



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de ingeniería

Metodología para la simulación y experimentación de sistemas ópticos de soldadura IR en un
laboratorio escolar

Tesis
que se presenta para obtener el grado de Ingeniero en Mecatrónica

Alejandro Aguayo Castillo

Director de tesis:
Dra. Rosa Citlalli Anguiano Cota

Nada es imposible, no si puedes imaginarlo,
eso es lo que implica ser un científico.
-Profesor Hubert J. Farnsworth

Agradecimientos

A mis padres

No sé por dónde empezar a agradecer, ya que me han dado todo lo que han podido, amor, un techo en el cual vivir, educación, comida, entre muchas otras cosas, las cuales no podría terminar de mencionar en un simple agradecimiento. Aun así, quiero que sepan que todo lo que he logrado y todo lo que podré lograr es gracias a ustedes, sé que no he sido el mejor hijo, también que he sido algo problemático por todos mis deslices, pero aun así nunca me dieron la espalda y estuvieron para mí apoyándome en cada momento, aunque fuera muy difícil tanto para ustedes como para mí, en mi corazón solo queda agradecimiento y puedo decir con certeza, que necesitaría más de una vida para demostrar mi amor y agradecimiento hacia ustedes.

A mi directora de tesis

Quiero agradecerle a la doctora Rosa Citlalli por ofrecerme a trabajar con ella en su proyecto de investigación, lo cual después culminó en realizar esta tesis. También por a ver dedicado de su tiempo en aclarar mis dudas y guiarme en todo el proceso, aun siendo pandemia. Espero y el resultado final le sea satisfactorio tanto como a mí.

A mis amigos

Les agradezco por estar siempre apoyándome tanto en ámbito personal como profesional, pendientes de mí en todas mis desventuras, sé que no he sido el mejor amigo pero intento dar lo mejor de mí, aunque me conocen desde hace años han decidido quedarse conmigo, los considero mi familia y no dudaría meter las manos al fuego por ustedes, espero que eso siga siendo así siempre sin importar el tiempo que pase, no mencionar sus nombres en esta tesis, que es el trabajo más importante que he pensado hasta el momento, me parecería un insulto hacia ustedes de mi parte, por eso agradezco a Daniel Nevarez, José Ángel Ornelas, Kate Zárate, Ana Paula Limón, José María Gómez y Victoria Félix.

Índice de contenido

Introducción	7
Capítulo 1.....	9
1.1 Fundamentos ópticos.....	9
1.2 Dualidad de la luz.	9
1.2.1 Onda	9
1.2.2 Fotón o cuantos de luz	11
1.3 Refracción y reflexión	11
1.3.1 Refracción.....	11
1.3.2 Reflexión.....	12
1.4 Lente y sus características.....	12
1.4.1 Lente convergente.....	14
1.4.2 Lente divergente	18
1.4.3 Lente de Fresnel	19
1.5 Materiales y características	20
1.5.1 Transmisión	20
1.5.2 Dispersión.....	20
1.6 Espejos.....	21
1.6.1 Espejo plano	21
1.6.2 Espejo parabólico	21
1.6.3 Reflector elíptico	22
1.6.4 Materiales de reflectores.....	22
Capítulo 2.....	24
2.1 Simulación	24
2.2 Tipo de simulaciones.....	25
2.2.1 Simulación por hoja de cálculo.	25
2.2.2 Simulación de sistemas dinámicos.	25
2.2.3 Simulación de sistemas dinámicos de eventos discretos.	25
2.3 Zemax	26
2.3.1 Pantalla de inicio de Zemax	26
2.3.2 Pasos para crear un filamento de luz.	27
2.3.3 Pasos para simular una lámpara.....	29

2.3.4 Pasos para colocar una lente.	31
2.3.5 Importar una pieza de SolidWorks a Zemax.	32
2.3.6 Colocación de los detectores.	34
Capítulo 3.....	39
Experimentación	39
3.1 Materiales de la mesa de trabajo	39
3.1.1 Mesa óptica	39
3.1.2 Láser.....	40
3.1.3 Monturas de lentes	40
3.1.4 Lentes	40
3.1.5 Cámara térmica	41
3.2 Realización del experimento.....	41
3.2.1 Medidas de seguridad	41
3.2.2 Nivelación de mesa.	41
3.2.3 Colocación de la lámpara.	42
3.2.4 alineación del eje óptico.	43
3.2.5 Alineación de elementos.	44
3.2.6 Cámara térmica.	45
Capítulo 4.....	46
Resultados	46
4.1 Resultados de simulación.	46
4.2 Resultados de experimentación	47
4.2.1 Resultados de alineación	47
4.2.2 Resultados de medición de prueba	48
Conclusión	50
Bibliografía	51

Resumen

El método de soldadura por luz infrarroja guiada por elementos ópticos es uno de los métodos para el proceso de soldar componentes pequeños, sin embargo, se deben de conocer los pasos a seguir para poder realizarlo. Por lo tanto, como objetivo principal de este trabajo es presentar la metodología para la simulación y experimentación de soldadura de componentes electrónicos con sistema óptico, que pueda ser utilizado por estudiantes o cualquier persona que desee replicar los pasos para llegar a la simulación y experimentación para este tipo de diseño. Para llevar a cabo la metodología para la simulación y experimentación de soldadura de componentes electrónicos la tesis se presenta en tres partes: Teoría, simulación y experimentación. Cada una de ellas contiene, la información básica para poder entender y realizar la metodología, así como cumplir con el objetivo de guiar al estudiante.

Abstract

The method of welding by infrared light guided by optical elements is one of the methods for the process of welding small components, however, you must know the steps to follow in order to perform this method. Therefore, the objective of the thesis is to present the methodology for the simulation and experimentation of welding electronic components with an optical system, which can be used by students or anyone who wishes to replicate the steps to reach simulation and experimentation for this type of design. To carry out the methodology for simulation and experimentation of electronic component welding, the thesis is presented in three parts: Theory, simulation and experimentation. Each of them contains the basic information to be able to understand and carry out the methodology, as well as fulfill the objective of guiding the student.

Introducción

En el Universo no hay nada que viaje más rápido que la luz, puede llegar a cualquier rincón y gracias a eso somos capaces de observar lugares muy lejanos, también nos permite ver cosas diminutivas como los microorganismos, todo esto lo sabemos gracias a los estudios que se han realizado para comprender su comportamiento. La luz tiene distintas propiedades físicas que a lo largo del tiempo se han estudiado, y en los últimos años se ha observado que actúa tanto como partícula como onda, con lo cual se pueden realizar distintos experimentos dependiendo del comportamiento que se use como base.

El telescopio y el microscopio han sido de los inventos ópticos más relevantes para la ciencia, éstos instrumentos dieron inicio a la investigación más exacta de la óptica, ya que están relacionados uno con el otro, si nos remontamos 400 años en el pasado fue Galileo quien hizo el primer telescopio, el cual estaba compuesto por un par de lentes montadas en un tubo llamado objetivo, fue utilizado para poder ver más de cerca algún objeto lejano, a partir de ese momento se centraron los estudios en la ingeniería y tecnología para obtener más conocimiento del universo [1].

A inicios del siglo XVII comenzó la investigación de las lentes para hacer un aumento visual de los objetos pequeños, en ese entonces se basaron en un instrumento similar el cual fue el telescopio de Galileo, que fue usado con fines astronómicos en 1609. La investigación los llevó a crear los primeros microscopios con los cuales los naturalistas eran capaces de observar organismos más pequeños, ya que sin ayuda de esta herramienta eran imposibles de ver, el primer lente compuesto fue creado por Zacharias Jansen en Holanda [2].

Conforme fue aumentando el conocimiento tecnológico y la demanda de la comunidad científica por estas herramientas, se fueron haciendo complejas, mientras que los telescopios se construían con mayor tamaño para poder observar sitios muy lejanos, los microscopios se construyeron con mayor precisión para evitar aberraciones ópticas y observar cosas aún más diminutas. Dichas demandas hacían que los telescopios se construyeran de mayor tamaño y se volvió más complicado generar las lentes adecuadas, hasta que en 1699 Isaac Newton creó el telescopio reflector el cual necesitaba lentes de menor tamaño.

Otro avance importante fue en la mejora de manejo mecánico que se dio en el siglo XVIII en los microscopios. No fue hasta la invención del microscopio electrónico, en 1931, año en el que se considera el inicio de la optoelectrónica, este avance fue el pionero para unir las áreas de electrónica y óptica, sin embargo la invención del microscopio electrónico no fue planeada, sucedió por mera coincidencia, como consecuencia de mejorar el osciloscopio, donde Erns Ruska y Max Knoll lograron magnificar una imagen con espiras de corriente para focalizar el haz con las lentes. [3]

La evolución de los sistemas ópticos fue aumentando a partir de que se involucró la electrónica, debido a que se lograban mejores resultados, ayudando a las áreas de física, química, biología, astronomía, etc. Actualmente las observaciones son más exactas, debido a que se utiliza la óptica en el área de la electrónica para hacer mejoras en la velocidad de respuesta o envío de información, pero

para esta investigación fue de mayor importancia conocer la evolución del microscopio y telescopio, debido a que este estudio se enfoca en los mecanismos ópticos con electrónica para poder realizar soldadura.

La demanda tecnológica necesita que los aparatos electrónicos sean mucho más versátiles en cuestión de velocidad y tamaño, por lo tanto, en las industrias se necesita producir componentes electrónicos aún más pequeños, lo que es de mayor dificultad al momento de ser soldados a las placas, si bien existen distintos métodos de soldadura, nuestro estudio se basa en la soldadura de componentes ópticos a través de luz infrarroja. [4]

En este trabajo se plantea dejar como base la metodología que se lleva a cabo para realizar el análisis teórico (simulación) y el análisis experimental de la soldadura a través de componentes electrónicos y ópticos, dentro de un laboratorio escolar.

Capítulo 1

1.1 Fundamentos ópticos

La luz es un fenómeno natural que es necesario para la visibilidad de las cosas. El fenómeno es complejo en su explicación teórica, pero es muy importante por las aplicaciones que tiene en distintas áreas

Se tomará la interpretación de la luz desde las perspectivas de la física e ingeniería, las cuales son dos las interpretaciones aceptadas, debido a que se comporta como partícula y onda. En la primera la luz puede estudiarse a través de la óptica geométrica que forma parte de la física clásica, en la cual considera la propagación de un haz de luz como un rayo luminoso que se propaga en línea recta. Mientras que en la segunda interpretación la luz tiene un comportamiento de onda, en este caso el movimiento es similar al dejar caer una piedra en un lago, provocando pequeñas olas en distintas direcciones. [5].

1.2 Dualidad de la luz.

La luz puede interpretarse como partícula y onda, lo que hace importante conocer las características de cada comportamiento.

1.2.1 Onda

El comportamiento de luz como onda causaba un poco de controversia, debido a que era una manera distinta de percibir la luz corpuscular del cual era defensor Newton, sin embargo, uno de los defensores de la naturaleza ondulatoria de la luz fue Christian Huygens, quien hizo la analogía de que la luz se comporta igual que las olas que se forman al dejar caer una piedra en un estanque de agua. Esto debido a que las partículas de la luz no deberían de solo afectar a una sola partícula que le procede, esto significando que la luz es unidireccional, sino que también debe de afectar ese movimiento a las partículas que se oponen al movimiento, similar a cuando una bola blanca de billar le pega a las demás iniciando el juego [6][7].

1.2.1.1 Parámetros de una onda

En la figura 1.1, se presenta la representación de una onda de luz como una senoidal y cuenta con tres parámetros importantes:

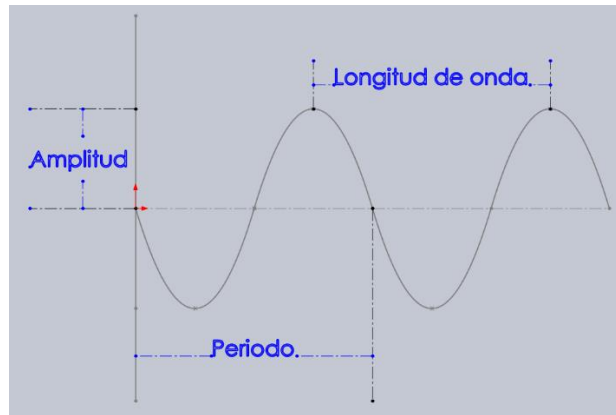


Figura 1.1 Parámetros de una onda.

Longitud de onda (λ): Es la distancia media entre dos puntos equivalentes de la onda u otra forma de verla, el punto en el que la onda vuelve a tomar el mismo valor. La frecuencia (f) es el número de ondas que suceden en un segundo, mientras que la velocidad (v) es lo que tarda en viajar la luz determinadas distancias. Las ondas también cuentan con amplitud, siendo la distancia entre el punto más bajo y alto de la onda [8].

$$v = f * \lambda \quad (1.1)$$

La velocidad de la luz puede variar dependiendo en el medio en el que viaje, el medio afecta directamente a la longitud de onda, puede alentar su velocidad, esto se puede ver representado en la ecuación 1.1.

1.2.1.2 Espectro electromagnético

Cada onda electromagnética se caracteriza por sus parámetros y debido a esa característica su emisión estará definida por un color. En la Tabla 1 se muestra las regiones del espectro electromagnético. [9]

Tabla 1: Regiones del espectro electromagnético

Región	Frecuencia (Hz o ciclos/s)	Longitud de onda (m)
Rayos gamma	$10^{22} - 10^{19}$	$10^{-11} - 10^{-14}$
Rayos x	$10^{17} - 10^{20}$	$10^{-8} - 10^{-11}$
Ultravioleta	$10^{15} - 10^{17}$	$10^{-6} - 10^{-8}$
Visible	$10^{14} - 10^{15}$	$4 \cdot 10^{-6} - 7 \cdot 10^{-6}$
Infrarrojo	$10^{11} - 10^{14}$	$10^{-3} - 10^{-5}$
Microondas	$10^9 - 10^{11}$	$10^{-1} - 10^{-3}$
Ondas de radio	$10^3 - 10^9$	$10^5 - 10^3$
Corriente alterna	$10^2 - 10^3$	$10^7 - 10^5$

1.2.1.2.1 Usos del espectro electromagnético

Las radiografías usan los Rayos x que se encuentran en el intervalo de 10^{17} Hz y 10^{20} Hz, los cuales pasan a través del cuerpo humano, pero si se expone durante un periodo prolongado resulta perjudicial, pero los usos de forma momentánea son muy útiles, debido a la propiedad que tiene este tipo de ondas logran atravesar sin problema el cuerpo, a excepción de los huesos por la composición que tienen.

1.2.2 Fotón o cuantos de luz

En 1905 Albert Einstein propuso en su explicación del efecto foto eléctrico, donde proponía como hipótesis que “en la propagación de un rayo de luz emitido desde una fuente puntual la energía no está distribuida de forma continua sobre volúmenes de espacio cada vez mayores, sino que consiste en un numero finito de cuantos de energía localizados en puntos del espacio que se mueven sin dividirse, y solo pueden ser absorbidos o generados como unidades completas” [10]

1.3 Refracción y reflexión

Son las propiedades que tiene la luz al ser reflejada y cambiar su dirección según el medio en el que viaje, al incidir sobre una superficie suceden ambos fenómenos a la vez como se observa en la figura 1.2. Debido a que muchos principios ópticos se basan en estas características, como es en el uso de materiales para distintas lentes o fuentes de luz, se dará una breve explicación de estas dos propiedades.

1.3.1 Refracción

La refracción es un fenómeno que ocurre cuando la luz cambia de medio en el cual viaja, una analogía de esto es cuando una persona corre en la superficie y puede correr con facilidad, sin embargo, cuando se intenta correr bajo el agua o se puede realizar de la misma forma, debido a que el medio es más denso, la luz se ve afectada de la misma manera dependiendo del material.

Existen dos fórmulas las cuales indican cómo se comporta la luz, una es para conocer el *índice de refracción absoluto en cualquier medio* (Ecuación 1.2) y la segunda es la **Ley de Snell** (Ecuación 1.3), la cual explica matemáticamente de cómo se desvía la luz dependiendo del medio en el que se

encuentre. Para hacer uso de la ecuación de Snell es necesario conocer el índice de refracción de los medios en el que viaja la luz.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.2)$$

Donde “ n ” es el índice de refracción de la luz, “ c ” la velocidad de la luz en el vacío y “ v ” la velocidad de la luz en el medio.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_1}{n_2} = n_{12} \quad (1.3)$$

Donde el “ n_1 ” es el índice de refracción del medio incidente, “ n_2 ” el índice de refracción del medio refringente y “ n_{12} ” el índice de refracción del medio 1 con respecto al medio 2, mientras que “ θ_i ” es el ángulo incidente y “ θ_r ” el ángulo reflejado.

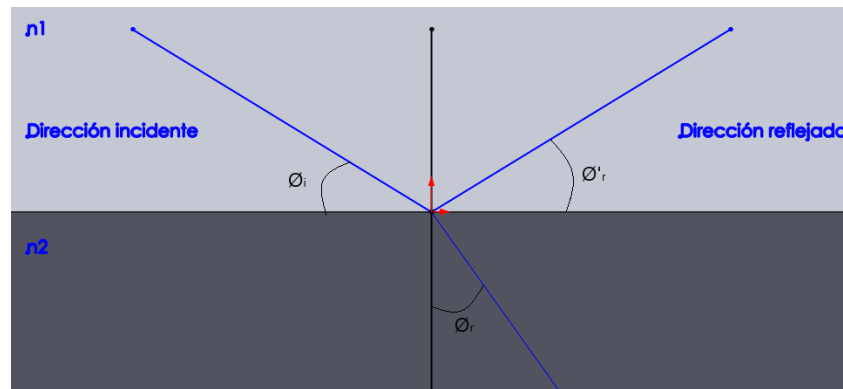


Figura 1.2 Refracción y reflexión en un medio.

1.3.2 Reflexión

La reflexión es un fenómeno bastante sencillo de comprender, debido a que es el reflejo de la luz en un objeto, el cual siempre es simétrico con el ángulo de incidencia en la superficie (Ecuación 1.4).

$$\theta_i = \theta'_r \quad (1.4)$$

1.4 Lente y sus características

Las lentes son instrumentos utilizados en la óptica, tienen la característica de desviar la luz a un punto específico utilizando como principio básico la ley de Snell. Su principio es simple, pero es un poco más complejo diseñarlas, debido a que el sistema puede depender de distintos factores, su composición, tamaño de la lente y donde será el punto a donde se quiere desviar todos los rayos.

Las lentes delgadas son dispositivos ópticos limitados por dos o más superficies refractoras. Las principales lentes delgadas son las lentes convergentes y las divergentes. La primera se diseña para

que todos los rayos de luz que pasen a través de su superficie y se unan en el foco de la lente, en la segunda lente, los rayos de luz jamás se unirán en un punto en específico y si no que se irán separando unos de otros, como si se expandiera una mancha. Las distintas variaciones de estas lentes se pueden observar en la figura 1.3.

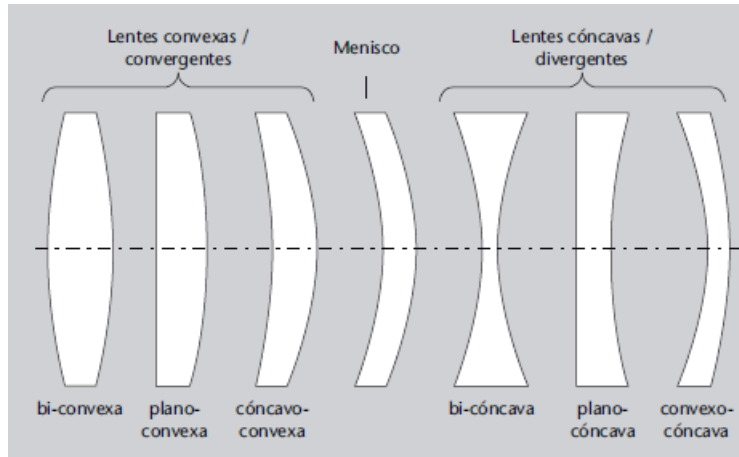


Figura 1.3 Principales tipos de lentes y sus diseños [13].

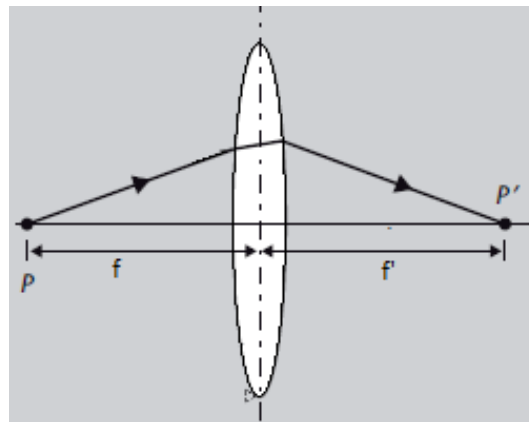


Figura 1.4 Propiedades principales de una lente [13].

Las lentes tienen distintas características, como lo son la imagen, distancia focal y el eje óptico. El eje óptico es una línea imaginaria que atraviesa todas las lentes en un plano, en la cual se encuentra la distancia focal (f), esta última es el punto donde se concentran todos los rayos de luz después de atravesar una lente, es importante que todas las lentes se encuentren alineadas en el mismo eje óptico para que pueda funcionar adecuadamente el sistema. Y por último es la imagen (P), es simplemente el punto que se usa como base, para escoger donde se centraran todos los rayos de luz, una forma de verlo es que existen dos distancias focales, donde una representa la imagen original, y la segunda (f') la recreación de la imagen (P'), ya sea más grande o pequeña.

1.4.1 Lente convergente

Se puede conocer las características de una lente convergente a partir de sus distancias focales y la localización de su imagen real y virtual, esto se puede deducir a través de la ecuación de Snell, donde se explica como la luz se ve afectada al viajar por un medio, en este caso las desviaciones de la luz se verán afectadas directamente dependiendo de la curvatura de la lente, tanto la entrada como la salida, ya que sería afectada dos veces por el medio (figura 1.6).

La lente convergente usualmente se forma con la unión de dos círculos, ambos pueden tener el mismo radio, o pueden ser distintos dependiendo de la necesidad (figura 1.5). Estas curvaturas son las que están relacionadas con el cambio de dirección de la luz.

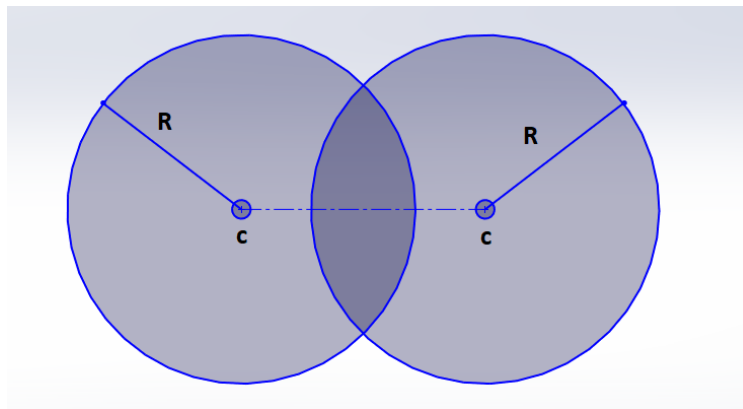


Figura 1.5 Formación de lente convergente.

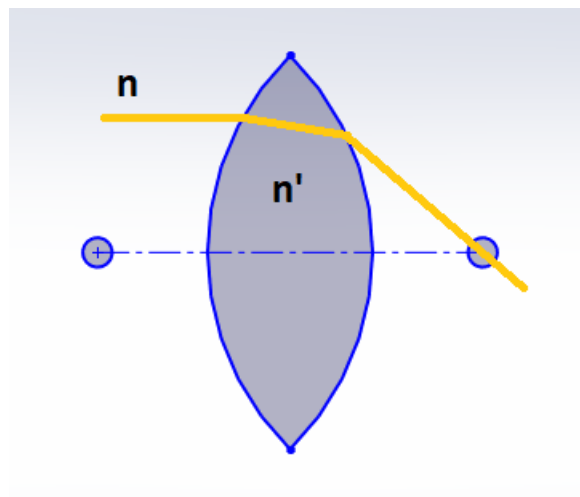


Figura 1.6 Cambio de dirección de la luz, al interactuar con una lente convergente.

Para poder llevar a cabo el modelo grafico se debe conocer las siguientes tres formas de trazar los rayos de luz:

- 1.- Todo rayo que traviese la lente de forma paralela al eje óptico, tienen la particularidad de refractarse directamente hacia el foco.
- 2.- Los rayos que pasen entre la intersección del eje óptico y el eje de la lente, continuaran con la misma dirección sin verse afectada.
- 3.- Los rayos que pasan a través del foco y la lente, se refractan de forma paralela al eje óptico.

Estos tres rayos tienen que provenir del objeto, y donde vuelvan a cruzar su camino al traspasar la lente, es donde se formara la imagen virtual (figura 1.7).

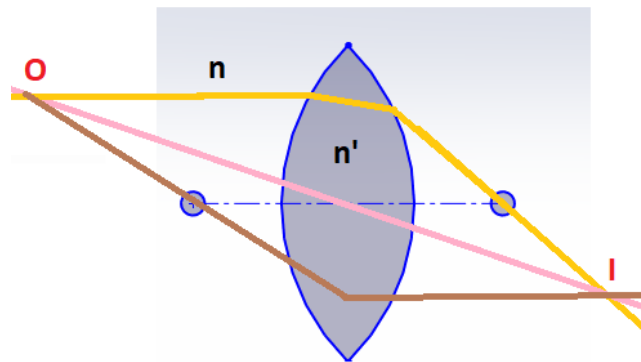


Figura 1.7 Formación de imagen a través de una lente.

Una vez que averigua la dirección de los rayos, se debe de conocer las distancias tanto de altura, como la separación de la lente del objeto de donde proviene la luz y la imagen (figura 1.8), considerando estos datos se podrá encontrar la fórmula.

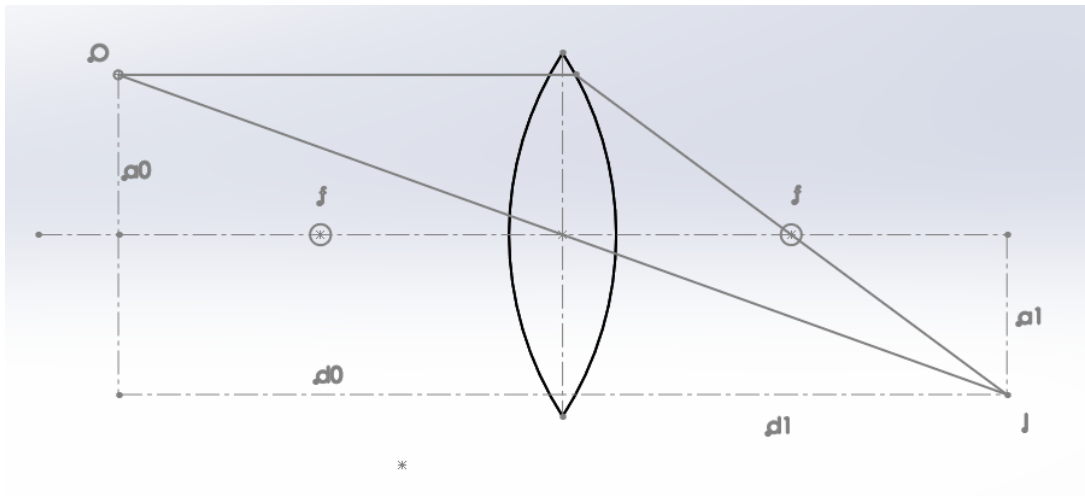


Figura 1.8 Valores de distancias con relación objeto - imagen - lente.

Considerando el punto **O** como el objeto donde provienen los dos rayos e **I** la imagen que se forma al pasar por la lente, esto formado dos triángulos que tienen proporcionalidad con respecto con sus lados, debido a los ángulos que se forman internamente son iguales (figura 1.9), lo cual da como resultado la **ecuación 1.5**, esta ecuación es necesaria para determinar la ecuación de las lentes.

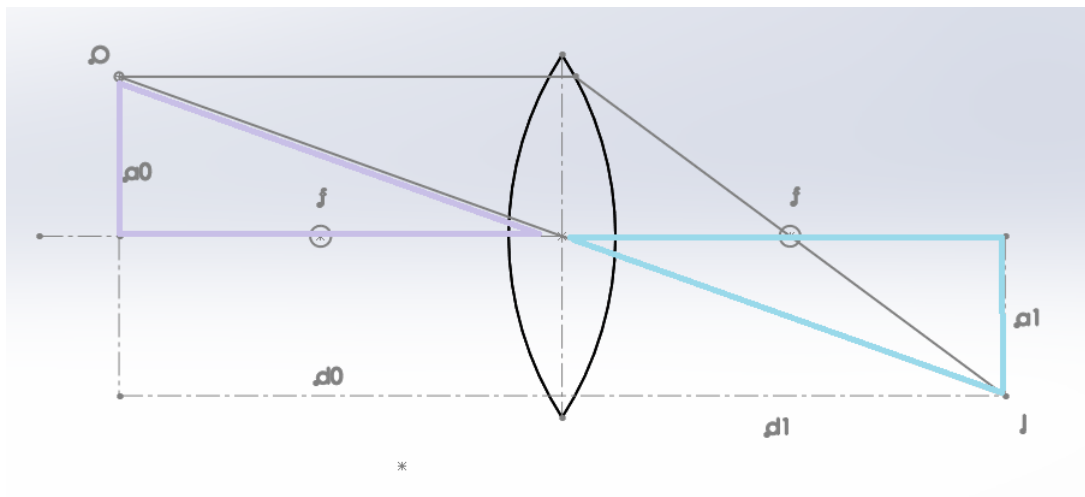


Figura 1.9 Proporcionalidad triangular, considerando la imagen real con la virtual.

$$\frac{d0}{a0} = \frac{d1}{a1} \quad (1.5)$$

Donde “ $d0$ ” es la distancia del objeto al centro de la lente, mientras que “ $a0$ ” es la altura del objeto con respecto al centro, de igual manera “ $d1$ ” y “ $a1$ ” son la altura y distancia del centro del lente con respecto a la imagen.

La ecuación 1.5 es la que se utiliza para sacar la distancia proporcional entre cada imagen, utilizando la semejanza angular, sin embargo, hay una segunda ecuación (Ecuación 1.6) que se adquiere de la misma manera, esta es la proporción que hay desde el centro de la lente al foco, después partiendo del foco a la imagen virtual (figura 1.10), es necesario considerar estos valores, para poder encontrar la ecuación final.

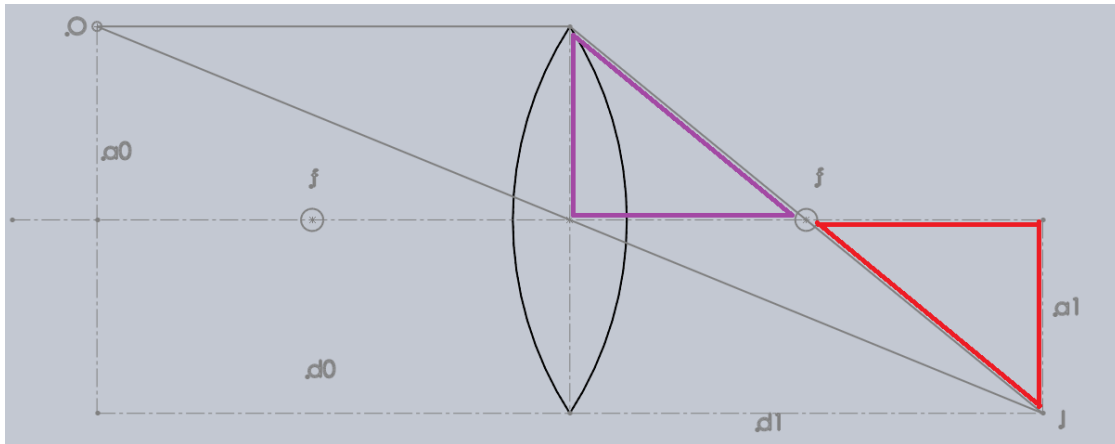


Figura 1.10 Proporcionalidad triangular, considerando la distancia del centro de la lente, a la imagen virtual.

Para encontrar la ecuación 1.6 se consideran los valores, de la distancia del triángulo morado con respecto al rojo (Figura 1.10), dando como resultado dicha ecuación.

$$\frac{f}{a_0} = \frac{d_1 - f}{a_1} \quad (1.6)$$

Una vez obtenidas ambas ecuaciones, se comienza con la sustitución para llegar a la fórmula de las lentes, se empieza con la ecuación 1.5, cambiando sus valores:

$$\frac{d_0}{a_0} = \frac{d_1}{a_1} \therefore \frac{a_1}{a_0} = \frac{d_1}{d_0}$$

Posteriormente se realiza el mismo procedimiento con la **ecuación 1.6**:

$$\frac{f}{a_0} = \frac{d_1 - f}{a_1} \therefore \frac{a_1}{a_0} = \frac{d_1 - f}{f}$$

Y por propiedad transitiva, se puede deducir la siguiente formula:

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{d_1 - f}{f}$$

Realizando despejes de quedará de una manera más simple para nuestra conveniencia, el resultado final nos dará la ecuación 1.7, la cual es la **ecuación de las lentes**:

$$\frac{d1}{d0} = \frac{d1 - f}{f} \therefore \frac{d1}{d0} = \frac{d1}{f} - \frac{f}{f} \therefore \frac{d1}{d0} = \frac{d1}{f} - \frac{d1}{d1}$$

$$\frac{d1}{d0} = \frac{d1}{f} - \frac{d1}{d1} \therefore \frac{1}{d0} = \frac{1}{d1} \left(\frac{d1}{f} - \frac{d1}{d1} \right)$$

$$\frac{1}{d0} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d1}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d0} + \frac{1}{d1} \quad (1.7)$$

Con este procedimiento y ecuaciones, se puede deducir la distancia focal de una lente, o proponer una distancia focal y encontrar las distancias óptimas para la misma.

1.4.2 Lente divergente

Esta lente a diferencia que la convergente, los rayos que pasan por ella no intersecan en la distancia focal, siempre se separan y estas nunca coincidirán. Entonces ¿Cómo se forma la lente divergente?, la respuesta es simple, igual se toma como base 2 círculos, sin embargo, estos no se sobreponen y llevan una separación, la lente se forma con la figura que se forma entre estas distancias, como se puede apreciar en la figura 1.11.

El modelo gráfico de la lente divergente tiene dos características, una de ellas es que cuando un rayo de luz entra de manera paralela a la lente, está por el cambio de medio se desvía una vez y al regresar al segundo medio se desvía nuevamente, pero esta última recta, si se traza en ambas direcciones con el mismo ángulo en el plano, todos los rayos que entran de forma paralela van a coincidir en un punto, el cual sería la distancia focal donde se formaría la imagen virtual. Debido que, en la lente, la imagen virtual siempre se formara en el mismo lado donde está la imagen real, se considera que tiene valor negativo (figura 1.12).

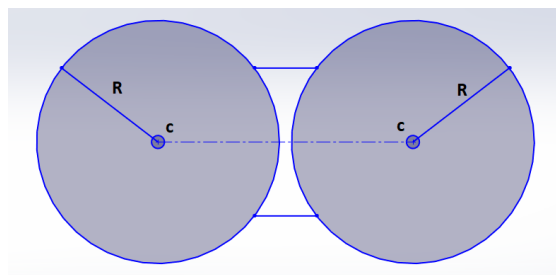


Figura 1.11 Formación de lente divergente.

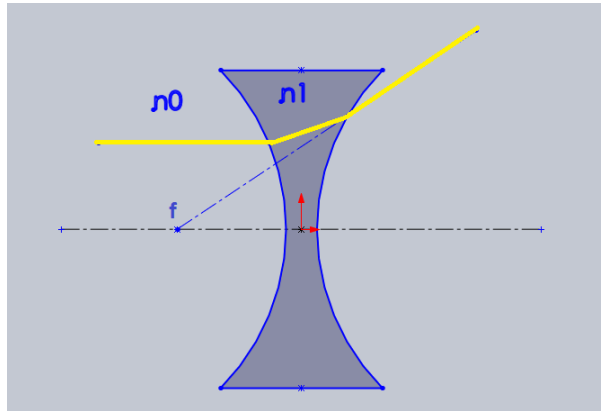


Figura 1.12 Cambio de dirección de la luz, al interactuar con una lente convergente.

Para encontrar la ecuación de las lentes en una lente divergente, la ecuación es exactamente la misma, ya que se cumplen los mismos parámetros de la semejanza triangular y angular, solo que en lugar de que se consideren los valores positivos una de las distancias sería negativa, esta será la distancia focal por lo tanto la **ecuación 1.7**, sería utilizada nuevamente.

1.4.3 Lente de Fresnel

La lente de Fresnel tiene un uso bastante particular por el hecho de que imita el funcionamiento de otras lentes, esta herramienta se utiliza para ahorrar material y dar más flexibilidad al momento de trabajar (figura 1.13). Esto se realiza tomando la superficie de la lente que se desea imitar, y cortarla en secciones para aplanarla, cada una de esas ranuras o separaciones tiene la curvatura de la superficie de donde fue seccionada.

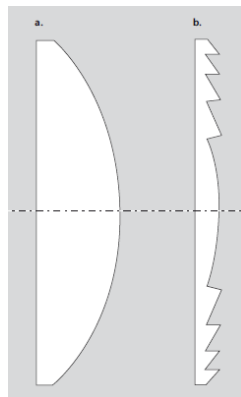


Figura 1.13 Lente de Fresnel [17].

1.5 Materiales y características

La luz puede verse afectada de distinta manera dependiendo de su frecuencia y material en el que incida, generalmente se investiga la lente que se utilizará, para que tenga una mayor transmisión y menor reflexión, logrando obtener un menor porcentaje de error al momento de realizar el experimento.

1.5.1 Transmisión

Es la capacidad de traspasar calor, luz o energía de un material a otro, en el caso de la óptica se refiere a cuanta energía puede transmitir una lente de forma constante y como se ve afectada por lo misma. Debido a que los rayos de luz emiten distintas longitudes de onda, es necesario conocer cuál es el índice de transmisión al considerar una lente (Figura 1.14 a) y b)), si no se utiliza el material correcto habrá una pérdida de transferencia de energía al objeto final, esto causaría expansión térmica y la lente podría quemarse (Tabla 2).

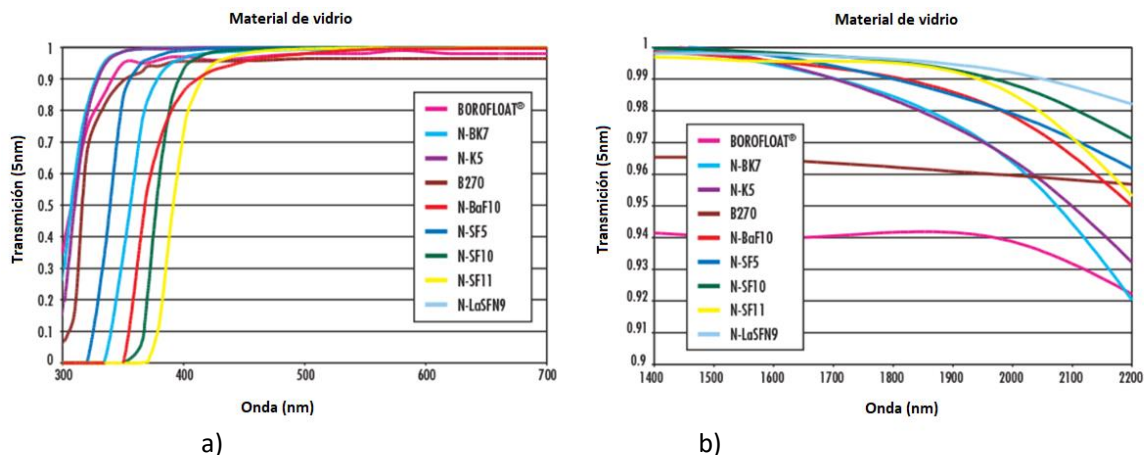


Figura 1.14 Curvatura de transmisión térmica de distintos materiales: a) Visible, b) Infrarrojo [15].

1.5.2 Dispersión

Anteriormente se mencionó que la luz se ve afectada por el medio causando la refracción, pero también existe el fenómeno de la dispersión que está relacionado con la longitud de onda que traspasa a un objeto, dependiendo del tipo la refracción será distinta, una forma más fácil de visualizar este fenómeno es con el prisma de Newton. En este se demuestra como la luz está compuesta por distintas longitudes de ondas y que, al traspasar el prisma con un rayo, este se divide en distintas tonalidades de color formando el arcoíris. El valor de la dispersión es conocido también como el **número de Abbe**.

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES [15]

Nombre del cristal	Índice de refracción (nd)	Numero de Abbe (vd)	Densidad (g/cm3)	Coefficiente de expansión térmica *	Operación máxima de temperatura (°C)
Fused Silica	1.458	67.7	2.2	0.55	1000
Schott BOROFLOAT®	1.472	65.7	2.2	3.25	450
N-BK7	1.517	64.2	2.46	7.1	557
N-K5	1.522	59.5	2.59	8.2	546
B270/S1	1.523	58.5	2.55	8.2	533
N-BAF10	1.67	47.2	3.76	6.8	580
N-SF5	1.673	32.3	4.07	8.2	425
N-SF10	1.728	28.4	3.05	7.5	454
N-LASF9	1.85	32.2	4.44	7.4	698

1.6 Espejos

Los espejos son de importantes en los experimentos ópticos, porque que reflejan la luz cambiando su dirección siempre con el mismo ángulo de incidencia, pero con respecto a la normal de la superficie en la cual incide.

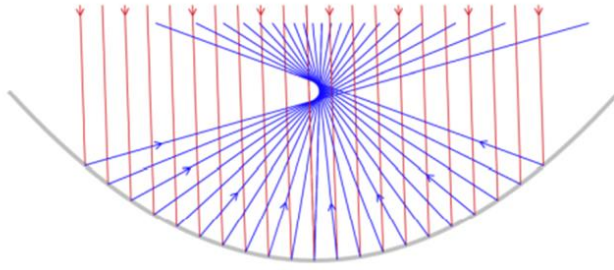
Los espejos se usan en las lámparas por que ayudan a dirigir la luz, usualmente para la óptica se fabrican de una delgada capa de aluminio o plata sobre un sustrato. Estos materiales también poseen las características de reflexión y transmisión, por lo que es importante conocer estas características al momento de diseñar una lampara para algún sistema.

1.6.1 Espejo plano

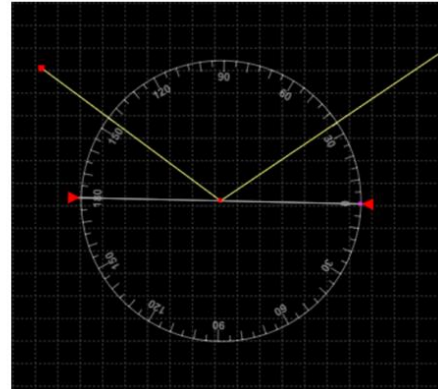
Este es el espejo más simple de entender, solo cumple con el efecto de refracción, como se muestra en la figura 1.15 b el cual dice que al momento que un rayo incide en una superficie se reflejará con el mismo ángulo de incidencia con respecto al eje perpendicular al plano en el cual intercepta.

1.6.2 Espejo parabólico

Cuando se conoce el funcionamiento del espejo plano, se comprende lo que pasa con los rayos al momento de incidir en una superficie, el mismo fenómeno ocurre en un espejo parabólico, pero al ser el reflector curvo la luz tiende a centrarse en un foco, como se muestra en la figura 1.15 a.



a)



b)

Figura 1.15. Similitud entre reflectores: a) Reflector parabólico, b) Reflector plano [18].

1.6.3 Reflector elíptico

La característica principal de este tipo de reflector es que los rayos siempre llegaran al mismo punto focal, sin importar a la dirección en la que se dirijan, como se puede observar en la figura 1.16. Al igual que en el espejo parabólico, los rayos terminan en ese punto debido al tipo de superficie que tiene la lámpara.

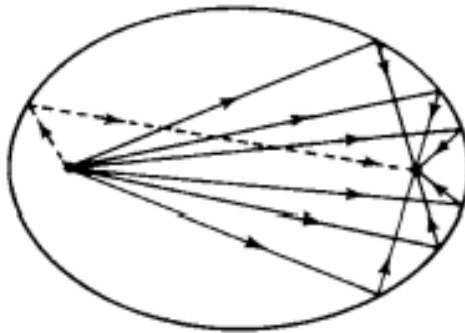


Figura 1.16 Reflector elíptico [19].

1.6.4 Materiales de reflectores.

Dependiendo del material que se utiliza para construir un reflector, puede variar la cantidad de rayos que se reflejan, así como su capacidad de transmisión de energía, ya que la eficiencia de cada uno de ellos cambia con respecto a la longitud de onda (Tabla 3).

Tabla 3:Características de los recubrimientos de reflectores [20]

Nombre	Rango de onda	Especificación de reflexión
VUV	120-125nm	Ravg >78%
Aluminio mejorado	120-700nm	Ravg >88%
DUV	190-195nm	Ravg >88%
Aluminio mejorado	190-600nm	Ravg >85%
UV	250-450nm	Ravg >89%
Aluminio mejorado	250-700nm	Ravg >85%
Aluminio protegido	400-700nm	Ravg >85%
	400-2000nm	Ravg >90%
Aluminio mejorado	450-650nm	Ravg >95%
Plata protegida	450-2000nm	Ravg >98%
	2000-10000nm	Ravg >98%
Plata mejorada ultrarrápida	600-1000nm	Ravg >96%
Oro protegido	700-2000nm	Ravg >96%
	2000-10000nm	Ravg >96%
Oro descubierto	700-800nm	Ravg >94%
	800-20000nm	Ravg >97%
	2000-12000nm	Ravg >98%

Capítulo 2

2.1 Simulación

Simular es una forma de predecir analíticamente algún suceso, puede variar dependiendo de lo que se requiera, desde un diagrama de estados para definir un tipo de camino predefinido como si fuera un videojuego, o incluso uno más complejo que logre interpretar las variables físicas de nuestro mundo. ¿Entonces cuál sería el mejor método para simular?, claro los prototipos son considerados simulaciones en algunos casos, siempre que se desea replicar algo en pequeña escala, esto nos sirve para interpretar posibles resultados, en arquitectura las maquetas son simulaciones de algo que se desea hacer a gran escala, pero si aún no se puede llegar a ese paso por los costos o por la cantidad de pruebas que se tendrían que realizar, entonces lo más viable es hacer interpretaciones numéricas de diversos cálculos, pero esto llevaría demasiado tiempo, entonces el mejor método considerado es el simulador dinámico porque este tipo de simulación actuará a través de determinado intervalo de tiempo [21].

Se puede considerar a las simulaciones como un borrador de un experimento. Con él se estudia los posibles resultados y nos dan una idea de que sucederá, también ayudan a replantear si lo que se había calculado o propuesto era lo más beneficioso para el proyecto e incluso si el mismo proyecto es factible. Pero para generar primero una simulación se necesita saber la información que se ingresara al programa, o que variables físicas son las que están implicadas. Pero independientemente de lo que se vaya a simular y experimentar, se debe de realizar de manera sistemática.

Cuando se habla de experimentación, se refiere a la realización de distintos tipos de pruebas, o una misma prueba con ligeras variaciones para comprobar la teoría y simulación. La teoría es la creencia o ideal de como ocurrirá un suceso con determinadas características, cuando es llevado a cabo en realidad no sucede tal cual, por las diferentes variaciones, ya sea del ambiente, medidas, mala colocación, suciedad, etc., estos factores aparecen en cualquier tipo de experimento, entonces ¿Qué es un método de experimentación científico? Un método de experimentación científico es un proceso de investigación más riguroso, considerando la relación de variables dependientes o independientes, a pesar de que frecuentemente es difícil o a veces imposible manipular una sola variable en un experimento. En un estudio controlado, se realizan uno o más experimentos observando el efecto de una variable dependiente. Los experimentos bien controlados generalmente aportan una evidencia solida de la causa, demostrando si la manipulación de una variable es la causa sobre otra variable [22].

La simulación y la experimentación son herramientas bastante útiles cuando se intenta lograr algún nuevo descubrimiento, esto se debe a que en esencia son muy similares, aunque cuando los utilizan con un método de experimentación científica, logra ser bastante eficiente.

2.2 Tipo de simulaciones

Existen diferentes tipos de simulación, no nos referimos a ellas como si son mecánicas, electrónicas, ópticas, entre otras, si no a diferente forma recabar la información. Estas pueden llegarse a tomar en cuenta mediante hojas de cálculo, tratando de replicar un fenómeno en un momento específico o simularlas en tiempo real.

2.2.1 Simulación por hoja de cálculo.

Este tipo de simulación es una manera matemática y lógica de relacionar las variables, la cual ayuda a generar resultados hipotéticos tomando una muestra y observando su distribución, el modelo puede llegar a replicarse varias veces para observar cómo sucederá. Cuando se utiliza este método, usualmente tienen datos matemáticos, estadísticos, valores que involucran el tiempo o cualquier tipo de valor que sean cuantitativo, tiene la particularidad de que se pueden presentar gráficas, para complementar los estudios, aunque usualmente este método es utilizado en el programa de Excel, por ser más común y versátil al momento de manejar distintos valores y tablas, también porque es bastante amigable para el usuario [19].

2.2.2 Simulación de sistemas dinámicos.

Cuando se refiere a este tipo de este modelo de sistemas, sabemos que tiene que ser algo continuo o con movimiento debido a que es dinámico, pero a que se refiere, en la simulación por **hoja de cálculo** solo se ingresaba un valor numérico y esperamos una respuesta final, pero en este caso, las variables van cambiando con respecto al tiempo, debido a que el sistema se va retroalimentando. Una forma sencilla de visualizar esto, es imaginar un sistema de control de aire acondicionado, donde se ingresa un valor de la temperatura deseada, entonces se lleva a cabo una operación para que baje la temperatura, sin embargo, este sistema no se apagará hasta que se llegue a la temperatura deseada, para esto se retroalimenta un sensor constantemente hasta llegar al resultado deseado [24].

Dicho lo anterior se puede comprender que el sistema dinámico, es una evolución de la simulación de la hoja de cálculo.

2.2.3 Simulación de sistemas dinámicos de eventos discretos.

Al utilizar esta metodología, se sabe que el sistema dinámico son valores continuos con respecto al tiempo, mientras que un evento discreto es el que puede determinar un valor predeterminado en el tiempo, volviendo el sistema continuo hasta cierto punto donde solo se tomará la muestra, se puede decidir ese momento o hacerlo de manera aleatoria, para tener un muestreo de cómo funciona el sistema. Este tipo de método no se le puede llamar continuo por el hecho de que no hay una retroalimentación constante en el sistema, o por lo menos no una donde el usuario pueda observar los valores de forma constante, sin embargo, los valores pueden llegarse a tomar cuando uno lo desea, volviendo el sistema aleatorio o predeterminado dependiendo de lo que se desee [25].

2.3 Zemax

Como se mencionó anteriormente, hay distintos tipos de simuladores, dependiendo de la necesidad del usuario, Zemax es un simulador óptico, del tipo dinámico, debido a que puede simular el comportamiento. La luz mediante la interacción de lentes, objetos, espejos y distintos materiales que se puedan llegar a utilizar en una mesa de trabajo óptico. Por la necesidad constante de observar como la luz es afectada en un área con respecto al tiempo, se utiliza este programa que permite visualizar distintos fenómenos ópticos de manera más eficiente.

2.3.1 Pantalla de inicio de Zemax

Cuando se utiliza el programa de Zemax, al abrirse muestra una pantalla de inicio con distintas opciones, unas de ellas son accesos directos para realizar algunas acciones, por lo tanto, se debe conocer para qué son algunas de ellas. Se debe verificar si la opción **Non-Sequential** (Figura 2.1) se encuentra activa, al utilizar esta opción permite acomodar los objetos de manera más simple dentro del plano, ya que los objetos utilizarían los mismos valores plano tridimensional, si fuera de manera secuencial, se crearía un nuevo plano con respecto al anterior.

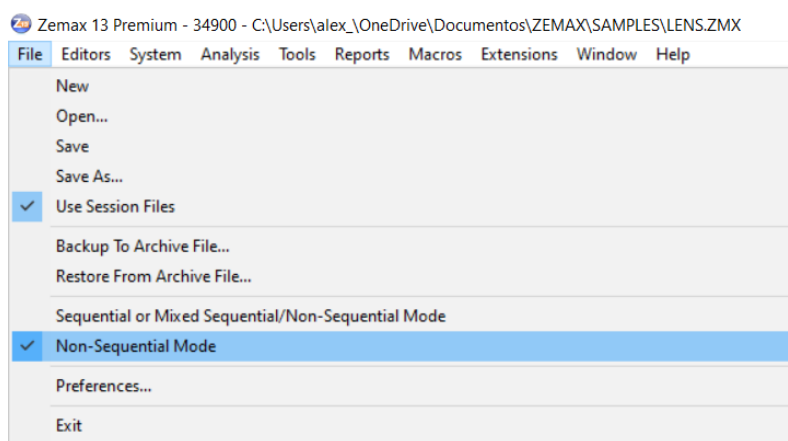


Figura 2.1 Opción Non-Sequential.

Se puede observar en la pantalla de inicio un menú en la parte superior (figura 2.2), donde se encuentran los submenús, mientras que en la parte inferior vienen los recuadros que son los accesos directos. También aparece una pantalla de editor de los componentes que se utilizan, cada uno de estos se verá detalladamente más adelante, pero primero se mencionarán algunos de los accesos directos (Tabla 4).

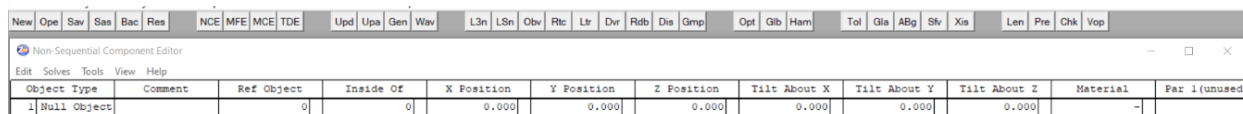


Figura 2.2 Pantalla de inicio.

Tabla 4 Accesos directos y sus respectivas funciones.

Acceso	Significado	Función
New	Nuevo	Nos permite crear un nuevo programa de forma directa.
Ope	Abrir	Nos deja abrir un programa guardado con anterioridad.
Sav	Guardar	Guardar el archivo.
Sas	Guardar como	Nos permite guardar el archivo con otro nombre.
NCE	Editor de Componentes No-Secuenciales	En caso de que cerremos la pantalla del editor, esta opción lo abre nuevamente.
Upd	Actualizar	Actualiza el editor.
Upa	Actualizar Todo	Actualiza todas las pantallas simultáneamente.
L3n	Diseño 3D de Componentes No-Secuenciales	Muestra en pantalla los objetos y trazos de rayos de forma tridimensional, pero sin que los objetos se vean sólidos.
LSn	Modelo de sombreado de Componentes No-Secuenciales	Muestra en pantalla los objetos y trazos de rayos de forma tridimensional, pero los objetos se ven sólidos.
Obv	Objeto	Visualización del objeto seleccionado en el editor
Rtc	Control de trazo de Rayos	Abre el panel de trazo de rayos en el simulador.
Dvr	Detector de visor	Imagen dejada por los trazos luz en el detector.
Gla	Catálogo de vidrios	Catálogo de distintos cristales.
Len	Lentes	Catálogo de lentes.

2.3.2 Pasos para crear un filamento de luz.

El filamento de luz es el punto donde los focos emiten energía desprendiendo los rayos, esta puede variar dependiendo de la frecuencia a la que se maneje. Para crear un filamento dentro del programa de Zemax, se tiene que llenar varios parámetros dentro del editor, para seleccionar este objeto se da doble clic en la sección de “Object Type” como se muestra en la figura 2.3.

Una vez realizado el paso anterior se mostrará una pantalla de propiedades del objeto, donde se seleccionará la pestaña “Type”, en ella se elige el tipo de objeto “Source Filament” (figura 2.4).

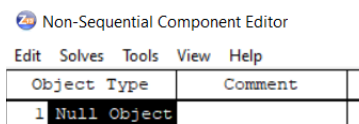


Figura 2.3 Selección de objeto.

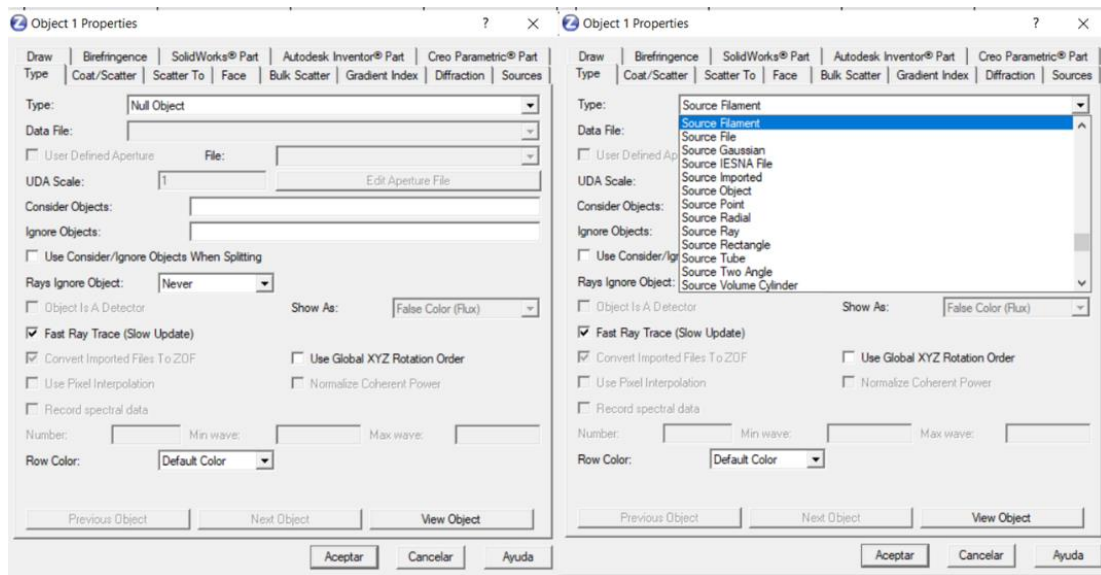


Figura 2.4 Pantalla de propiedades del objeto.

Después de haber seleccionado el filamento, en el editor aparecerá que es el objeto 1, donde habrá varias casillas, las cuales no siempre serán las mismas para todos los objetos, estas cambian dependiendo del tipo de objeto, sin embargo, las primeras diez casillas siempre serán las mismas que se muestran en la figura 2.2 donde se hace referencia a la posición del objeto en el plano, posición angular, material, referencia del objeto y algún comentario. Las variables que solo aparecen en el filamento (figura 2.5), pero recordando que al ser el primer objeto estará en la posición 0 en sus 3 coordenadas.

Non-Sequential Component Editor												
Edit Solves Tools View Help												
Object Type	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	# Layout Rays	# Analysis Rays	Power (Watts)	Wavenumber	Color #	Length	Radius	Turns	
1 Source Fi..	0.000	0.000	-	50	250000	1.000	0	0	1.000	1.000	1.0	

Figura 2.5 Variables del filamento.

Se configuran los valores de “*Layout Rays*”, en este se permite configurar el número de rayos que saldrán del filamento en cada instante, el cual ese número será constante todo el tiempo, en “*Analysis Rays*” podremos ajustar la cantidad de cuantos rayos queremos simular. En “*Power*” solo ajustaremos los Watts que desprenderán del filamento, en “*Length*” se ajusta lo ancho del filamento y en “*Radius*” lo largo.

Una vez terminado la selección de los valores del filamento se podrá observar en pantalla el filamento y sus respectivos rayos (Figura 2.6). Para poder observarlo solo se debe seleccionar el acceso rápido “L3n” se encuentra debajo del submenú principal.

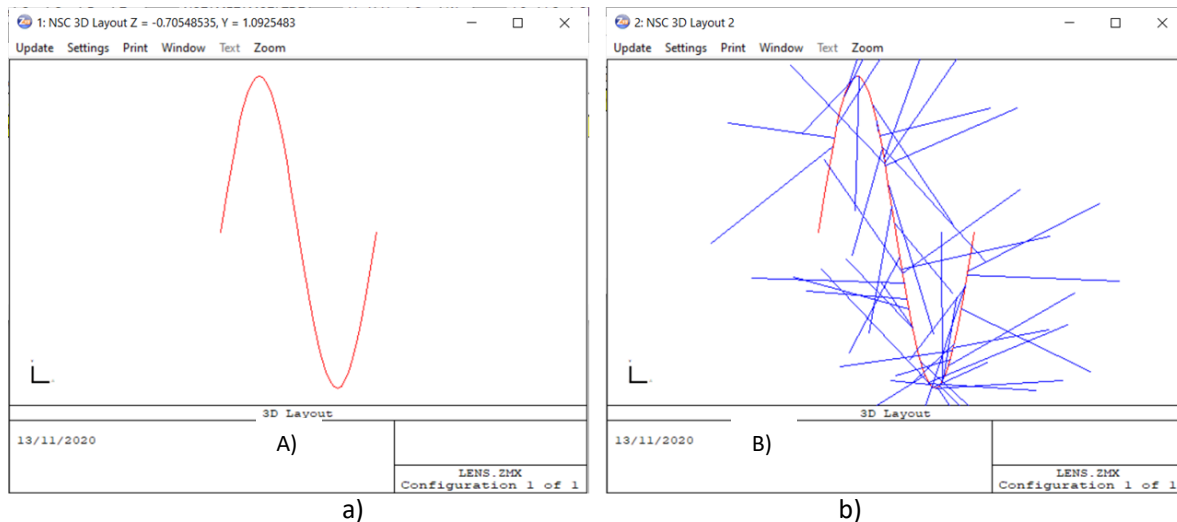


Figura 2.6.- Trazos de rayo del filamento, a) silueta del filamento, b) silueta del filamento con rayos.

2.3.3 Pasos para simular una lámpara.

Para la simulación de la lámpara usualmente se debe empezar con el filamento, en este caso continuara a partir del filamento, para crear un nuevo objeto se abre el menú del editor, seleccionamos “Edit” y después se selecciona “Insert Object” como se muestra en la (figura 2.7).

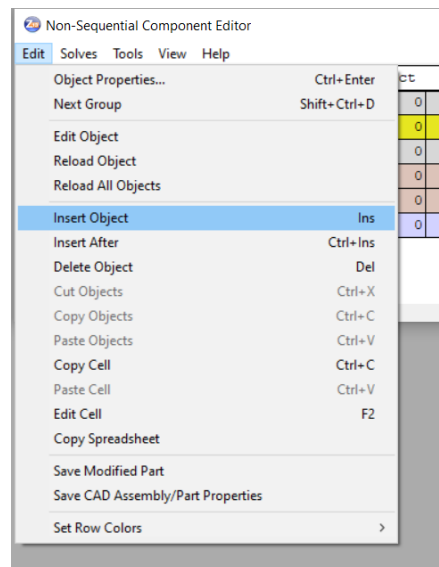


Figura 2.7 Insertar nuevo objeto.

Una vez seleccionado el nuevo objeto, se abre la ventana de propiedades de objeto y se selecciona “Standard Surface”, esta opción permite crear una figura tridimensional similar a las lámparas (figura 2.8).

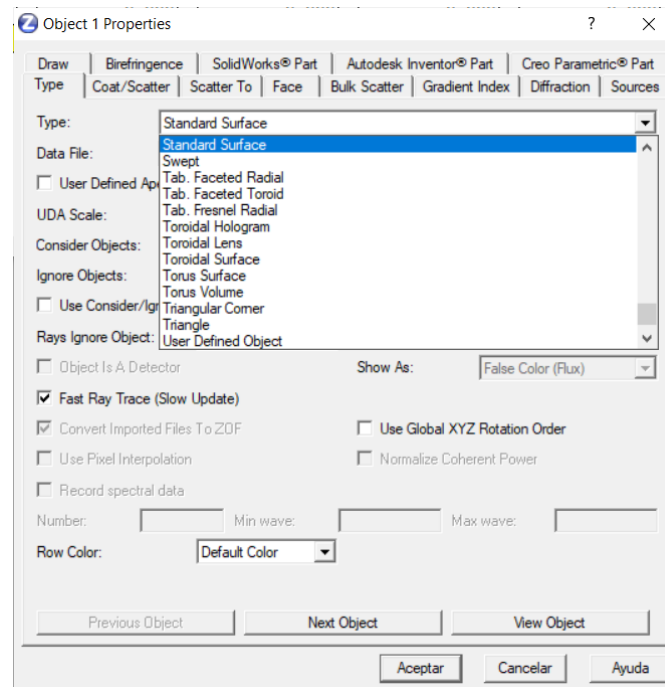


Figura 2.8 Selección de objeto similar a la lámpara.

Non-Sequential Component Editor											
Edit Solves Tools View Help											
Object Type	Y Position	Z Position	Tilt About X	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	Radius	Conic	Maximum Aper	Minimum Aper	Far S(unus
1 Standard ..	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR	2.000	0.000	2.000	0.000	
2 Source Fl..	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		50	250000	1.000	0	

Figura 2.9 Propiedades de la lámpara.

Cuando aparezca el nuevo objeto en el editor se cambia el material del objeto, al ser en este caso una lámpara, se escribe “MIRROR”, para que el objeto se comporte como un espejo y refleje los rayos de luz, después se cambia la posición en el **eje Z** para que el filamento y el espejo no estén colisionando, y cause algún error al momento de simular.

En “Maximum Aper” se selecciona la abertura máxima de la figura, mientras que en “Minimum Aper” es la mínima apertura, si esta deja en “0”, la figura tomará una forma esférica, pero si se agrega algún otro valor, en donde este cerrando tendrá una forma aplanada con área circular. Mientras que “Radius” es el radio de referencia, que se utiliza como base para la circunferencia de la, esta se podrá ver afectada directamente con la abertura máxima y no puede ser menor a la misma.

Finalmente, después de seleccionar todos los valores que fueron descritos anteriormente se podrá hacer uso del acceso rápido “*LSn*” y “*L3n*”, para visualizar simultáneamente el filamento con su respectiva lámpara (Figura 2.10).

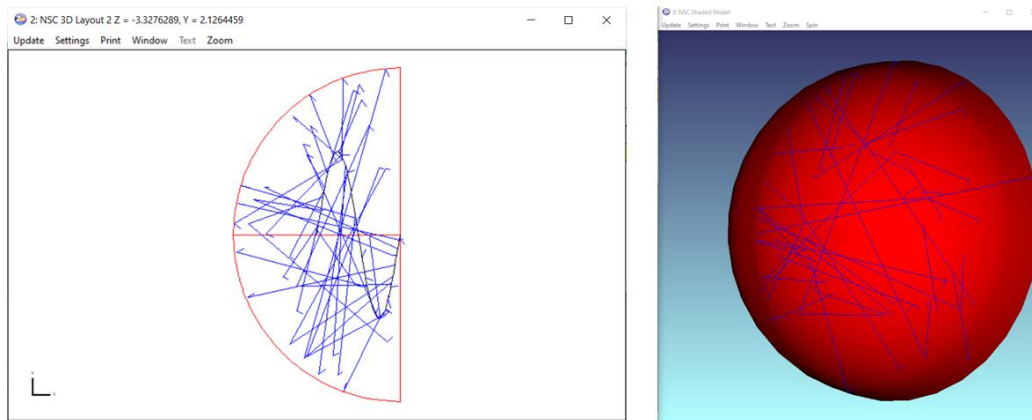


Figura 2.10 Visualización del filamento de luz en la lámpara, a) Vista lateral visualizado en 2D, b) Vista frontal visualizado en 3D.

2.3.4 Pasos para colocar una lente.

Se puede insertar una lente directamente de su catálogo, para esto se selecciona el acceso rápido “*Len*” donde mostrara las distintas opciones (figura 2.11). En esta pantalla se puede elegir al fabricante que se desee, por ejemplo, “*EDMUND OPTICS*”, también permite elegir el tipo de lente se quiere en las opciones de “*Type*”, así como su forma en “*shape*”.

Otra de las utilidades de utilizar el catálogo, es que se podrá seleccionar un intervalo específico de las distancias focales requeridas, así como su diámetro, es útil dependiendo del sistema que se esté utilizando. Al utilizar una lente más grande puede que sea un poco más complicado al querer colocarla cuando se requiera hacer el experimento, aunque existen distintos tamaños y sirven de la misma manera, lo cual se verá reflejado en el precio del material. Una vez que se tenga seleccionado todos los valores deseados en la lente, se agregará como un nuevo objeto en el editor.

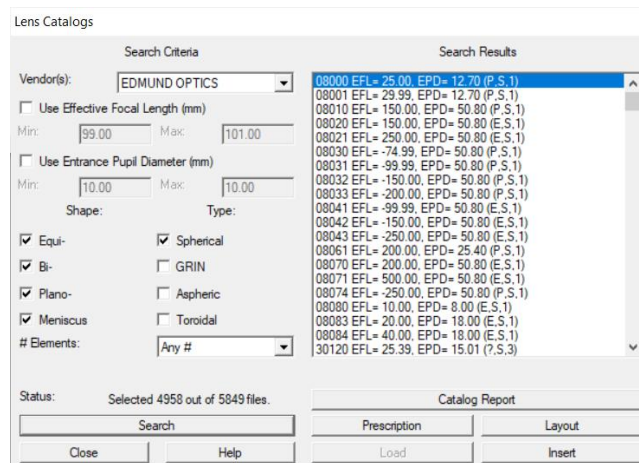


Figura 2.11 Catálogo de lentes.

Cuando se cuenta con la posición final de la lente en el plano (XY) se debe asegurar que no se esté haciendo contacto con otros objetos, si llegara a hacerlo, el programa marcará error (figura 2.12).

Object Type	Z Position	Tilt About X	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	Radius 1	Conic 1	Clear 1	Edge 1	Thickness	Radius 2
1 Standard ..	-1.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR	2.000	0.000	2.000	0.000		
2 Source Fi..	0.000	0.000	0.000	0.000	-	50	2500000	1.000	0		1.0
3 Standard ..	5.000	0.000	0.000	0.000	C79-80	11.460	0.000	6.350	6.350	3.920	0.0

Figura 2.12 posición de la lente dentro del plano.

2.3.5 Importar una pieza de SolidWorks a Zemax.

Para poder realizar este procedimiento, lo primero se debe crear una pieza en SolidWorks y guardarla en una de las carpetas de Zemax, debe de guardarse como “*sldprt*”, esto se puede observar en la (figura 2.13), una vez se guarda la pieza se selecciona dentro del programa (Se debe mantener abierto SolidWorks cuando se desea utilizar una de las piezas en Zemax, debido a que puede presentarse algún tipo de error).

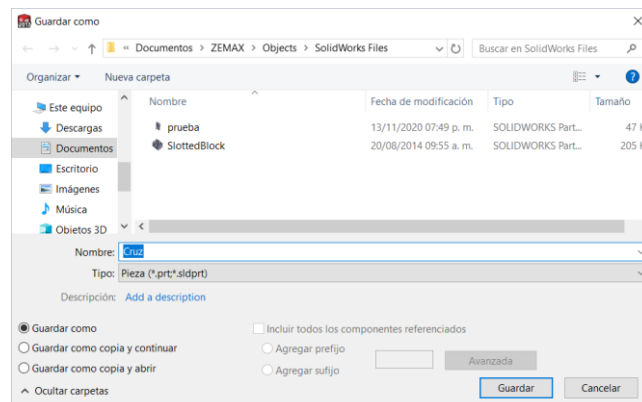


Figura 2.13 Guardado de pieza en archivos de Zemax.

Cuando se quiere ingresar la pieza en Zemax, se debe ir a la parte de propiedades de objeto y en la selección de “Type” seleccionar “CAD Part: SolidWorks”, y en “Data File” se selecciona la pieza que deseamos (Figura 2.14).

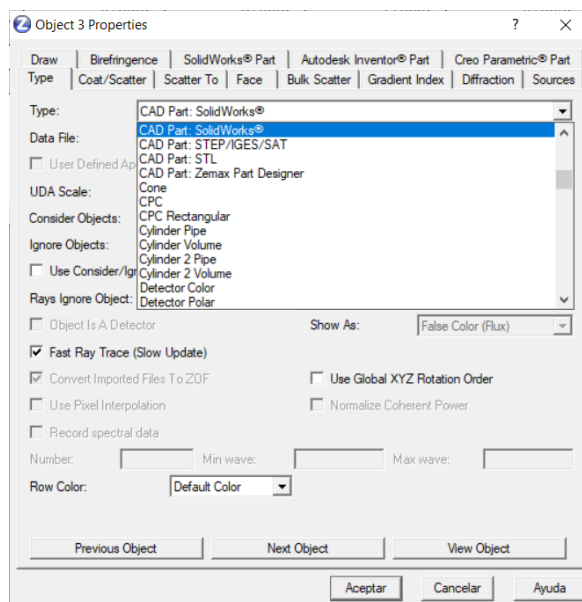


Figura 2.14 Importar pieza de SolidWorks a Zemax.

Una vez ingresado el objeto, solo se necesita cambiar el tipo de material y la posición que se le dará (figura 2.15), en este caso el material será “Mirror”, terminado lo anterior podrá observar cómo se ve la posición tanto de la lente con la pieza que se importa a Zemax (figura 2.15).

Object Type	Comment	Ref Object	Inside Of	X Position	Y Position	Z Position	Tilt About X	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	Radius
1 Standard ..		0	0	0.000	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR	2.0
2 Source Fi..		0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	
3 CAD Parti..	Cruz.SLDPR	0	0	0.000	0.000	11.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR	
4 Standard ..	08000.1	0	0	0.000	0.000	7.000	0.000	0.000	0.000	C79-S0	11.4

Figura 2.15 Posición y material de la pieza importada.

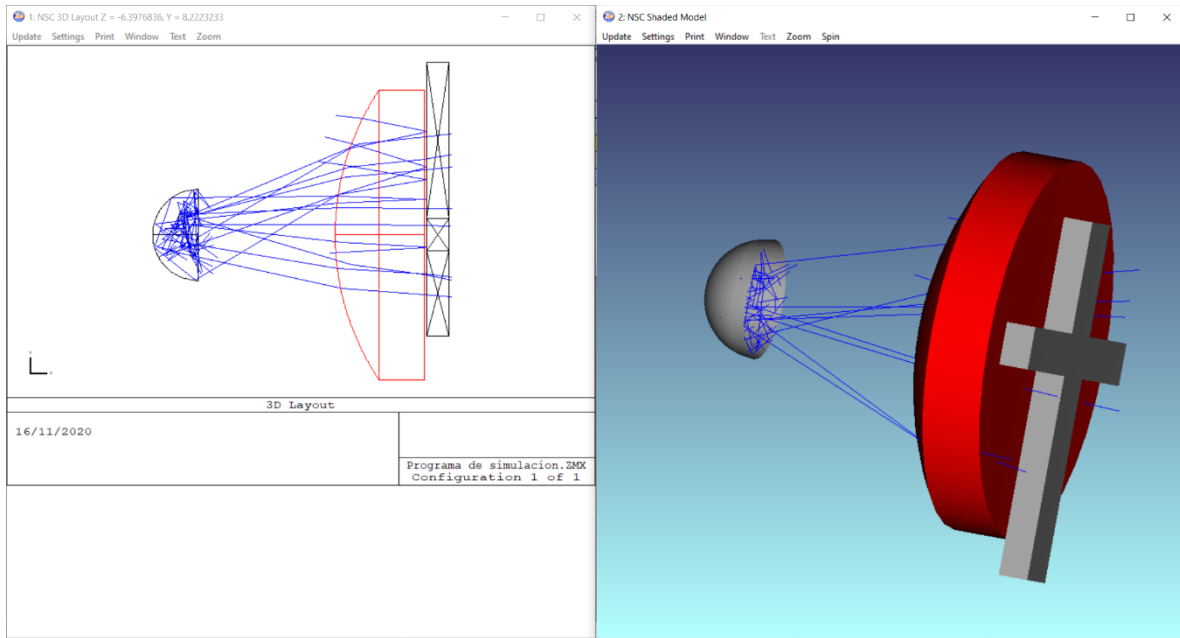


Figura 2.16 Visualización 2D y 3D de la lente y pieza importada.

2.3.6 Colocación de los detectores.

Los detectores son dispositivos que permiten visualizar la transmisión de una señal en una zona, para colocarlos se ajustan los parámetros de posición, tamaño y resolución.

Para ingresar un detector, tenemos que abrir la ventana de propiedades de objeto y en este caso seleccionar el “*Detector Rectangle*” como se muestra en la **figura 2.17**. Al momento de ingresar los valores la resolución es algo muy importante, es lo muestra con mayor o menor exactitud la mancha de luz (Figura 2.18).

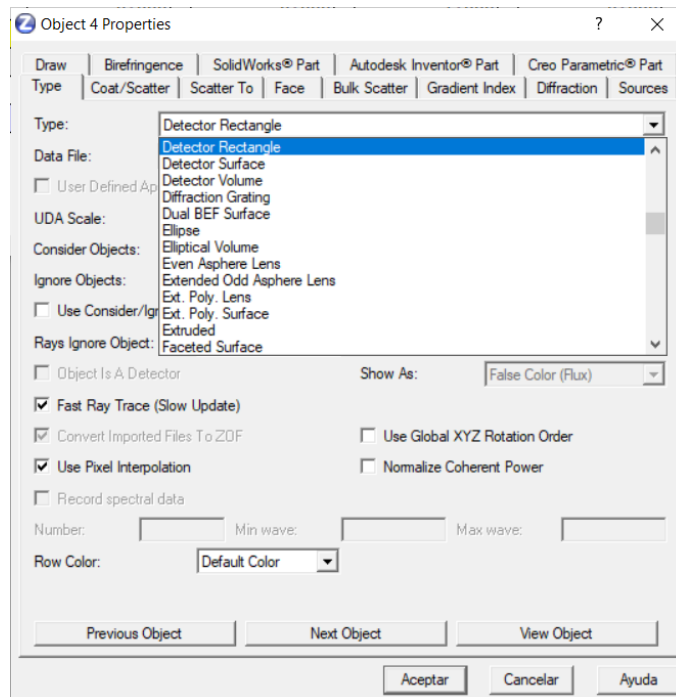


Figura 2.17 Selección de detector rectangular.

Se colocan dos detectores en el eje óptico, para ver el comportamiento de la luz antes de pasar por la lente y después del objeto de SolidWorks, los valores de la posición se muestran en la figura 2.17, mientras que la visualización del sistema se observa en la figura 2.19.

Object Type	Y Position	Z Position	Tilt About X	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	Radius 1	Conic 1	Clear 1	Edge 1	Thickness
1 Standard ..	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR	2.000	0.000	0.000	0.000	
2 Source Fl...	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		50	250000	7.000	0	
3 CAD Part...	0.000	11.000	0.000	0.000	0.000	MIRROR					
4 Detector ..	0.000	13.000	0.000	0.000	0.000		15.000	15.000	1500	1500	
5 Detector ..	0.000	3.000	0.000	0.000	0.000		15.000	15.000	1500	1500	
6 Standard ..	0.000	7.000	0.000	0.000	0.000	CT9-80	11.460	0.000	6.350	6.350	3.9

Figura 2.18 Propiedades de los detectores.

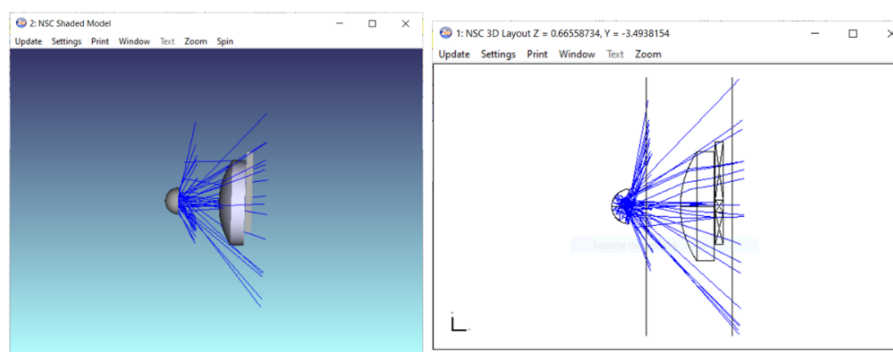


Figura 2.19 Visualización 2D y 3D del sistema con los dos detectores.

Al ingresar todos los valores de los detectores en el editor, podrá empezar a correr la simulación de los trazos de luz, para ello debemos seleccionar el acceso rápido “*Rtc*”, el cual muestra la ventana del control de trazo de rayos (figura 2.20), se selecciona “*Clear Detectors*”, para que se borren los antiguos trazos de luz de alguna simulación anterior, en caso de que se quieran sobrescribir, solo debe seleccionar “*Trace*”, de lo contrario, después de borrar la anterior simulación solo debe seleccionar “*Trace*” y esperar a que termine la simulación, el tiempo de ejecución depende de las características fundamentales de la computadora que se esté usando y a su vez de la cantidad de rayos que se quiera simular.

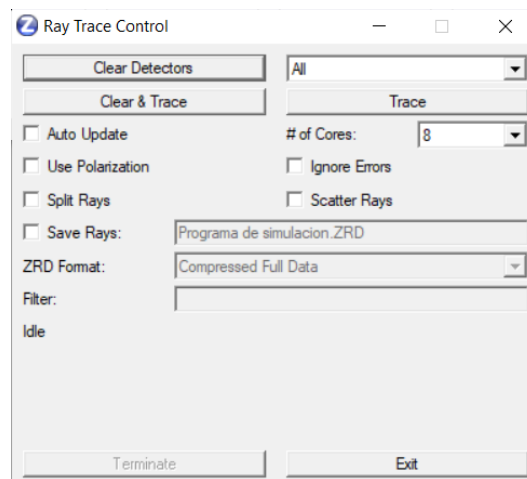


Figura 2.20 Control de trazo de rayos.

Finalizado la simulación, el resultado se puede observar al seleccionar el acceso rápido de “*Dvr*” se abrirá una ventana, que mostrará alguno de los dos detectores, como se muestra en la figura 2.21. En esta imagen podemos ver que al lado derecho sale una escala de valores, son los niveles de irradiancia proveniente de nuestra imagen, mientras que en la parte inferior dice el tamaño del detector, el número de pixeles que tiene, picos de irradiancia, y la potencia total.

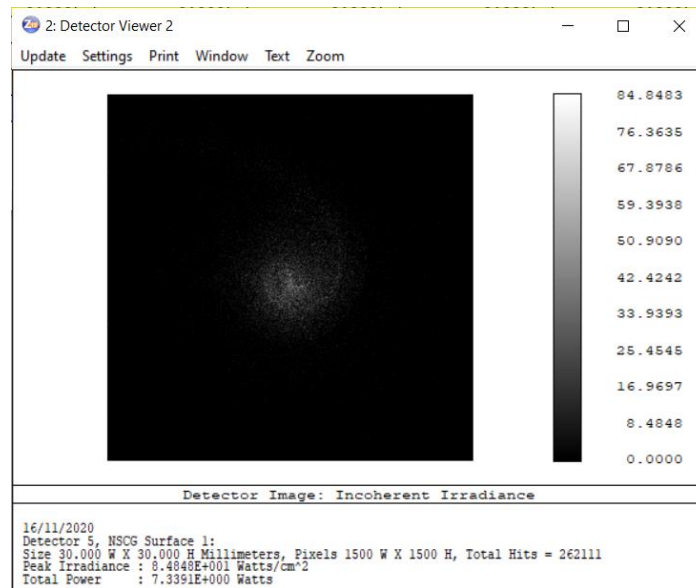


Figura 2.21 Detector colocado después de la lámpara.

Para ver el otro detector, se selecciona la opción “*Settings*” y después se selecciona “*Detector Viewer*”, abrirá una pantalla donde se configuran los parámetros de cómo se observa la imagen y de que detector es (figura 2.22). Como último paso solo cambiará el detector que mostrará en pantalla (figura 2.23).

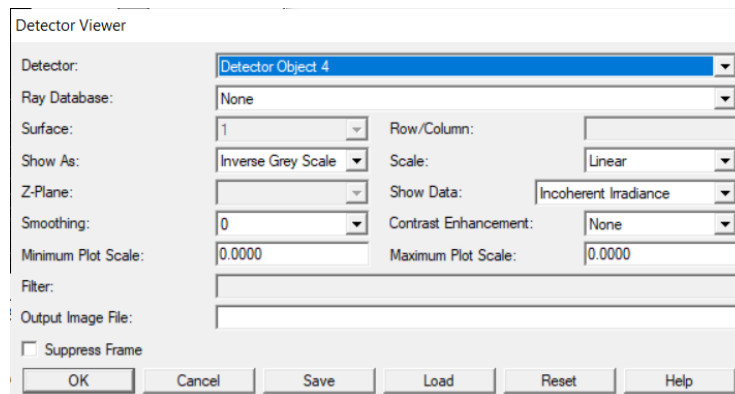


Figura 2.22 Pantalla de ajustes de la imagen del detector.

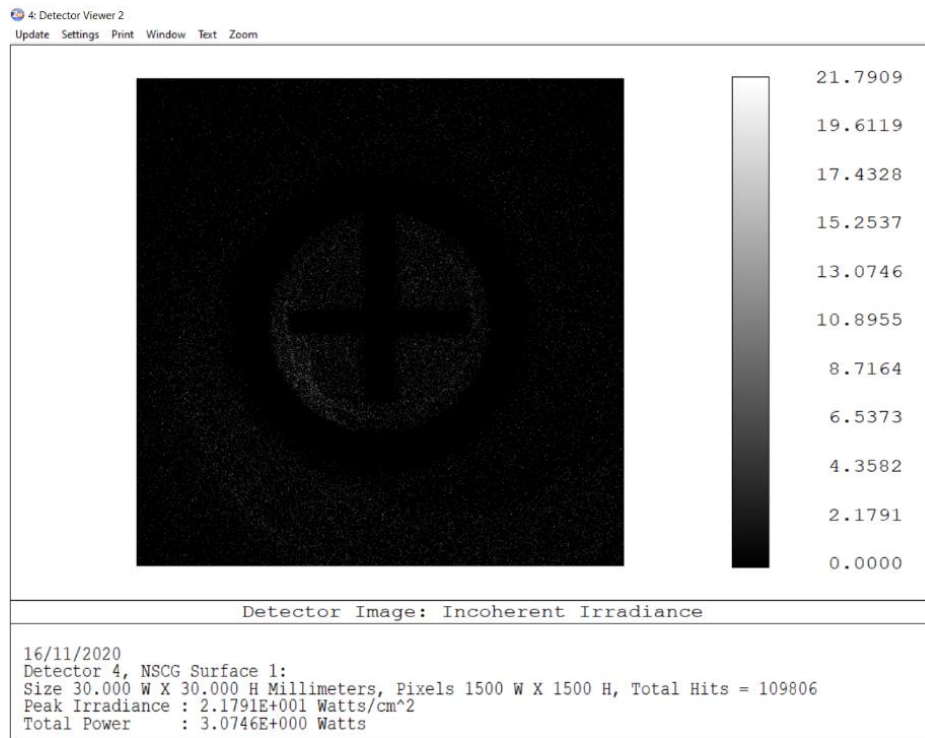


Figura 2.23 Detector colocado después de la pieza importada de SolidWorks.

Capítulo 3

Experimentación

La experimentación es el proceso final del método científico, se realiza cuando se conocen los posibles resultados, debido a cálculos teóricos, simulaciones e incluso de experimentos anteriores que nos sirven como base para cambiar algún parámetro de este. Teniendo en cuenta lo anterior se planteó proponer la metodología de experimentación, para el proceso de soldadura con luz infrarroja, lo cual conlleva a conocer los pasos a seguir desde la colocación de la lente hasta obtener el resultado.

3.1 Materiales de la mesa de trabajo

Existen distintos elementos básicos en una mesa de trabajo, estos suelen cambiar dependiendo del área en el que se trabaje, así que se describirán los elementos básicos que hay en un laboratorio de óptica usado para fines académicos.

3.1.1 Mesa óptica

La mesa de trabajo es un elemento de vital importancia en la óptica, si bien existen distintos modelos para las necesidades, uno de ellos son las mesas perforadas, en la cual sus barrenos tienen rosca, para que se le puedan colocar elementos, estas mesas son hechas de esta manera para asegurar los elementos en ellas y evitar posibles movimientos. En algunos modelos son la mesa de trabajo completa, las cuales son muy pesadas para evitar posibles movimientos, también existen modelos que amortiguan las posibles vibraciones en el sistema, todo con la meta que los experimentos logren ser precisos [26].

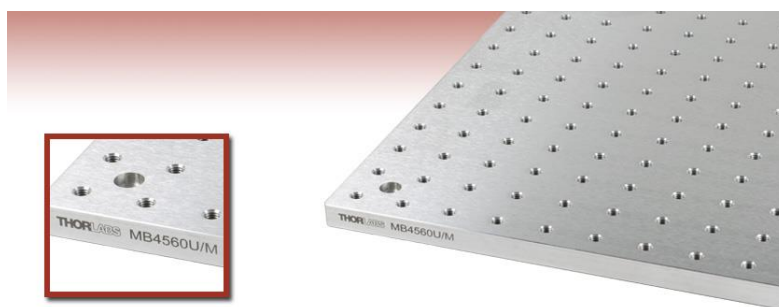


Figura 3.1 Mesa portátil de trabajo [27].

3.1.2 Láser

Es una de las herramientas más utilizada en la óptica, gracias a que con ellos se puede hacer una infinidad de experimentos, por lo cual los vuelve bastante versátiles. Los láseres también son bastantes útiles cuando se utilizan para algún tipo de sensor, la información que se envía es casi instantánea, también es utilizado para alinear cada componente en un experimento con respecto a su eje óptico.



Figura 3.2 Diodo láser [28].

3.1.3 Monturas de lentes

Hay una gran variedad de monturas diseñadas para cada componente óptico (espejos, lentes, microobjetivos, etc.). Una de las más practicas es la *montura de lente V* como se observa en la figura 3.3, esta montura permite sujetar lentes de distintos diámetros, o a su vez podría sujetar lámparas, la ventaja de este tipo de montura es la gran variedad de objetos que puede sujetar, su desventaja es que no cuenta con una alta precisión en el ajuste de la lente y esto provoca que el haz pueda variar su trayectoria.

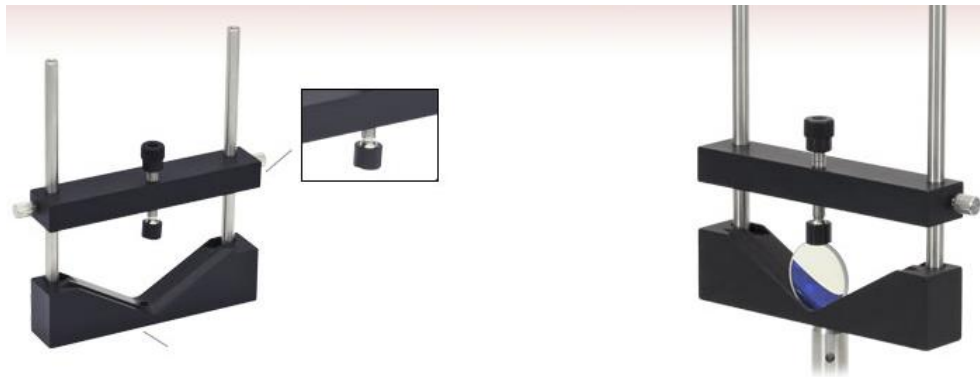


Figura 3.3 Montura de lente V [30].

3.1.4 Lentes

Son de los principales componentes en los experimentos ópticos, sin embargo, no es necesario comentar mucho de estos elementos porque se han visto detenidamente en el **capítulo 2**.

3.1.5 Cámara térmica

Las cámaras son muy versátiles por los diferentes usos que se le pueden dar, algunas veces son utilizados en la medicina, solo para observar la fiebre de los pacientes o encontrar alguna variación en el cuerpo humano, también es utilizado en el mantenimiento preventivo para encontrar posibles fallas en el sistema. En esta investigación se utilizó la cámara para poder observar las variaciones de temperatura en el elemento a soldar, así como ver la respectiva mancha de luz obtenida a través del arreglo experimental por el sistema.

Se utilizó una cámara móvil marca **Fluke** modelo **ti450**, que se puede conectar directamente a la computadora o bien usarla por separado, el campo de visión de la cámara dependerá de la distancia que se encuentre del objetivo, así como su precisión de medición variará del tamaño del objeto en cuestión por lo tanto entre más alejado este, menos preciso será con un objeto de menor tamaño [27]. Sin embargo, en la medición del objetivo debe de considerar el enfoque, ya que la imagen térmica y la imagen real suelen estar desfasadas causando una medición errónea, se puede calibrar manualmente, o de forma automática con su apuntador láser.

3.2 Realización del experimento.

La realización puede variar según de los materiales que se utilicen, aun así, se explicará de manera generalizada con los elementos básicos de un laboratorio estudiantil.

3.2.1 Medidas de seguridad

Antes de realizar cualquier experimento se debe ser consciente los posibles riesgos, esto para evitar cualquier tipo de accidente o lesión, es por eso que se hará mención de algunas medidas preventivas.

Las lentes de protección se deben de utilizar cuando se enciende la lámpara o el láser con mucha potencia, para evitar una posible lesión ocular.

Utilizar guantes cuando se alineen los lentes, esto para evitar manchar el lente o sufrir una quemadura por la luz del láser.

Usar careta en caso de que se necesite exponer mucho tiempo al alumno frente a la lámpara encendida.

3.2.2 Nivelación de mesa.

Es algo que se tiene que verificar antes de realizar cualquier experimento en una mesa de trabajo óptica, debido a que si no lo está causa vibraciones, haciendo que el sistema se desajuste. Para realizar este procedimiento se utiliza un nivel en las cuatro esquinas de la mesa para asegurar que está nivelada.

3.2.3 Colocación de la lámpara.

Es el primer paso que se tiene que realizar al momento de alinear el sistema, siendo que el foco de la lámpara es el que definirá la trayectoria del eje óptico, por lo tanto, se puede colocar de manera arbitraria en cualquier punto, pero a partir de esa posición debe de quedarse fijo, para que los demás componentes tomen esa posición como punto de partida.

Para poder encontrar el eje óptico de la lámpara, lo que se tiene que hacer es colocar una hoja de papel dentro del rango de iluminación y acercarla, hasta que en la hoja se note una marca, o bien se queme un poco, cuando suceda se apaga o aleja la lámpara, este proceso se muestra en la figura 3.4.

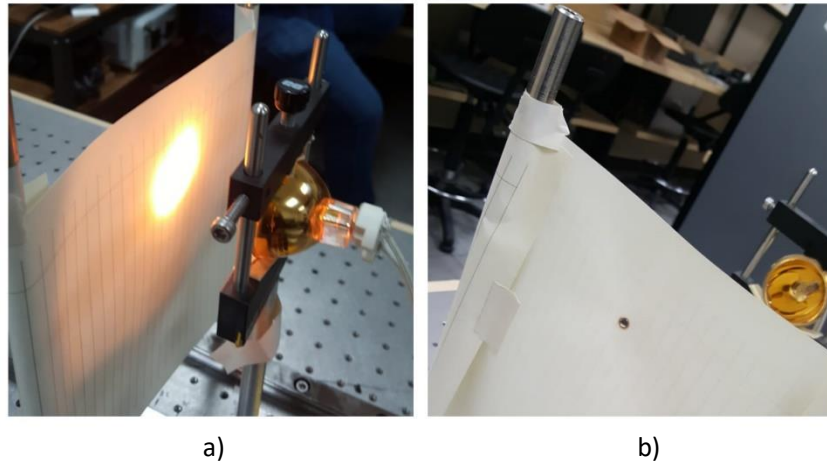


Figura 3.4 Proceso para alinear la luz de la lámpara, a) Acercamiento de lámpara al papel, b) Marca dejada por la lámpara.

3.2.3.1 Manejo de la fuente de la lámpara.

Es el ajuste del voltaje de la fuente para controlar la intensidad de la lámpara, sin embargo, se debe observar la cámara térmica, para asegurar que al elemento le llega toda la intensidad de luz y cumpla con su perfil de reflujo, estos pueden variar dependiendo del componente, en este caso se utilizan los componentes SMT (*Tecnología de Surface-mount*), si no se cumple con sus perfiles al momento de soldar se dañará el componente o quedará mal soldado.

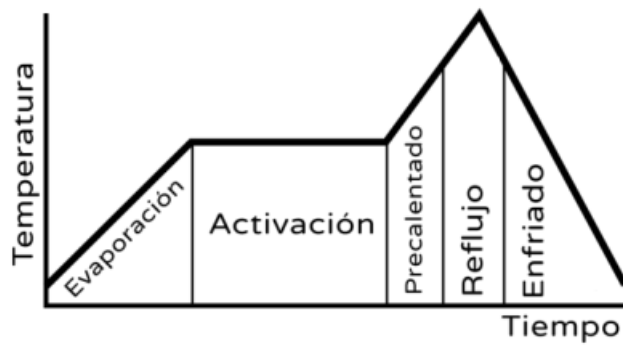


Figura 3.5 Perfil de reflujo de componentes STM [28].

3.2.4 alineación del eje óptico.

El láser en muchas ocasiones es utilizado para observar su comportamiento en ciertos medios, pero en este caso será utilizado para ajustar las lentes con respecto al eje óptico, así que la dirección del láser tiene que estar con respecto al eje marcado en la figura 3.4, este procedimiento se vuelve complicado al querer ajustar 6 tornillos para alinear tanto su altura como ángulo (figura 3.6). El motivo por el cual la parte frontal del láser está cubierta con una tapa, es para realizar la alineación de distintos elementos, los cuales se explicará más adelante.

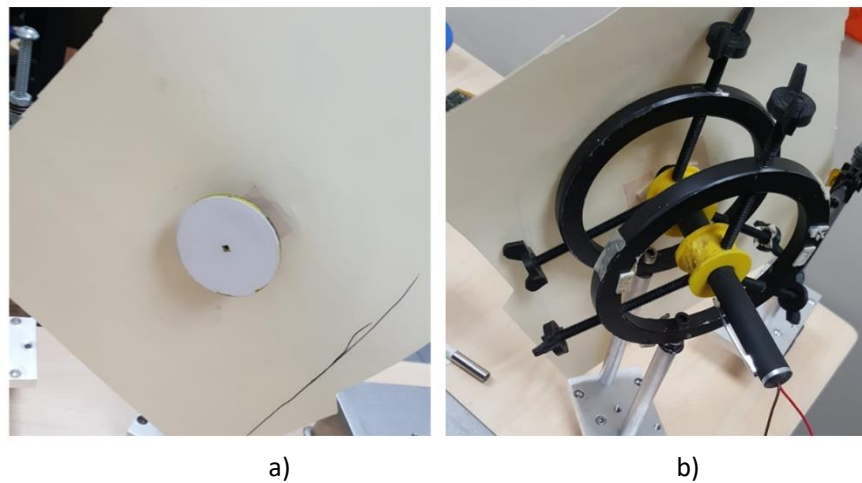


Figura 3.6 Calibración del láser, a) Parte frontal del láser, b) Parte trasera del láser.

Cuando se ha ajustado el láser con el eje óptico de la lámpara, es necesario crear un punto de referencia en el cual se revisará que el eje óptico sea correcto, el reflejo del láser no se debe verse reflejado en la hoja ni en el disco blanco, independientemente de la lente que se quiera calibrar. En este caso el segundo punto de referencia estará ubicado en el punto de observación, así como en la figura 3.7.



a)

b)

Figura 3.7 Puntos de referencia del eje óptico, a) Láser en marca dejada por la lámpara, b) Láser donde se colocará una segunda referencia del eje óptico.

3.2.5 Alineación de elementos.

La alineación de los elementos varía dependiendo de las características del sistema que se desee emplear, o bien directamente del resultado, este caso la variable controlada es la distancia entre cada elemento, porque tienen que estar alineados de acuerdo con sus distancias focales para poder colimar la luz.

3.2.5.1 Alineación de lentes

La forma de alinear cambia dependiendo de la imagen que esta proyecte, pero el principio viene siendo el mismo, al momento que traspasa la luz por la lente está debe incidir en la marca de referencia dejada en la pared, y la parte que es reflejada debe centrarse en el punto de donde se emite la luz del láser. Este proceso se repetirá con todas las lentes de manera individual, una vez que todas queden alineadas por todo el trayecto del riel, se considera que el sistema se encuentra alineado.

3.2.5.1.1 Posición de lente esférica

Cada elemento perteneciente al sistema tomará como referencia inicial la posición de la lámpara, porque es la que emite todo el trayecto de rayos, así que la colocación de la lente debe sobrepasar la distancia focal de la lámpara, por el tipo de imagen que se quiere generar en este experimento, sin embargo, la separación de cada elemento dependerá totalmente de la distancia focal del anterior.

3.2.5.1.2 Lente Biconvexa

Es colocada antes de la distancia a la que se encuentra el foco de la lente esférica, para poder formar una mancha de luz con área en donde su potencia sea constante.

3.2.5.2 Elemento por soldar

Es el último elemento que se coloca en todo el sistema, de igual manera es el más simple de alinear, ya que solo se asegura de que la luz del láser incida en él.

3.2.6 Cámara térmica.

Si bien este elemento no afecta el resultado del experimento, sin embargo, se tiene que tomar en cuenta para poder observar el comportamiento del elemento a soldar, así como visualizar los resultados finales de las pruebas, pero este solo funciona adecuadamente si se coloca dentro del ángulo y la distancia en donde la medición puede considerarse precisa, estos valores pueden cambiar dependiendo de la cámara que se esté utilizando. Los resultados pueden variar dependiendo de la calibración de la cámara.

La calibración manual es utilizada normalmente cuando el objetivo es muy pequeño, con el fin de hacer una medición más precisa. Para poder realizarla se debe de mover el enfoque manual que contiene la cámara, el cual se puede observar en la figura 3.8. Mientras que, para hacer la calibración automática, basta con presionar el gatillo de menor de la cámara y donde se encuentre el apuntador láser, es el objetivo que tomará en cuenta para su ajuste.

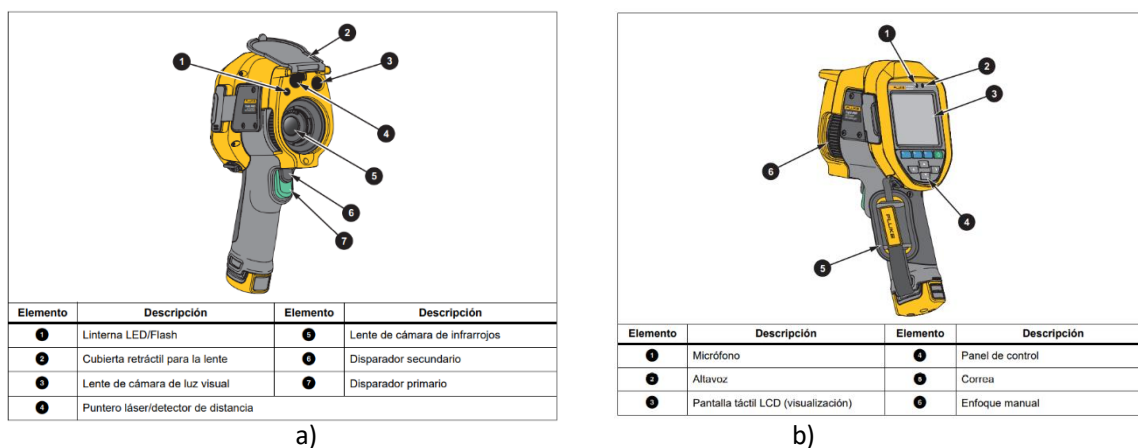


Figura 3.8 Componentes de cámara fluke ti450 pro, a) Parte frontal, b) Parte trasera [33].

Capítulo 4

Resultados

Este apartado se dividirá en dos secciones, la primera perteneciendo a la parte de simulación, la cual representara las variaciones al realizar las simulaciones y como se puede ver afectada la imagen final, y la segunda sección será la parte de experimentación, donde se explicará la variación del sistema dependiendo de cómo se observe o de lo que se requiera.

4.1 Resultados de simulación.

En el capítulo 2 se enfoca en el procedimiento de la simulación, mientras que en esta sección se enfocará más en la parte de la interpretación del resultado final y como puede ser afectado dependiendo de sus variables.

En las siguientes simulaciones se usará el mismo sistema óptico realizado en el capítulo de simulaciones, cambiando solo la calidad de imagen.

En la primera simulación se propuso que la calidad de los detectores fuera de 5000 pixeles, mientras que el filamento solo emite 50 rayos a la vez dando como resultados las manchas de luz de la figura 4.1.

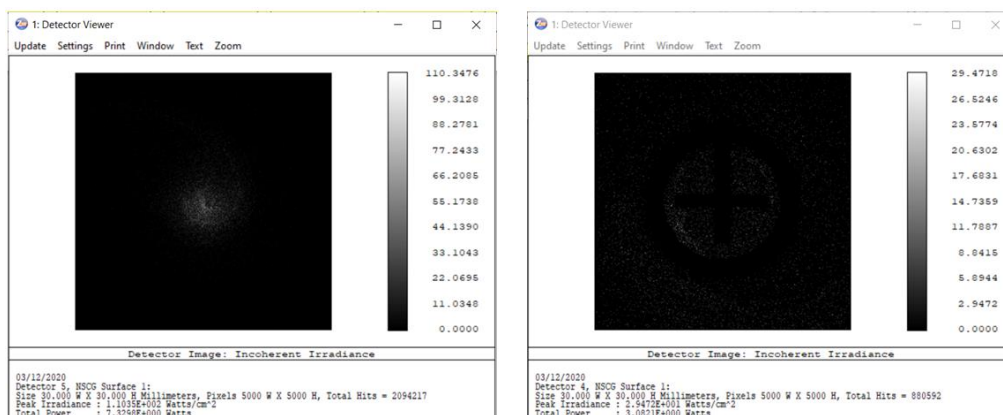


Figura 4.1 Resultados de simulación con 50 rayos en el filamento y una resolución de 5000 pixeles.

Al observar la primera prueba, se decidió disminuir la resolución a 1000 pixeles. Al examinar nuevamente los detectores, la imagen cambio considerablemente, dando como resultado un patrón muy distinto a los anteriores y ejecutando la simulación en un menor tiempo (Ver figura 4.2).

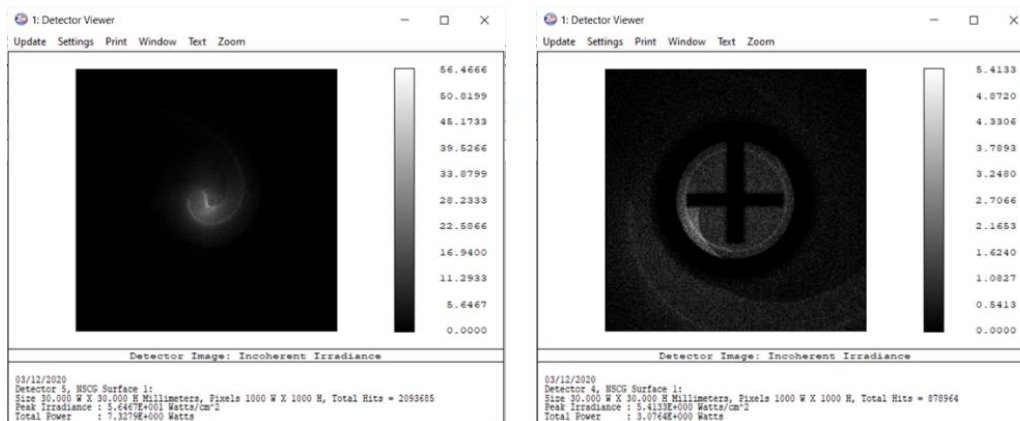


Figura 4.2 Resultados de simulación con 50 rayos en el filamento y una resolución de 1000 pixeles.

En las pruebas de simulación se pueden comparar la exactitud y precisión del sistema, debido a que la resolución de ambos es bastante alta, pero si se observa detalladamente, la primera simulación es aún más precisa, ya que se puede observar levemente como el patrón de luz tiende a ir a la parte inferior izquierda de la imagen, por el contrario, en la segunda, la mancha se ve más dispersa, haciéndolo menos exacta. El segundo resultado de simulación es distinto, al tener menos resolución, la imagen se hizo más clara y se puede ver menos la distribución de luz. Entonces al tener en cuenta las dos simulaciones podemos entender que la observación de la simulación cambiara totalmente dependiendo de la necesidad del usuario, si este quiere analizar detalladamente objetos pequeños sería recomendable utilizara una resolución a un más alta, pero en el caso que se quiera ver solo el patrón de la mancha se necesita menor resolución.

4.2 Resultados de experimentación

Se obtuvo dos resultados a través del arreglo experimental, primero es alineamiento del sistema conjunto con su mancha de luz, mientras que en la segunda habla sobre el análisis del elemento que se desea soldar, se debe recordar que este experimento no se centra en el análisis de efecto sobre el elemento a soldar, solo se planea conocer el comportamiento del elemento al momento de realizar la prueba.

4.2.1 Resultados de alineación

En el capítulo anterior se habla específicamente sobre cómo se alinean las lentes en un sistema y su procedimiento, si bien es sumamente importante también se debe tomar en cuenta la distancia que hay entre las lentes, por supuesto que debemos conocer todas las distancias de antemano ya que se debieron hacer cálculos y simulaciones antes de llevar acabo la alineación, pero al momento de realizarlo de manera física pueden ocurrir otras variaciones que no se contemplaron, también puede que la distancia entre nuestros elementos no sea la óptima por el punto de medición que estemos tomando, si bien estos factores pueden ser fácilmente corregidos solo ajustando la distancia, aun así se debe de tener esa consideración. Se puede observar la mancha de luz que se forma, al iniciar el experimento, pero tiene que realizar con una temperatura más baja, para evitar un posible accidente (Figura 4.3).

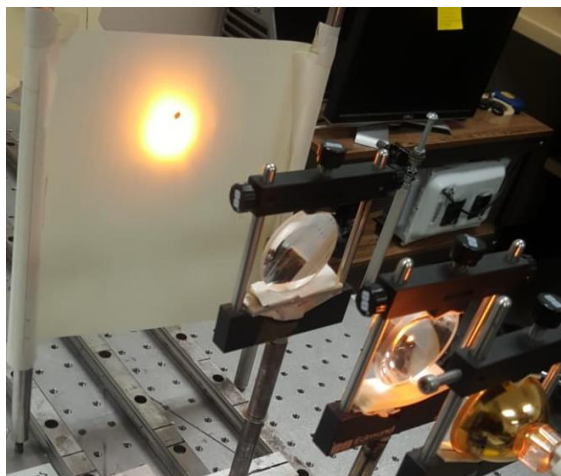


Figura 4.3 Visualización de la mancha de luz formada por el sistema óptico.

4.2.2 Resultados de medición de prueba

La importancia de la medición en este caso, es solo para verificar la mancha térmica que tienen los elementos al aplicarle mayor o menor voltaje a la lámpara, para que esta medición se considere efectiva es necesario tener bien enfocada la cámara, como se observa en la figura 4.4, aunque también puede haber otros factores que se pueden considerar al utilizar la cámara térmica y no otros elementos de medición de temperatura, uno de ellos es que se puede apreciar la imagen y saber la temperatura sin tocarlo, esto es de gran utilidad en los sistemas ópticos, debido a que si se usara un elemento que requiera hacer contacto con el objetivo, o estar dentro del sistema podría causar errores de medición.



a)



b)

Figura 4.4 Medición de temperatura al elemento que se desea soldar,
a) Imagen desenfoada, b) Imagen enfocada.

Otro resultado que se puede aclarar al observar las imágenes es que elemento a soldar está obteniendo la mayor temperatura en el sistema, esto indica que la prueba funciona adecuadamente. Aunque existen elementos que por su capacidad de reflexión no llega la energía adecuadamente, haciendo que la montura del elemento tenga mayor temperatura, lo que hace que el objetivo sufra daños. Cuando sucede esto no significa que el sistema óptico este mal, una vez revisada la mancha óptica, lo que hay que corregir es la montura del objetivo o la forma que está posicionado, pero esto variara dependiendo del tipo de elemento o los resultados que se quieran analizar en él.

Conclusión

Existen distintos procesos de soldadura electrónica, estos dependiendo de las necesidades del usuario, desde las más simples, que es soldar componentes con cautín, hasta las más complejas, que puede ser soldar chips donde se requiere mayor precisión, independientemente de la forma. Conocer el proceso es de gran ayuda, por lo que llevar a cabo una metodología puede evitar errores e incluso accidentes.

La teoría informa sobre el comportamiento y los fenómenos que suceden dentro del sistema óptico para predecir y controlar su funcionamiento, mientras que la simulación valida de manera virtual el comportamiento teórico. Para esto fue utilizado el simulador Zemax y fue desarrollado el proceso para la simulación el cual valida aproximadamente entre un 85% y 90% de lo que se espera de manera experimental. Por último, se presenta el proceso de la experimentación, en cual se observan los pasos a seguir para utilizar los aparatos ópticos y las medidas de seguridad necesarias para evitar posibles accidentes.

Se presentan los pasos a seguir para lograr una correcta simulación y alineación del sistema óptico, con ayuda de un láser para evitar posibles errores dentro del experimento, así como las medidas de seguridad para realizar el mismo.

En este trabajo se ha conseguido el objetivo de realizar un documento en el cual se presente un proceso generalizado de simulación y experimentación para soldadura con un sistema óptico, siguiendo siempre una metodología básica capaz de adaptarse independientemente del experimento. El documento también tiene la información teórica básica de óptica para que cualquiera que desee aprender este tipo de método, pueda realizarlo de manera sencilla y eficiente.

La principal razón para realizar la siguiente tesis fue proporcionar a los estudiantes un procedimiento en cual basarse para llevar a cabo la simulación y experimentación de sistemas de soldadura por luz infrarroja.

Bibliografía

- [1] Sánchez, Beatriz y Cuevas, Salvador. (2009). El telescopio y su historia. *Ciencias* 95, julio-septiembre, 28-31.
- [2] M. Lanfranconi, *HISTORIA DE LA MICROSCOPIA*. Mar del plata: Facultad de Cs.Exactas y Naturales Universidad Nacional de Mar del Plata, pp. 1-3.
- [3] J. Sandino, "MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISIÓN Y MECANICA CUÁNTICA", *Momento Revista de física*, vol. 59, pp. 49-51, 2020. Available: doi: 10.15446/mo.n59E.81623 [Accessed 5 March 2020].
- [4] C. Anguiano, M. Félix, A. Medel, M. Bravo, D. Salazar and H. Márquez, "Study of heating capacity of focused IR light soldering systems", *Optics Express*, vol. 21, no. 20, p. 23851, 2013. Available: 10.1364/oe.21.023851 [Accessed 4 March 2020].
- [5] Pimentel, J. (2015). "Teorías de la luz y el color en la época de las Luces. De Newton a Goethe". *Arbor*, 191 (775): a264. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5003>
- [6] Beléndez, A., 2008. La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, (30), pp.8.
- [7] Blanco Laserna, D. (2015). "Luz y ondas. Huygens: la luz como propagación ondulatoria". *Arbor*, 191 (775): a263. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.775n5002>
- [8] J. Luque Ordóñez, *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*, 62nd ed. España, 2012, p. 18.
- [9] *Física de las Ondas Radioeléctricas dentro del Estándar IEEE802.11b*. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2020, p. 2.
- [10] F. Savall Alemany, J. Domènech Blanco and J. Martínez Torregrosa, "La introducción del concepto de fotón en bachillerato", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 35, no. 2, p. 4, 2013. Available: 10.1590/s1806-11172013000200019 [Accessed 22 August 2020].
- [11] H. Bertolano and S. Vettorel, *Ondas Electromagnéticas*. Repositorio Hipermedial de la Universidad Nacional de Rosario, 2015, pp. 14-16.
- [12] S. Llanos, "Notas de Clase. Las Lentes. Convergente y Divergente. Ecuación y Combinación", *Profesorsergiollanos.blogspot.com*, 2020. [Online]. Available: <https://profesorsergiollanos.blogspot.com/2020/06/notas-de-clase-las-lentes-convergente-y.html>. [Accessed: 14- Oct- 2020].

- [13] Edmundoptics.com. 2020. *Anti-Reflection (AR) Coatings | Edmund Optics*. [online] Available at: <<https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/lasers/anti-reflection-coatings>> [Accessed 2 November 2020].
- [14] J. Weiner, "The physics of light transmission through subwavelength apertures and aperture arrays", *Reports on Progress in Physics*, vol. 72, no. 6, p. 064401, 2009. Available: 10.1088/0034-4885/72/6/064401 [Accessed 4 November 2020].
- [15] "Optical Glass | Edmund Optics", *Edmundoptics.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/optical-glass>. [Accessed: 04- Nov- 2020].
- [16] *Óptica geométrica*, 3rd ed. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya, pp. 25-27.
- [17] *Óptica geométrica*, 3rd ed. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya, pp. 46-50.
- [18] A. April, P. Bilodeau and M. Piché, "Focusing a TM₀₁ beam with a slightly tilted parabolic mirror", *Optics Express*, vol. 19, no. 10, p. 9203, 2011. Available: 10.1364/oe.19.009201 [Accessed 5 November 2020].
- [19] W. Smith, *Modern Optical Engineering (4th Edition)*, 4th ed. Blacklick, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2008, p. 507.
- [20] "Metallic Mirror Coatings | Edmund Optics", *Edmundoptics.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/metallic-mirror-coatings/>. [Accessed: 06- Nov- 2020].
- [21] H. Ruiz Esparza González, F. Martínez Álvarez and G. Monroy Alvarado, *SIMULACIÓN: CONCEPTOS Y EVOLUCIÓN*. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, pp. 81-83.
- [22] "La Experimentación en la Investigación Científica | Process of Science | Visionlearning", *Visionlearning*. [Online]. Available: <https://www.visionlearning.com/es/library/Proceso-de-la-Ciencia/49/La-Experimentaci%C3%B3n-en-la-Investigacion-Cient%C3%ADfica/150>. [Accessed: 08- Apr- 2020].
- [23] A. F. Seila, "Spreadsheet simulation," Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005., Orlando, FL, 2005, pp.33-34, doi: 10.1109/WSC.2005.1574237.
- [24] R. Rodriguez-Ulloa and A. Paucar-Caceres, "Soft System Dynamics Methodology (SSDM): Combining Soft Systems Methodology (SSM) and System Dynamics (SD)", *Systemic Practice and Action Research*, vol. 18, no. 3, pp. 303-305, 2005. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11213-005-4816-7>. [Accessed 8 November 2020].

- [25] J. Kleijnen, "Supply chain simulation tools and techniques: a survey", *International Journal of Simulation and Process Modelling*, vol. 1, no. 12, pp. 82-84, 2005. Available: <http://www.inderscience.com/offer.php?id=7116>. [Accessed 8 November 2020].
- [26]"Optical Tables, Breadboards, and Supports - Thorlabs", *Thorlabs.com*, 2020. [Online]. Available: https://www.thorlabs.com/navigation.cfm?guide_id=40. [Accessed: 21- Nov- 2020].
- [27]"Unanodized Solid Aluminum Optical Breadboards", *Thorlabs.com*, 2020. [Online]. Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=7325. [Accessed: 23- Nov- 2020].
- [28]"Modulated Laser Diode Modules", *Newport*, 2020. [Online]. Available: <https://www.newport.com/f/laser-diode-modules-modulation>. [Accessed: 23- Nov- 2020].
- [29]"Component Mounts - Thorlabs", *Thorlabs.com*, 2020. [Online]. Available: https://www.thorlabs.com/navigation.cfm?guide_id=2417. [Accessed: 23- Nov- 2020].
- [30]"Adjustable-Height V-Clamp for Optics", *Thorlabs.com*, 2020. [Online]. Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1420. [Accessed: 23- Nov- 2020].
- [31]"Cámara termográfica Fluke Ti450 PRO", *Fluke.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/es-mx/producto/camaras-termicas/ti450-pro#>. [Accessed: 26- Nov- 2020].
- [32] J. Aranda, *CONTROLADOR DE UN HORNO DE REFLUJO DE PRECISIÓN PARA SOLDADURA DE COMPONENTES SMT*. Barcelona: Barcelonatech, 2020, p. 13.
- [33] *Manual del usuario Ti450 pro*, 3rd ed. 2017, pp. 6-8.