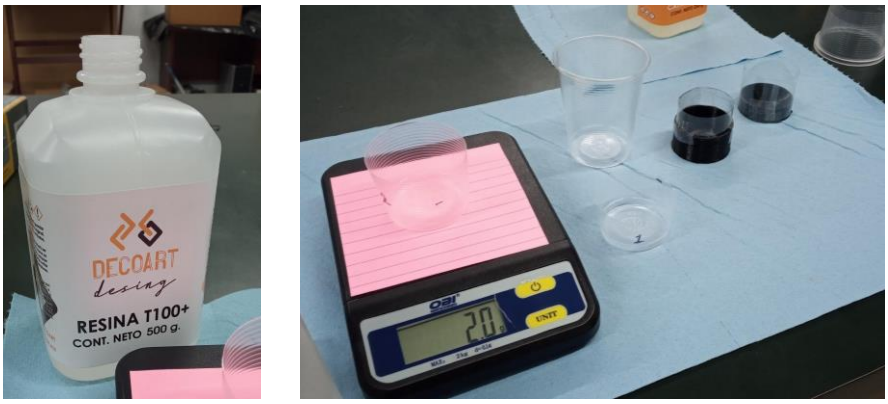


Figura 3.4 Preparación de la resina con los porcentajes determinados. *Fuente: Elaboración propia.*

3. Se vierte la resina y, a continuación, el catalizador en el recipiente de mezcla, para después mezclar cuidadosamente utilizando la varilla o agitador, realizando movimientos lentos y constantes para evitar la incorporación de burbujas de aire.
4. Finalmente, se continúa mezclando hasta obtener una mezcla homogénea, verificando visualmente que la mezcla no presente puntos o vetas de separación, para proceder con el vertido en los moldes.

3.2.4 Vertido en los Moldes

Materiales y Equipos:

- Moldes impresos en 3D
- Acetato
- Pistola de calor

Procedimiento:

1. Preparar los moldes cubriéndolos con acetato para proporcionar una superficie lisa y facilitar la extracción de las lentes.

2. Enseguida, la mezcla de la resina preparada se vierte en los moldes con cuidado para tener una mayor precisión y no generar burbujas o derrames no deseados. Es recomendable verter lentamente la resina desde el centro en dirección a las orillas del molde para evitar la formación de burbujas de aire

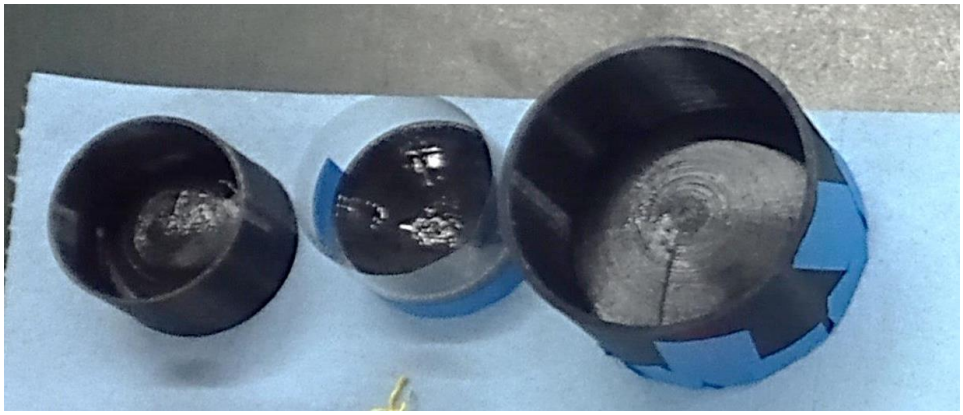


Figura 3.5 Preparación de los moldes para verter la resina dentro. *Fuente: Elaboración propia.*

3. En caso de que se formen algunas se pueden eliminar aplicando calor suavemente sobre la superficie de la resina utilizando con la pistola de calor, manteniendo una distancia adecuada entre la pistola de calor y la resina para evitar el sobrecalentamiento o deformación de los moldes.

3.2.5 Curado de la Resina

Materiales y Equipos:

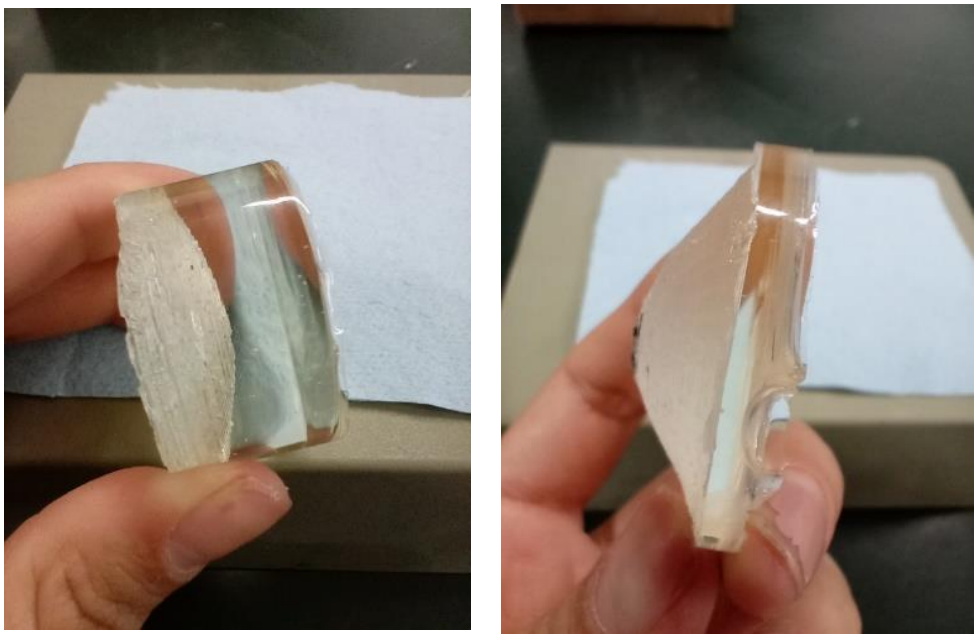
- Ambiente controlado (sin vibraciones)
- Lámpara UV (opcional)
- Pistola de calor (para facilitar la extracción)

Procedimiento:

1. Dejar curar la resina a temperatura ambiente durante aproximadamente 24 horas. Este proceso también puede acelerarse utilizando una lámpara UV. Es esencial que el entorno sea estable y sin vibraciones para permitir que la resina se endurezca completamente sin alteraciones.

Figura 3.6 Curado de la resina. *Fuente: Elaboración propia.*

2. Una vez endurecida la resina, se retira con cuidado de los moldes con ayuda de una pistola de calor para facilitar la extracción y así obtener las lentes diseñadas.



a) b)

Figura 3.7 Resultado al extraer las lentes del molde. a) lente plano convexa, b) lente plano cóncava. *Fuente: Elaboración propia.*

3.2.6 Pulido de las Lentes

Materiales y Equipos:

- Lentes de resina epoxi recién fabricadas
- Lijas de distintos gramajes (400, 800, 1000, 2000, 5000, 10000)
- Agua (para lubricación)
- Paños de microfibra

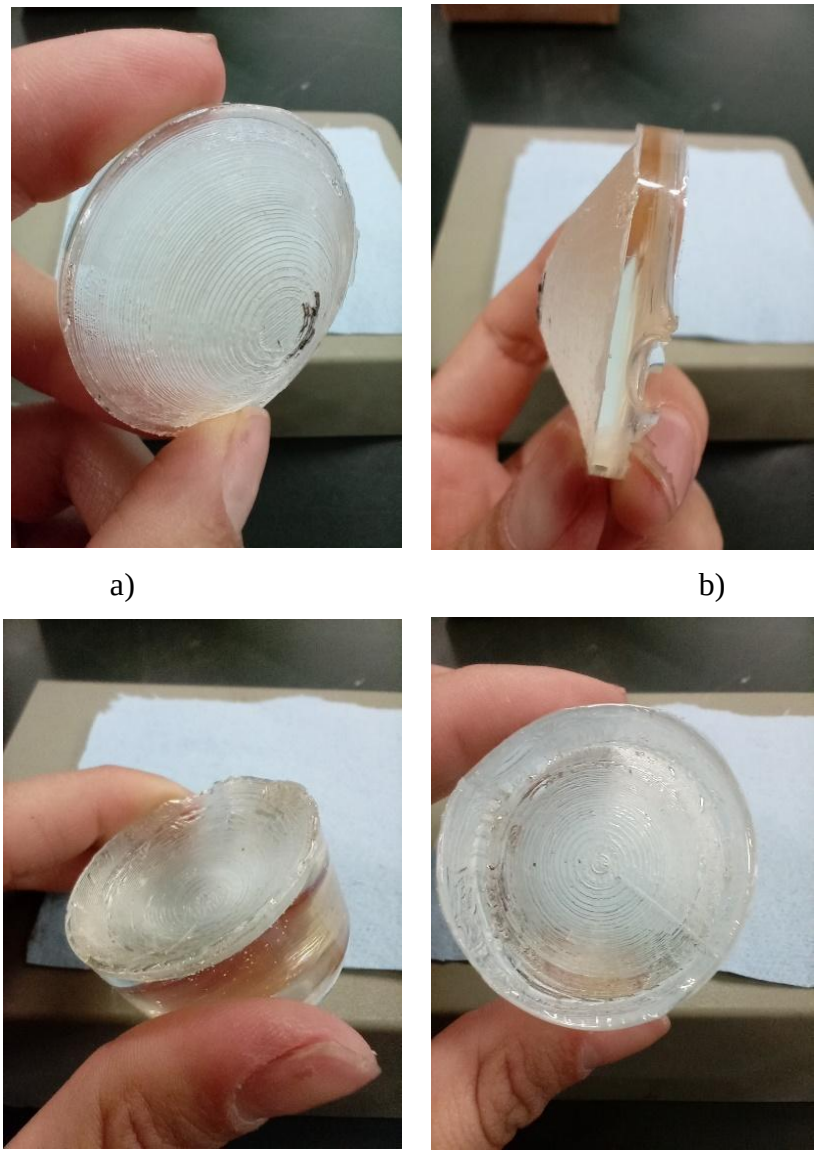
Procedimiento:

Una vez extraídas, las lentes se someten a un proceso de pulido para mejorar su claridad óptica y eliminar imperfecciones superficiales. Utilizando lijas de distintos gramajes, comenzando con las más gruesas (400) y progresando hacia las más finas (10,000).

Figura 3.8 Imagen alusiva a los gramajes de lijas utilizadas en el proceso de pulido.

Fuente: Elaboración propia.

Para iniciar el proceso de pulido se utiliza la lija de gramaje más bajo (400), se pule la superficie de las lentes con movimientos circulares y suaves, procurando cubrir toda la superficie de manera uniforme. Este proceso se realiza con agua para reducir el calor y evitar daños en la resina.



a) b)

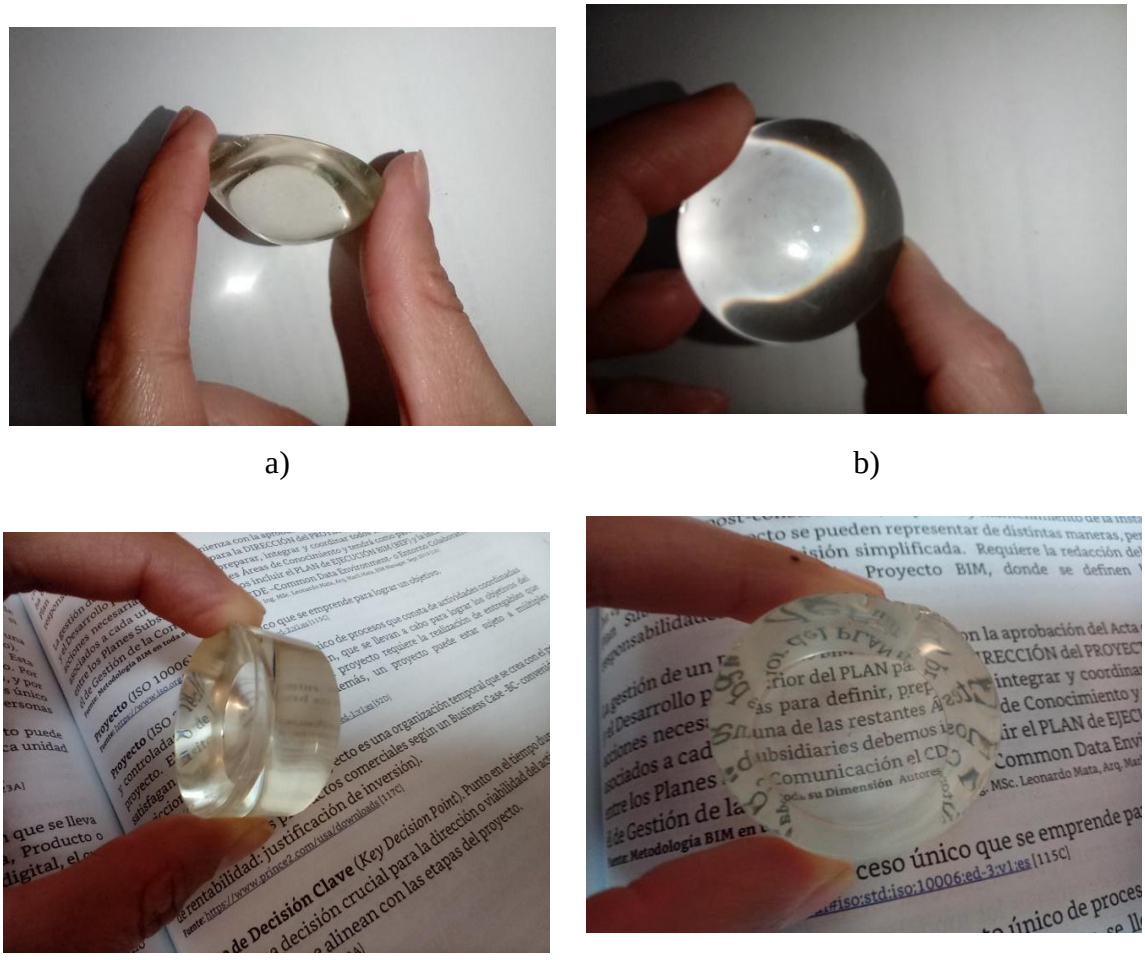
c) d)

Figura 3.9 Lentes antes del proceso de pulido, a) lente plano convexa 45°, b) lente plano convexa vista lateral, c) lente plano-cóncava vista 45°, d) lente plano-cóncava vista frontal. *Fuente: Elaboración propia.*

En el pulido intermedio. Se logra al siguiente nivel de lija en este caso con la lija de 2,000, se repite el proceso de pulido con movimientos circulares y suaves hasta lograr una mejora significativa en la claridad óptica y suavidad de la superficie de la lente.

Para finalizar se continúa con las lijas de mayor gramaje, que van desde la 3000-10,000, nuevamente se continúa con movimientos circulares y suaves, asegurándose de pulir con

cuidado y atención hasta obtener un acabado óptimo y una claridad visual excepcional de la lente, sin ignorar el agregar un poco de agua periódicamente, durante este proceso.



a) b)

c) d)

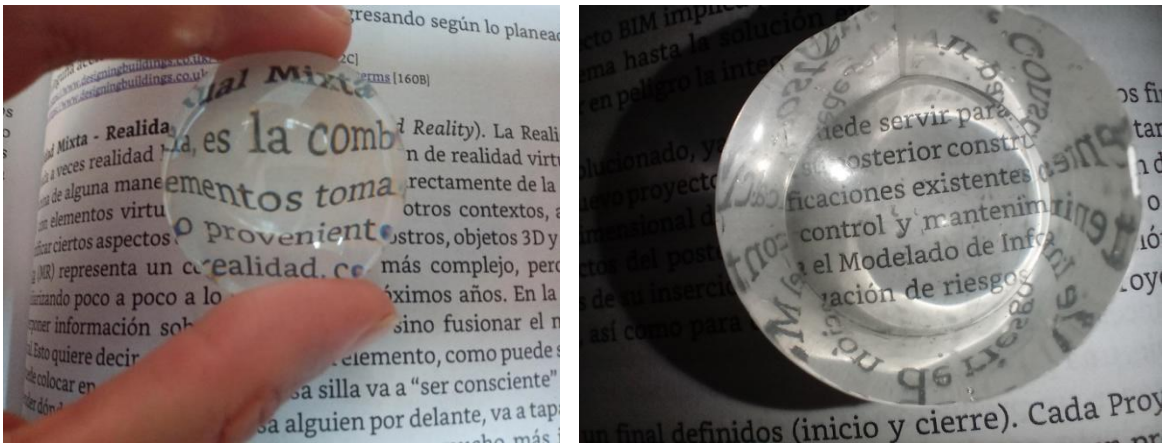
Figura 3.10 Lentes después del proceso de pulido, a) lente plano convexa vista lateral b) lente plano convexa vista frontal, c) lente plano-cóncava vista 45°, d) lente plano-cóncava vista frontal. *Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, las lentes se limpian con paños de microfibra para eliminar cualquier residuo y se hace una inspección visual de la lente pulida para verificar la eliminación de cualquier imperfección superficial y garantizar una claridad óptica aceptable. Para después se almacenarlas en un lugar limpio y seguro hasta su uso final.

CAPITULO IV

4 Resultados

Como resultado final, se obtienen lentes de uso educativo, con alta durabilidad. Posterior al proceso de pulido, las lentes de resina epóxica presentan una transparencia notable con una mínima presencia de burbujas de aire. La inspección visual revela una superficie lisa y clara.



a) b)

Figura 4.1 Imágenes de las lentes con objetos. a) lente plano convexa. b) lente plano-cóncava. *Fuente: Elaboración propia.*

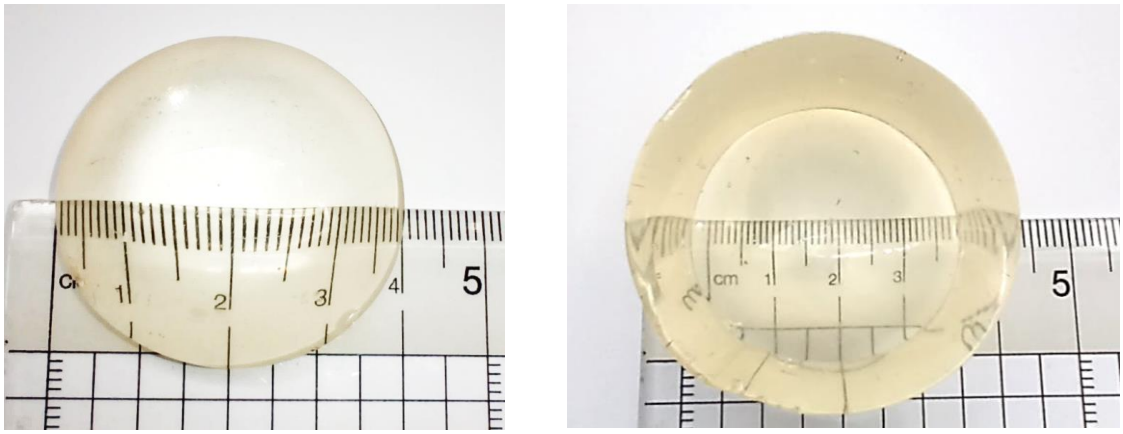
4.1 Dimensiones y precisión

Durante el proceso de fabricación de las lentes ópticas con resina epóxica se realizaron mediciones para evaluar las dimensiones finales de las lentes obtenidas, es importante

mencionar que las lentes diseñadas fueron elaboradas a escala con respecto al calculo matemático, esto debido a cuestiones técnicas de la impresora 3D, la escala utilizada fue de 5cm:4cm.

Tabla 4.1 Los resultados de la medición

Tipo de lente	Escala propuesta	Dimensión obtenida	Observaciones
Lente plano-convexa	5 cm: 4 cm	4 cm	Forma y curvatura adecuados para el diseño.
Lente plano-cóncava	5 cm: 4cm	3.8 cm	Disminución mínima atribuida al pulido y contracción de la resina.



a) b)

Figura 4.2 Imágenes ilustrativas de las medidas obtenidas en las lentes fabricadas con resina epoxi, a) lente plano convexa, b) lente plano cóncava. *Fuente: Elaboración propia.*

Ambas lentes fabricadas cumplen con las dimensiones planificadas dentro de un margen aceptable de error. Estas ligeras diferencias en las medidas no afectan significativamente el rendimiento óptico de las lentes, lo que valida la viabilidad del método de fabricación propuesto.

4.2 Rendimiento en aplicaciones ópticas

En pruebas prácticas, las lentes demuestran un excelente rendimiento. Es decir, logran cumplir el objetivo de ilustrar los fenómenos de reflexión y refacción básicos para ejemplificar el funcionamiento de las fibras ópticas.

Figura 4.3 Experimentación con la lente plano convexa. *Fuente: Elaboración propia.*

Esta prueba se llevó a cabo con la lente plano-convexa diseñada. La prueba realizo utilizando una fuente de luz, a la que se le coloco un objeto delante, en este caso una flecha, para que, mediante la lente placo-convexa observar el resultado sobre una superficie plana.

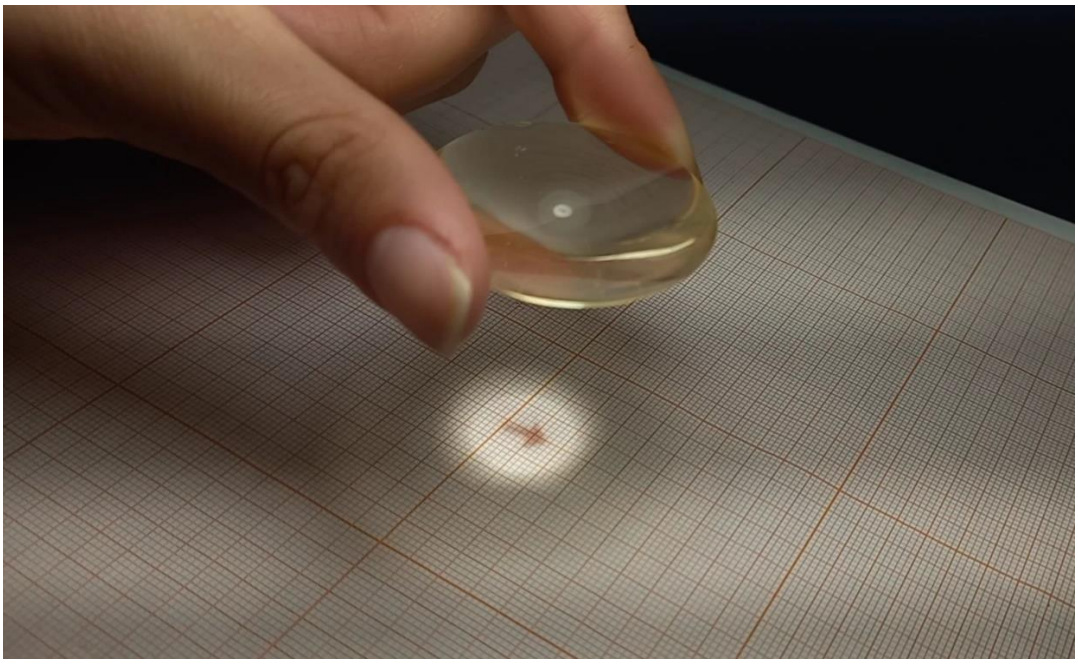


Figura 4.4 Resultado de la prueba con la lente plano convexa. *Fuente: Elaboración propia.*

Como resultado se observa una imagen invertida de la flecha, (véase la figura 4.4) indicando que la lente cumple con los requerimientos deseados, demostrando la idoneidad del materia y versatilidad para ser personalizado con las características que se requieran según el uso.

4.3 Aspectos económicos y sostenibilidad

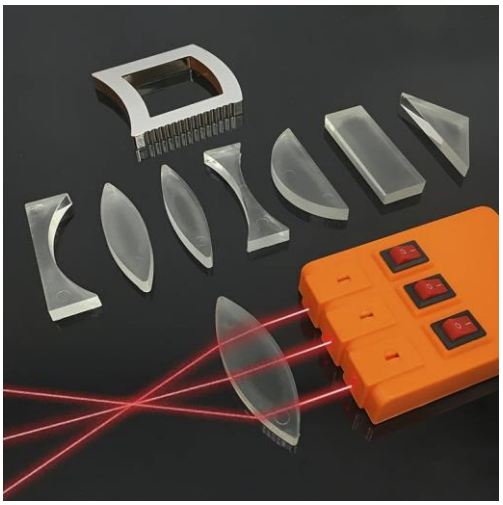
En base a diferentes fuentes consultadas, se presenta una lista de los resultados más populares para adquirir kits de lentes ópticas comerciales similares a las lentes ópticas desarrolladas en este proyecto.

Juego de lentes ópticas experimental

Este kit incluye tres juegos de lentes ópticas para experimentos en el aula de física.

Precio: $300 MNX

Fuente: Amazon



Conjunto de experimentos de óptica geométrica

kit diseñado para fines educativos en óptica, ideal para observar fenómenos de luz. Incluye fuente de luz LASER de tres vías y requiere 2 baterias AAA (no incluidas).

Precio: $4,5000 MNX

Fuente: InterCyprus

Plano-Convex (PCX) and Simple Lens Kits

Kit de lentes simples, incluye lentes PCX, DCX, PCV Y DC, Con diámetros de 12mm y 25mm.

Precio: $6,805.00 MNX

Fuente: Edmund

A continuación, se presenta una tabla con la relación de precios de los materiales utilizados en la fabricación de dos lentes ópticos de 4 cm de diámetro, empleando 10 gramos de resina DecoArt, filamento PLA para la impresión 3D de los moldes y lijas de diferentes gramajes para el acabado.

Tabla 4.2 Relación de precios de los materiales utilizados.

Material	Presentación	Precio aproximado (MXN)	Cantidad utilizada	Costo estimado (MXN)
Resina epóxica DecoArt	500 g	$480.10	10g	$9.60
Filamento PLA	1 kg	$500.00	50g	$25.00
Lijas (varios gramajes)	Paquete surtido de lijas	$200.00	Uso parcial	$50.00
Total				**$84.60**

Resina epóxica DecoArt T100+: el precio de la presentación de 500 gramos es de $480.10 MXN. Dado que se utilizaron 10 gramos, el costo estimado es de aproximadamente $9.60 MXN. (DECOART, s.f.)

Filamento PLA: el precio promedio de un carrete de 1 kg es de $500.00 MXN. Asumiendo que se utilizaron 50 gramos para la impresión de los moldes, el costo estimado es de $25.00. (Mercado libre, s.f.)

Lijas: el precio de un paquete surtido de lijas de diferentes gramajes es de aproximadamente $200.00 MXN. Considerando que solo se utilizó una fracción del paquete para el acabado de las lentes, se estima un costo de $50.00 MXN.

Estos costos son estimaciones basadas en los precios disponibles en línea y proveedores locales, pueden variar según el proveedor y la ubicación.

En el análisis los costos muestran que la fabricación de lentes de resina epóxica es significativamente más económica que los kits comerciales, especialmente considerando que el proceso puede repetirse para fabricar mas lentes a un bajo costo, siendo las lentes de resina epóxica mas resistentes que las de vidrio, lo que las hace ideales para ambientes educativos donde el material puede estar expuesto a caídas o manipulación frecuente. En cuanto a la precisión óptica, aunque las lentes comerciales ofrecen una precisión óptica mayor debido a los estándares industriales, las lentes de resina epóxica son funcionales y cumplen con su propósito educativo, además, lentes fabricadas ofrecen la ventaja de ser producidas en un

entorno accesible, con materiales disponibles en laboratorios escolares y son totalmente personalizables.

CAPITULO V

5. Conclusiones

Las fibras ópticas en base a lo investigado y presentado en esta tesis, representan al medio de comunicación más veloz y eficiente de actualidad, es por ello que es importante conocer cómo funciona y aprender de diferentes métodos el cómo manejarlo.

Los resultados obtenidos de este trabajo confirman que las lentes de resina epóxica, diseñadas y fabricadas mediante los métodos descritos, son adecuadas para su uso en la divulgación de conceptos relacionados con las telecomunicaciones en fibras ópticas. Si bien las lentes no cumplen completamente con todas las propiedades ópticas ideales, como la transparencia o calidad de enfoque comparables a otras opciones de materiales ópticos, si destacan por su mayor resistencia mecánica en comparación con lentes de cristal o plástico convencionales. Este atributo junto con la facilidad de fabricación, así como la accesibilidad económica y su naturaleza práctica, hace que las lentes sean viables y útiles para aplicaciones en el ámbito educativo, como en laboratorios donde la robustez de los equipos es prioridad.

Por lo tanto, la hipótesis inicial puede confirmarse, afirmando que las lentes de resina epóxica son una opción factible para fines de divulgación de conceptos relacionados con las telecomunicaciones en fibras ópticas, especialmente en entornos donde la durabilidad y practicidad son factores clave.

Las lentes ópticas son una alternativa económica y práctica para aplicaciones educativas, ofreciendo durabilidad y bajo costo, aunque no iguales la precisión de lentes comerciales diseñadas para investigaciones avanzadas o aplicaciones industriales.

5.1 Trabajos futuros

Para futuros trabajos, se propone explorar métodos de moldeo más precisos para optimizar la fabricación de lentes y reducir el tiempo de pulido. Una alternativa viable es el uso de alginato, un material muy utilizado en ortodoncia para obtener réplicas precisas. Su aplicación podría mejorar la fidelidad de reproducción de los moldes al minimizar las irregularidades de la superficie de la lente. Sin embargo, se recomienda un análisis comparativo con otros métodos, como los moldes de silicona o la impresión 3D, para determinar la opción más eficiente en términos de coste y precisión.

Además, queda abierta la implementación de estas lentes en actividades del ámbito educativo sobre la divulgación de las telecomunicaciones por fibra óptica, diseñando estrategias pedagógicas para evaluar su impacto en la enseñanza y divulgación de conceptos ópticos en el ámbito académico.

Referencias

Aceroform. (2023). *Acrílico*. (Aceroform) Recuperado el 27 de Mayo de 2023, de https://www.aceroform.com.mx/blog/acrilico/

Amargós, O. (2015). *Diseño y fabricación de componentes ópticos para la banda de Terahertz por impresión tridimensional.* México: Centro de Investigaciones en óptica .

Amazon. (s.f.). *3 juegos de lentes ópticas experimentales suministros para el aula Física Ciencia lente óptica Kit de experimento de física Experimentos científicos para experimentos ópticos físicos*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de https://www.amazon.com/-/es/experimentales-suministros-experimento-Experimentos-experimentos/dp/B0DM85DXFX

DECOART. (s.f.). *Tienda*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de https://tienda.decoart.mx/categoria-producto/resina-epoxica/

Edmund Optics. (s.f.). *TECHSPEC Plano Convex and Simple Lens Kits. Recuperado el 31 de enero de 2025, de*. Recuperado el 31 de enero de 2025, de https://www.edmundoptics.com/f/plano-convex-pcx-and-simple-lens-kits/13937/

España Boquera, M. C. (2005). *Comunicaciones Opticas* (Primera ed.). España: Diaz de Santos. Recuperado el 2024, de https://www.google.com.mx/books/edition/Comunicaciones_%C3%B3pticas/E4z9jhLbQ7EC?hl=es&gbpv=1&dq=fibra+optica&pg=PA1&printsec=frontcover

Fernandez, J. L. (2023). *Lentes Delgadas*. (Fisicalab) Recuperado el 2024, de https://www.fisicalab.com/apartado/lentes-delgadas

García, J. R. (1997). *Fundamentos de óptica geométrica.* Universidad de Oviedo.

Grupo OG. (2022). *8 ventajas del Acrílico*. (Grupo OG Diseño y Producción de Ideas) Recuperado el 1 de Junio de 2023, de https://www.ogacrilicos.com/post/8-ventajas-del-acr%C3%ADlico

Referencias

Hecht, E. (2000). *Óptica* (Tercera ed.). Madrid: ADDISSON WESLEY IBEROAMERICANA. Recuperado el 2024

InterCyprus. (s.f.). *Conjunto de experimentos de óptica geométrica: kit de lente integral para la refracción y reflexión de la luz*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de https://www.intercyprus.com/es/products/conjunto-de-experimentos-de-optica-geometrica-kit-de-lente-integral-para-la-refraccion-y-reflexion-de-la-luz?srsltid=AfmBOopUl0UeyOJ9oLrNeLaJgNC77WibB6SuxKkGHdYoGu0hs4TeohTn

KALSTEIN. (2022). *¿Qué tipo de lente se utiliza en los microscopios ópticos?* (KALSTEIN) Recuperado el 27 de mayo de 2023, de https://kalstein.com.mx/que-tipo-de-lente-se-utiliza-en-los-microscopios-opticos/#:~:text=Esta%20lente%20es%20la%20parte,mejor%20calidad%20de%20imagen%20posible.

Malacara, D. (2015). *ÓPTICA BÁSICA* (Tercera ed.). México: Fondo de Cultura Económica.

Mariano. (27 de Mayo de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. (Merrymoonmary) Recuperado el 1 de Junio de 2023, de https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/polimetacrilato-de-metilo.html

Mercado libre. (s.f.). *Filamento PLA 1 kilo*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de https://listado.mercadolibre.com.mx/filamento-pla-1-kilo?utm

Moebs, W., Ling, S., & Sanny, J. (17 de Noviembre de 2021). *Física universitaria volumen 3*. (OpenStax) Recuperado el 2024, de https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-3/pages/1-introduccion

Pierri, J. (abril de 2010). *La fibra Óptica*. (Info@Citel) Recuperado el 2024, de https://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp#:~:text=La%20fibra%20%C3%B3https://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp#:~:text=La%20fibra%20%C3%B3ptica%20no%20es,se%20alcanza%20en%20el%20vac%C3%ADoptica%20no%20es,se%20alcanza

Ramírez , L. (s.f.). *Instrumentos ópticos.* Creative Commons.

Referencias

Senior, J. M. (2009). *Optical Fiber Communications Principles and Practice* (Tercera ed.). England: Pearson Education. Recuperado el mayo de 2024

Torres, J., & Vásquez, C. (2021). Diseño de un anillo princial y redundante de fibra optica utilizando tecnologia 10gpon para optimizar el trafico de la red en la Universidad Tecnica del Norte. *Universidad Tecnica del Norte*. Recuperado el 05/06/27

UVACRYLIC. (2023). *Qué es el Plástico Acrilico*. (UVACRYLIC) Recuperado el 27 de Mayo de 2023, de https://es.uvacrylic.com/blog/difference-between-acrylic-and-pvc-plastic/

ZEISS. (28 de marzo de 2018). *¿Cómo se fabrican las lentes oftálmicas?* (ZEISS) Recuperado el 27 de mayo de 2023, de https://www.zeiss.es/vision-care/mejor-vision/entender-la-vision/como-se-fabrican-las-lentes-oftalmicas.html#:~:text=En%20primer%20lugar%2C%20se%20produce,la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20lentes%20oft%C3%A1lmicas.