



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE BIOFÍSICA**

## **“CARACTERIZACIÓN DE PATRONES DE DIFRACCIÓN ASOCIADOS A FIGURAS POLIGONALES E HIPOCICLOIDES”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

**BIOFÍSICO**

**AUTOR: GIOVANNI ALEXANDER RON PERALTA**

**DIRECTOR: MSc. JOSÉ LUIS BURGOS MORENO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

2020

**© 2020, Giovanni Alexander Ron Peralta**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica de este documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, GIOVANNI ALEXANDER RON PERALTA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están específicamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de agosto del 2020

---

**Giovanni Alexander Ron Peralta**

**CI: 050300734-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE BIOFÍSICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo experimental: “CARACTERIZACIÓN DE PATRONES DE DIFRACCIÓN ASOCIADOS A FIGURAS POLIGONALES E HIPOCICLOIDES” De responsabilidad del señor Giovanni Alexander Ron Peralta, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Richard Pachacama <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	<hr/>	28/08/2020
MSc. Burgos Moreno José Luis <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION</b>	<hr/>	28/08/2020
PhD. Rommel De La Cruz Guerreo Mora <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	<hr/>	28/08/2020

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación primeramente a mi familia, tanto a mis padres que me han apoyado de todas las maneras posibles desde el principio de mi vida estudiantil hasta el día de hoy que estoy a punto de culminar mi formación académica, así también como a mis hermanos que han estado conmigo para apoyarme en todo momento.

A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil y que aportaron con sus conocimientos para poder cumplir una etapa de mi vida.

**GIOVANNI**

## **AGRADECIMIENTO**

El primer agradecimiento es para mis padres que han sido el pilar fundamental en todo el transcurso de mi vida y que, con todo su esfuerzo y trabajo, me han inculcado el valor de la vida y los esfuerzos, así como también sus valores y mi incesable gusto por la ciencia, sobre todo por su apoyo incondicional.

A mis profesores que desde el colegio y universidad han sido excelentes profesionales y personas aportando así gran valor a mi vida estudiantil, al inmiscuirme más en el ámbito científico, así como también la amistad brindada.

Por último, pero no menos importante a Burgos José Luis, Rommel Guerrero y Gaby Ureña que han sido unos excelente profesores y tutores en la parte culminante de mi carrera como Biofísico, así como también orientadores y guías para encaminarme en mi futuro profesional.

**GIOVANNI**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
RESUMEN: .....	xi
SUMMARY:.....	xi
INTRODUCCIÓN: .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes: .....	2
1.2. Planteamiento del problema:.....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo General:.....	4
1.4.2. Objetivos específicos: .....	4
1.5. Marco teórico.....	5
1.5.1. Interferencia: .....	5
1.5.2. Difracción:.....	8
1.5.3. Obstáculos: .....	10
1.5.4. Difracción de Fresnel:.....	11
1.5.5. Difracción de Fraunhofer .....	11

### CAPITULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO:</b> .....	16
<b>2.1.</b>	<b>Montaje experimental</b> .....	16
<b>2.2.</b>	<b>Nivel de abstracción del fenómeno</b> .....	19
<b>2.3.</b>	<b>Relación Metodológica</b> .....	20
<b>2.3.1.</b>	<i>Deductiva:</i> .....	21
<b>2.3.2.</b>	<i>Científica</i> .....	21
<b>2.4.</b>	<b>Medición del fenómeno</b> .....	22
<b>2.5.</b>	<b>Recursos</b> .....	22

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	24
<b>3.1.</b>	<b>Resultados experimentales</b> .....	24
<b>3.1.1.</b>	<i>Patrones de difracción poligonales</i> .....	25
<b>3.1.2.</b>	<i>Patrones de difracción Hipocicloides</i> .....	26
<b>3.2.</b>	<b>Desarrollo numérico</b> .....	27
<b>3.2.1.</b>	<i>Resultados numéricos</i> .....	27
<b>3.3.</b>	<b>Comparación de resultados Experimentales con numéricos</b> .....	29
<b>3.4.</b>	<b>Análisis de resultados</b> .....	37

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3</b>	Distribución de intensidades obtenidas experimentalmente para el caso de las aberturas poligonales como son: a) Triangulo, b) Rombo, c) Pentágono, d) Hexágono, e) Heptágono, f) octágono, g) eneágono y decágono.....	25
<b>Tabla 2-3</b>	Distribución de intensidades obtenidas experimentalmente para el caso de las aberturas Hipocicloides como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados.....	26
<b>Tabla 3-3</b>	Distribución de intensidades obtenidas numéricamente para el caso de las aberturas Poligonales como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados.....	27
<b>Tabla 4-3</b>	Distribución de intensidades obtenidas numéricamente para el caso de las aberturas Hipocicloides como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados.....	28
<b>Tabla 5-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de tres lados poligonal e hipocicloide. ....	29
<b>Tabla 6-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de cuatro lados poligonal e hipocicloide. ....	30
<b>Tabla 7-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de cinco lados poligonal e hipocicloide. ....	31
<b>Tabla 8-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de seis lados poligonal e hipocicloide. ....	32
<b>Tabla 9-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de siete lados poligonal e hipocicloide. ....	33
<b>Tabla 10-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de ocho lados poligonal e hipocicloide. ....	34
<b>Tabla 11-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de nueve lados poligonal e hipocicloide .....	35
<b>Tabla 12-3</b>	Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de diez lados poligonal e hipocicloide. ....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Ondas de agua de dos fuentes puntuales en fase en un tanque de ondas. ....	5
<b>Figura 2-1</b>	Diferencias entre el Campo lejano y campo cercano de dos fuentes puntuales .....	7
<b>Figura 3-1</b>	Difracción con longitud de onda variable .....	9
<b>Figura 4-1</b>	Difracción de Fraunhofer de una sola rendija .....	11
<b>Figura 5-1</b>	Arreglo con lentes para una rendija simple en el extremo de Fraunhofer .....	12
<b>Figura 6-1</b>	Obstáculo con abertura a través del cual pasa un gran número de fuentes hacia una pantalla de observación infinitamente distante .....	14
<b>Figura 7-1</b>	Máximos y mínimos de Fraunhofer por una rendija .....	15
<b>Figura 1-2</b>	Montaje Experimental .....	16
<b>Figura 2-2</b>	Laser de HeNe 633nm utilizado en el montaje experimental .....	17
<b>Figura 3-2</b>	Juego de lentes incluido posterior a la fuente.....	18
<b>Figura 4-2</b>	Ejemplo de obstáculo con abertura Triangular.....	18
<b>Figura 5-2</b>	Rendija de difracción y pantalla opaca .....	19
<b>Figura 6-2</b>	Diseño creado en AutoCAD de las aberturas poligonal e hipocicloide a partir del cual se realizó las aberturas.....	23

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Contrastación de resultados para 3 y 4 lados poligonal e hipocicloide

**Anexo B:** Contrastación de resultados para 5 y 6 lados poligonal e hipocicloide

**Anexo C:** Contrastación de resultados para 7 y 8 lados poligonal e hipocicloide

**Anexo D:** Contrastación de resultados para 9 y 10 lados poligonal e hipocicloide

## RESUMEN:

El presente trabajo tuvo como finalidad obtener de manera experimental patrones de difracción, los cuales se encuentran asociados a figuras poligonales e hipocicloides, para lo cual se consideró como punto de partida la difracción a través de una rendija y consigo los procesos que se encuentran inmersos dentro de ella como es la interferencia. Una vez comprendido estos procesos fenomenológicos que ocurren en la difracción se procede al montaje e implementación experimental, en el laboratorio de óptica, con la finalidad de replicar el fenómeno de estudio tomando en cuenta ciertas consideraciones como la región de *Fraunhofer* entre otras. Creado el montaje experimental más óptimo, con instrumentos del laboratorio de óptica, se procede a realizar pruebas con rendijas que presentan pequeñas aberturas de forma poligonal e hipocicloide como por ejemplo el triángulo y el astroide respectivamente, obteniendo como resultado el patrón de difracción que se asocia a dichas figuras, este trabajo es registrado a través de la captura de imágenes las cuales se simulan con una herramienta computacional con la finalidad de comparan y se analizan en base a un modelo matemático. Se concluye que los patrones de difracción son asociados a cada una de las figuras en específico y han sido muy asemejados a los resultados de bibliografía. Se puede recomendar la realización de una mejoría en la calidad de los resultados con implementación de distintos equipos y o materiales.

**Palabras clave:** <FÍSICA ÓPTICA>, <DIFRACCIÓN>, <INTERFERENCIA>, <POLÍGONOS>, <HIPOCICLOIDE>, <LASER DE HELIO NEÓN>, <RENDIJA>



0342-DBRAI-UPT-2020

## **ABSTRACT:**

The purpose of the current research was to obtain diffraction patterns in an experimental way, these are associated to polygonal and hypocycloid shapes, so it was necessary to consider the diffraction through a slit as starting point as well as the processes included, like interference. Once these phenomenological processes happening during diffraction were understood, the mounting and experimental implementation processes were carried out at the optics laboratory in order to replicate the study phenomenon taking into account some considerations like Fraunhofer region among others. Once the optimal experimental mounting process was carried out with the use of instruments from the optics laboratory, it was necessary to carry out slit tests that show small polygonal and hypocycloid openings such as the triangle and the asteroid respectively, resulting in the diffraction pattern associated to this shapes, this is registered through image captures which are simulated with a computing tool in order to carry out a comparison as well as an analysis based on a mathematical model. It is concluded that diffraction patterns are associated to each one of the shapes and have been resembled to the results of the bibliography. It is recommended to improve the quality of the results with the implementation of different equipment and materials.

**Key words:** <Optical physics>, <Diffraction>, <Interference>, <polygons>, <Hypocycloid>, <Helium neon laser>, <Slit>.

## INTRODUCCIÓN:

Existen varios fenómenos asociados al comportamiento de la luz que aún se estudian y que pueden ser divididos en 4 como es la refracción, la reflexión, la interferencia y la difracción, siendo este último el enfoque principal de este trabajo.

La difracción se describe cuando una barrera con una abertura interfiere con una onda, la abertura con dimensiones similares a la longitud de onda, que al momento de pasar a través de la abertura se difractará, hacia una región más allá de la barrera (Mcleod 2002, p. 1081), siendo este un proceso que brinda información acerca de dicha barrera y su abertura. Existen dos variaciones del estudio, como son la difracción de *Fresnel* y la difracción de *Fraunhofer* (Circus 2008, p. 345), estas dos variaciones acerca del estudio de difracción portan una diferencia breve principal, ya que, describe a la una con un montaje de campo lejano y la otra de campo cercano respectivamente (De Gante González 2014, p. 3). Éste trabajo se practicará preferencialmente en la región de Fraunhofer es decir con condiciones de campo Lejano, en el cual se aplicará un tipo específico de rendijas con aberturas para la obtención del patrón de difracción, dichas aberturas tendrán formas de figuras poligonales e hipocicloides.

Posteriormente se procede a la manipulación de herramientas computacionales para la obtención numérica de resultados, los que nos van a servir para una comparación con los resultados experimentales, lo cual ayuda a la corroboración e identificación de los correctos patrones de difracción y permite brindar un análisis un poco más detallado de lo que sucede con el fenómeno en las condiciones ya mencionadas.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes:

Cuando existe un cuerpo opaco a la mitad de la trayectoria de una fuente puntual y una pantalla, este proyecta una imagen poco usual a lo que se esperaría obtener en *Óptica Geométrica* (Hecht 2017, p. 449), dando como resultado una sombra de bandas brillantes y opacas. Este fenómeno denominado difracción fue estudiado por primera vez por *Francisco Grimaldi siglo XII*, es causante de una distribución particular de densidad y energía que depende de la forma del cuerpo opaco como mostró (Zárate 2011, p. 145) en su trabajo al probar que la distribución de densidad y energía es propia de cada abertura. La mayoría de trabajos muestran que pueden basarse en dos ámbitos de la difracción, que son la de campo lejano o la de campo cercano, como en el caso de (Dainty 2010, p. 678) que mostro el resultado de incidir una fuente en objetos planos con aberturas de ciertas figuras los cuales se colocaron de manera perpendicular a la fuente con una ligera inclinación, aportando información del plano de difracción lejano para técnicas ópticas como en análisis espectrales o metrológicos, que dan a conocer información de objetos; Así como el estudio en el campo cercano para obstáculos con figuras elípticas el cual tiene la característica particular de que los bordes de estas figuras elípticas presentan uniformidades aleatorias, aportando con este estudio en la conformación de láseres, siendo estos bordes aleatorios los causantes de que el efecto de difracción disminuya uniformemente (Cui et al. 2015, p. 2). En ambos casos de difracción mencionados existe un gran número de trabajos, sin embargo, se realiza el estudio sobre la región de campo lejano para poder constatar datos teóricos tomados de un trabajo acerca de los patrones de difracción que se encuentran relacionados a aberturas poligonales e hipocicloides (De Gante González 2014, p. 10) y poder continuar con dicha investigación apoyado de otros trabajos en los que también tratan a cerca de difracción más en figuras poligonales (Montilla 2018, p. 27) que hipocicloides.

## 1.2. Planteamiento del problema:

Se propone, diseñar un montaje experimental el cual contendrá un láser de luz Helio-Neón de  $\lambda=633\text{nm}$  que generalmente lo destacan en algunas bibliografías como el más funcional para este tipo de experimentos (con más o menos 1 o 2 nm de diferencia), esta fuente laser mencionada incidirá directamente a través de un arreglo de lentes el cual consta de un lente expansor que ayudara a amplificar el tamaño del láser, a continuación, se colocara un lente cóncavo y un convexo para que la amplificación que se produce con el lente expansor pueda ser controlada a beneficio del montaje, cada uno de estos lentes serán colocados a su distancia focal el uno del otro; Esto ayuda a proporcionar un mejor enfoque del haz en su trayectoria es decir con mayor coherencia(en una misma dirección) evitando destellos.

Posterior a este arreglo se colocará el obstáculo que interferirá directamente con el frente de onda de la fuente de Helio-Neón, el obstáculo deberá estar a una distancia razonable de los lentes y de la fuente por que se estudiara en la región de *Fraunhofer*, se ha considerado varios posibles materiales laminados del que puede estar hecho la pieza con abertura como el aluminio, el acero o la baquelita (Zárate 2011, p. 34), e incluso el material que usan en las impresoras 3D, las aberturas de esta pieza poseerá forma de un polígono; Se tiene planeado hacer varias piezas desde el polígono de 3 lados hasta el de 10 lados, diciendo que las condiciones sean favorables, caso contrario solo se optará hasta el número de lados que brinde un patrón de difracción aceptable.

Después del obstáculo en el mismo sentido del haz a una distancia razonable, considerando nuevamente la región de *Fraunhofer*, se colocara una superficie de observación al cual llegara el frente de onda que habrá sido difractado al haber pasado por la abertura y recorrido cierta trayectoria, superficie que ofrecerá una visualización completa del patrón de difracción al que está asociado dicha abertura, y así poder capturar imágenes de dicho patrón; Para poder observar (el patrón de difracción) con mejor definición posible las condiciones del lugar en el que se pone en marcha el montaje deben ser casi en su totalidad un lugar oscuro.

Posterior a este proceso se pretende aplicar el mismo procedimiento en el montaje experimental, pero con la consideración de que ahora en lugar de una abertura con forma de polígono regular se colocaran obstáculos que presenten aberturas con forma de figuras Hipocicloides. De estos resultados se espera obtener cierta cantidad de datos experimentales que serán comparados con datos de la teoría, serán analizados y posterior a ello se propondrá una expresión matemática que describa el comportamiento de este proceso de difracción a través de las aberturas con las formas ya mencionadas.

### **1.3. Justificación**

La importancia fundamental de este estudio radica en que existe un gran número de aplicaciones para la práctica de este fenómeno que es la difracción. Siendo un fenómeno físico que ocurre con regularidad en nuestro entorno y que la ciencia ha logrado describir, los trabajos en este campo han dado más información acerca del comportamiento de la luz (McLeod 2002, p. 1082), permitiendo así utilizar los resultados de esta información en beneficio del desarrollo. Ahora bien, la difracción que ocurre cuando un haz de luz emitido por una fuente choca con un obstáculo o atraviesa una abertura (similar a la de la longitud de onda del haz), provoca un efecto físico como resultado, este resultado sirve en principio para proporcionar características relacionadas a las propiedades del obstáculo que interfiere con el haz y el comportamiento final del haz como resultado de la interacción (Eugene Hetch 2002, p. 443); Algunas características a breves rasgos pueden ser la amplitud, la intensidad el número de franjas y la disposición en la que se presenta el patrón de difracción, generalmente cada obstáculo o abertura presenta un patrón de difracción característico. Todo esto sirve como apoyo para poder llegar a describir la composición atómica o molecular de un objeto, para elaboración de procesos físico-químicos, se aplica a procesos como la cristalografía de Rayos X, en procesos de difracción de electrones o de neutrones, en la obtención de huellas espectrales características de un elemento, en la creación de interferómetros de difracción.

Por tales razones se considera necesario abordar el tema con un estudio como el que se pretende presentar en este trabajo.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo General:***

Obtener patrones de difracción de tipo Fraunhofer, mediante aberturas de tipo poligonales e hipocicloides.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos:***

Realizar el montaje experimental con los equipos del laboratorio de óptica para la obtención de los patrones de difracción

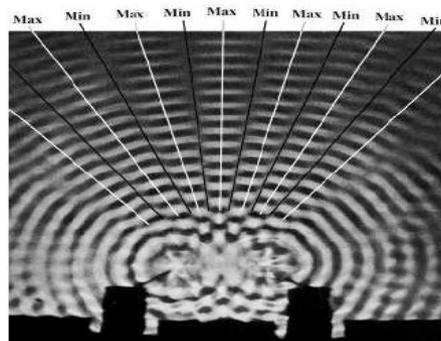
Analizar en base a un modelo matemático los patrones de difracción asociados a las figuras poligonales e hipocicloides.

Simular los datos analizados con herramientas computacionales tal como Maple18® para comparación de datos experimentales y teóricos a través de métodos numéricos.

## 1.5. Marco teórico

### 1.5.1. Interferencia:

Se conoce que dos objetos no puede ocupar el mismo lugar al mismo tiempo, pero teniendo en cuenta que las ondas mecánicas no son materia y son solo desplazamientos de materia que llevan energía(Hecht 2017, p. 390), ya que una ecuación parcial, lineal y homogénea de segundo orden es prácticamente la descripción de las perturbaciones ópticas, se dice que estas ondas pueden ocupar el mismo espacio y combinarse puesto que obedece el principio de superposición; La interferencia ocurre con la interacción de dos o más ondas secundarios que se juntan para posteriormente interferir entre ellas, estas ondas secundarias se pueden obtener de varias formas, siendo dos de las más estudiadas: la división del frente de onda (donde las ondas primaria solas o con dispositivos ópticos son usadas como fuentes directas de ondas secundarias para combinarse) y la división de la amplitud (donde se divide la onda primaria en dos partes y estas partes recorren diferentes trayectorias antes de combinarse)(Hecht 2017, p. 392). Al momento de juntarse provocan una irradiancia resultante que se desvía de la suma de la irradiancia individual de cada onda de luz, es decir, interfieren entre ellas y las regiones donde las ondas intersecan producen un resultado completamente nuevo que no se asemeja a ninguna onda secundaria por individual. Esto se puede observar de manera practica en las ondas del Agua que se producen al dejar caer dos o más objetos en ella



**Figura 1-1** Ondas de agua de dos fuentes puntuales en fase en un tanque de ondas.

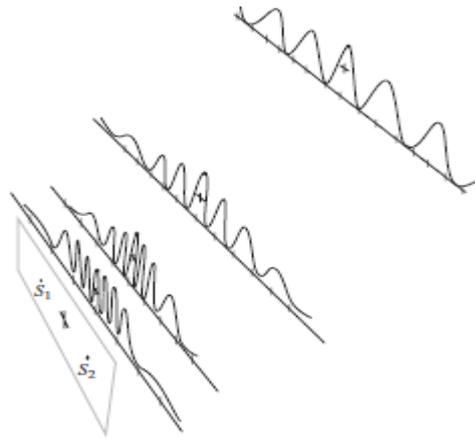
Fuente:(Hecht 2017)

Pero este acontecimiento no es particular del agua también ocurre en las ondas del sonido y las ondas de la luz (estas últimas a las que nos referiremos todo el tiempo) (Hecht 2017, p. 392); Hay que tener en

cuenta que la luz está formada por un campo eléctrico y magnético, esto nos permite considerarlo como un fenómeno vectorial en primeras instancias para poder comprender intuitivamente la interferencia, debido a que varían muy rápidamente las perturbaciones ópticas en el tiempo, es poco práctico detectar la cantidad en el campo real (Hecht 2017, p. 391), esta es la razón por la cual se considera a la Irradiancia el mejor punto de partida para abordar la Interferencia ya que esta cantidad es más fácil medirla en el campo real con una considerable variedad de dispositivos. La interferencia puede encontrarse en varios estados ya que puede ser constructiva, destructiva, totalmente constructiva o totalmente destructiva, esto se debe a que el resultado de la suma de las irradiancias de cada onda cuando se superponen puede tener valores menores, iguales o mayores.

Ahora se puede describir cada una de las interferencias mencionadas y ocurre cuando dos ondas se encuentran superponiéndose una con otra produciendo una irradiación que si llega a ser doble de la suma de las dos irradiancias (es decir llega su máximo) esta se denominaría como totalmente constructiva y sus perturbaciones se encuentran en fase, ahora bien cuando el valor de la sumatoria de sus irradiancias sigue siendo mayor a cero pero menor a su máximo se dice que las ondas están fuera de fase y tiene como resultado una interferencia constructiva, ahora bien cuando existe un desfase de  $90^\circ$  entre las ondas se produce una irradiancia mínima dando como resultado una interferencia destructiva y finalmente cuando existe una diferencia de fase de  $180^\circ$  tenemos la interferencia totalmente destructiva. Después de ocurrido este suceso las ondas continúan con su trayectoria con una particularidad, es decir, cada onda conserva las características con las que se presentaban antes de interferir, escrito de otra manera, el particular momento en que interfieren las ondas es el único en que se modifica mientras tanto los momentos anterior y posterior a la interferencia cada onda por individual continua su trayecto siendo la misma de un inicio.

Para percibir este efecto al colocar una pantalla distante de visualización perpendicularmente a las fuentes de emisión en la región de interferencia, se puede apreciar ciertas zonas oscuras y claras a manera de franjas bien alineadas, denominado como patrón de interferencia, este a su vez presenta ligeros cambios de acuerdo al campo sobre el cual se trabaja como se muestra en la imagen



**Figura 2-1** Diferencias entre el Campo lejano  
y campo cercano de dos fuentes puntuales

Fuente:(Hecht 2017)

Ya que el análisis se lo puede observar a una distancia sustancial, mientras más se aleja la pantalla de visualización se puede considerar a las ondas como planas que inicialmente eran esféricas, siendo este el dominio del campo lejano; En este campo la amplitud disminuye con la distancia que la onda recorre y mientras más se aleja la pantalla la diferencia de la distancia que recorre cada onda no tiene efecto alguno sobre las amplitudes de cada onda, por tal razón quien determinar el patrón en el campo lejano es únicamente la fase relativa de las dos ondas(Hecht 2017, p. 394)

A diferencia de campo lejano, en el dominio del campo cercano la pantalla de visualización resulta estar más cerca de las fuentes de Ondas, con una diferencia en su Angulo de fase y también en la amplitud, uno puede llegar a un punto arbitrario muy apreciable, ya que en este dominio si existe afecciones notorias con la distancia que recorre cada onda sobre las amplitudes formando un patrón de interferencia más complicado y definido y a su vez su tratamiento también se vuelve más complejo, observándose la diferencia significativa(en la imagen anterior) entre el campo lejano el campo cercano.

Existen ciertas circunstancias que se deben cumplir para que ocurra la interferencia, entre ellas se puede describir; Las ondas deben tener casi la misma frecuencia para poder producir un patrón de interferencia estable caso contrario podría producir una diferencia de fase que causaría que la irradiancia tienda a cero en la pantalla de visualización, sin embargo en el caso de tener dos fuentes de luz blanca cada color de su gama interferiría con su similar, es decir roja con roja y verde con verde. Con un gran número de patrones monocromáticos que interfieren y están desplazados, pero no tanto, también se produce un patrón de luz blanca que no será muy nítida, pero será posible

diferenciar el patrón. Para producir patrones muy nítidos es necesario que las posean la misma amplitud o casi la misma provocando que la interferencia en sus máximos tanto oscuros como claros sea completamente destructiva o completamente constructiva. Para obtener un patrón, no necesariamente se requiere que las fuentes de las ondas estén en fase siempre y cuando sean constantes.

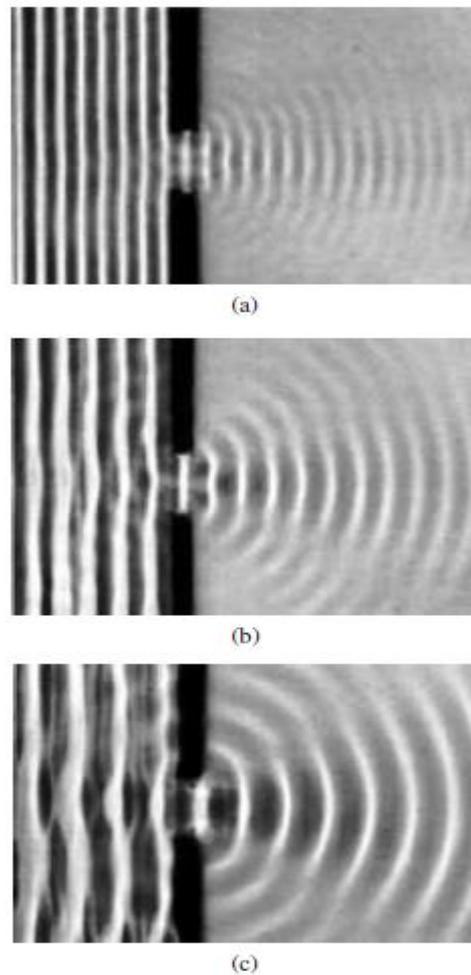
### **1.5.2. Difracción:**

Es el resultado de una sombra intrincada la cual viene siendo producto de la interacción de una fuente que es obstruida a mitad de su trayectoria por un objeto opaco, que no tendría relación alguna a lo que uno esperaría desde la perspectiva de la Óptica Geométrica. Esta característica particular se debe a que en el proceso están ocurriendo fenómenos de onda característicos de la interacción de un frente de onda que es obstruido de algún modo, alterando la amplitud o la fase de dicho frente de onda, causando así el fenómeno de difracción. Como resultado de este hecho, se producen varios segmentos del frente de onda los cuales a cierta distancia alejada del obstáculo interfieren entre sí (esto es visible en una pantalla de observación) dando lugar a lo que se conoce como patrón de difracción, donde se observa una distribución de densidad y energía.(Hecht 2017, p. 449)

Este tema podría abordarse desde la *Teoría Electrodinámica Cuántica* que por el momento es la teoría más poderosa de la luz, pero, sin embargo, no se aborda ese tema y preferentemente se procederá desde un análisis más clásico con la finalidad de evitar complicaciones.

Podemos partir desde la premisa de *Huygens Fresnel* la cual describe a la onda primaria que pasa por una abertura, como la fuente principal de ondas esféricas secundarias pequeñas, que en el transcurso de viajar más allá de la pantalla interferían combinándose entre sí. El resultado de esta interferencia podrá ser constructiva y generalmente se suele limitarse a la pequeña porción que se encuentra extendiéndose justo frente a la abertura, de la misma manera puede causar una interferencia destructiva causando regiones oscuras o sombras. Estos dos resultados clásicamente vienen descritos principalmente por la diferencia de la *Longitud del campo óptico OPL*(por sus siglas en inglés)(Hecht 2017, p. 450), que no es si no, la variación de la distancia que recorren las ondas secundarias desde los puntos diferentes de la abertura hacia un punto en común a cierta distancia, dicha variación puede ser como resultado menor o igual a la distancia de la abertura y se denomina como la diferencia máxima del OPL mencionado, como no existirá distancia mayor que el de la abertura, ésta ahora depende de la longitud de onda del frente de onda que incide en la abertura y del tamaño de la abertura. En términos físicos el suceso de respuesta se deduce de la siguiente manera: mientras más grande sea la longitud de onda con respecto a la abertura del obstáculo esta tenderá a extenderse en grandes ángulos a unas distancias considerables más allá del obstáculo y mientras más

pequeña sea la abertura en comparación con la longitud de onda estas ondas que se difractan tienden a volverse más circulares. Como se puede observar a continuación:



**Figura 3-1** Difracción con longitud de onda variable

Fuente:(Hecht 2017)

Se podría decir que la difracción de la luz se encuentra muy ligada a la interferencia y estos dos se encuentran en el corazón del proceso(Hecht 2017, p. 451).

Sin embargo, el principio de *Huygens Fresnel* sigue estando un poco incompleto, a este hecho se desarrolló una teoría con mayor rigor por el Físico Alemán *Gustav Kirchhoff*, quien empleando la teoría solido-elástica de la luz y partiendo directamente de la *Ecuación de onda* dio una solución de mayor precisión al principio de *Kirchoff*. Dando así crédito a todos los supuestos de Fresnel y siendo una aproximación valida cuando se habla de longitudes de onda pequeñas sobre aberturas relativamente grandes en comparación(Hecht 2017, p. 452). Sin embargo, siendo uno de los casos más

problemáticos en óptica, el hecho de obtener la solución exacta de difracción para una configuración específica de una ecuación diferencial que presenta condiciones de borde que se deben a la obstrucción, la teoría de *Kirchhoff* funciona bastante bien a pesar de que trata solo de ondas escalares y no presenta sensibilidad alguna al hecho de que la luz es un campo vectorial transversal.

### **1.5.3. Obstáculos:**

Para la difracción se puede considerar una interacción de ondas electromagnéticas con una obstrucción, con la finalidad de estudiar los procesos físicos que pueden llegar a suceder en el objeto de obstrucción. A primera instancia se puede describir un medio continuo, si se consideran las ecuaciones de *Maxwell* para una lámina no absorbente (como el metal) y a su vez también las de un medio circundante tranquilamente se pueden en sus límites unir ambas, dando como resultado la distribución dentro de la lámina de la cual se originan las ondas que se reflejan y se difractan (Hecht 2017, p. 454).

Con el modelo clásico que habla de electrones que oscilan al vibrar y reemiten en la misma frecuencia de la fuente, uno puede suponer a una escala submicroscópica y considerar los átomos con una nube de electrones que se encuentran vibrando a causa de la radiación que incide en ellos, este modelo clásico funciona muy bien y evita que ahondemos en la mecánica cuántica (Hecht 2017, p. 455).

Una obstrucción opaca iluminada que no presente algún tipo de abertura (de papel negro, aluminio u otro) como es obvio no brindara campo óptico más allá de la obstrucción, ya que la amplitud y fase dentro de la obstrucción dependen en particular del campo eléctrico que lo rodea, siendo una superposición de los campos que inciden con los campos de los electrones vibrantes, entonces los electrones vibrantes que se encuentran iluminados en la superficie se dirigen a la oscilación produciendo energía radiante que se refleja hacia atrás o es absorbida por el material. Cualquiera que fuera el caso la onda que incide se superpone con los campos osciladores de los electrones de la obstrucción de cierta forma que más allá de la obstrucción la luz que llega es totalmente cero. Al momento de crear una abertura en el obstáculo, los osciladores en este lugar ya no existirían dejando de afectar a los demás electrones que restan en el obstáculo y tampoco afecta esta abertura sobre los electrones restantes en la obstrucción, teniendo más allá del obstáculo un campo de observación el cual será el mismo que existía antes de hacer la abertura. Con la posibilidad de considerar en la abertura imaginariamente constituida solo de osciladores no interactivo que se distribuyen con uniformidad, obteniendo con esto el corazón del principio de *Huygens Fresnel*.

#### 1.5.4. *Difracción de Fresnel:*

Ocurre con circunstancias en las cuales al iluminar la obstrucción (con abertura) con una fuente puntual muy distante, colocando una pantalla de observación muy cercana a la obstrucción, se proyecta una imagen procedente de la abertura que se reconoce con facilidad aun que presente pequeños bordes en su contorno. Si la pantalla de observación se aleja más entonces la imagen se va estructurando más a causa de la prominencia de las franjas que aumenta, a este efecto se le conoce como Difracción de Fresnel o de campo cercano(Hecht 2017, p. 470). Si se aleja mucho más aun la pantalla de observación la imagen proyectada entonces cambia y el patrón se extiende perdiendo parcial o totalmente la semejanza con la abertura real, esto se conoce como la Difracción de Fraunhofer o campo lejano, que será explicado de mejor manera posteriormente, sin embargo, si en este punto se disminuye la longitud de onda lo suficiente, la imagen proyectada vuelve a estar en el caso de *Fresnel* y si llegara a disminuir aún más es decir cercano a cero el resultado que se obtendría sería una forma limitada de la abertura sin franjas como la Óptica Geométrica anuncia.

En el caso de que la fuente se acercara más al obstáculo se observaría un patrón de Fresnel incluso en el plano distante como resultado, esto es debido a las ondas esféricas que afectan la abertura, es decir, en cuanto la fuente o el punto de observación o ambos, se encuentre cerca de la obstrucción con abertura de manera que la curvatura de los frentes de onda (entrantes y salientes) sea insignificante se mantendrá dominante la difracción de *Fresnel*(Hecht 2017, p. 471).

#### 1.5.5. *Difracción de Fraunhofer*

Hay que considerar la simplicidad inherente que conlleva el estudio de la difracción de Fraunhofer, teniendo en cuenta el arreglo imaginario que se presentó en la *difracción de Fresnel*, se mueve el plano de observación aún más allá de lo considerado en *Fresnel*, esto causa que la abertura proyecte un patrón que produce un cambio el cual es continuo en las franjas ya que en estas instancias el patrón se habrá extendido considerablemente y es muy probable que no guarde mucho parecido o semejanza a la abertura del obstáculo, obteniendo así la *difracción de campo lejano o Fraunhofer*(Hecht 2017, p. 458).

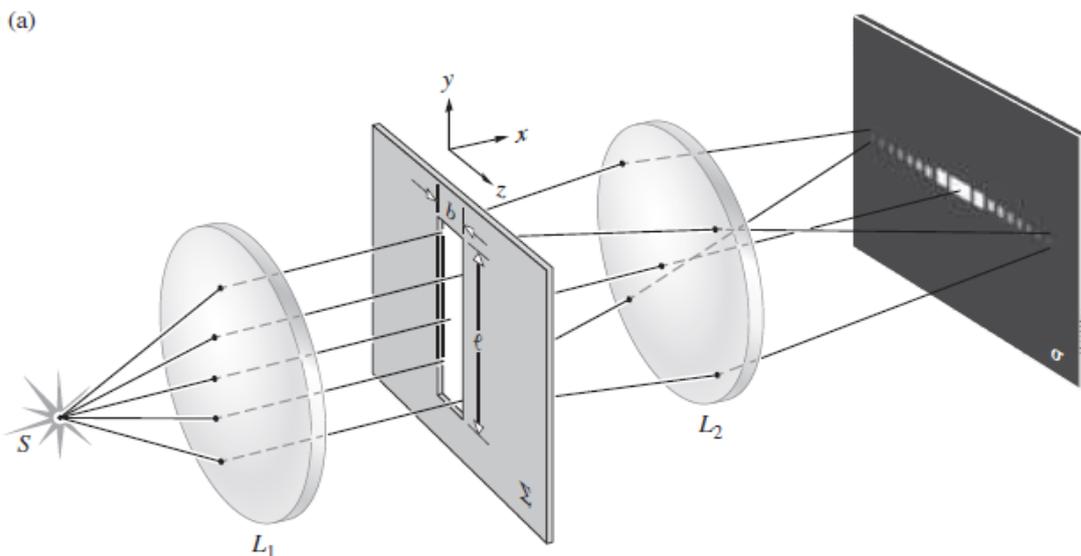


**Figura 4-1** Difracción de Fraunhofer de una sola rendija

Fuente:(Hecht 2017)

Si consideramos una fuente y un punto de observación muy distantes de la obstrucción sin lentes algunos, siempre y cuando al entrar y al salir de la abertura la onda sea plana o lo más cercana posible, sus diferencias de ruta pueden describirse mediante una función lineal uniendo las variables del momento que entra con el momento que sale de la abertura, siendo la linealidad de las variables en la abertura el criterio matemático definitivo de la *difracción de Fraunhofer*, de manera ideal si se aleja el punto de observación al “infinito” las ondas ahí serán planas y causaran menos preocupaciones al hablar de la diferencia en la intensidad del campo lo que aporta una simplicidad en el caso límite de *Fraunhofer*(Hecht 2017, p. 458).

Para poder obtener el campo de *Fraunhofer* la obstrucción debe delimitar los bordes del haz por completo con la forma de la abertura, formando el pico central que puede considerarse como constante, por lo demás, al obtener el patrón de Fraunhofer este se activa a medida que la pantalla se aleja de la obstrucción con abertura(Hecht 2017, p. 458). También se puede considerar la fuente y la pantalla de observación a una distancia infinita, con el siguiente arreglo de lentes, para esto debemos considerar una fuente que tiene una lente en su plano focal lo que proporciona ondas planas, posterior a ellas se encuentra la abertura con una lente en su plano focal



**Figura 5-1** Arreglo con lentes para una rendija simple en el extremo de Fraunhofer

Fuente:(Hecht 2017)

Donde  $S$  es la Fuente puntual,  $L_1$  es un lente y su foco principal esta en dirección de la fuente,  $\Sigma$  es el obstáculo que presenta una abertura de ancho  $b$  y altura  $e$ ,  $L_2$  es el segundo lente y con el plano de observación colocado en el segundo plano focal de esta última lente, esto permite generalizarlo a cualquier sistema de lentes que pueda formar una imagen de una fuente o de un objeto extendido(Hecht 2017, p. 439). Donde la intensidad para una rendija viene dada por:

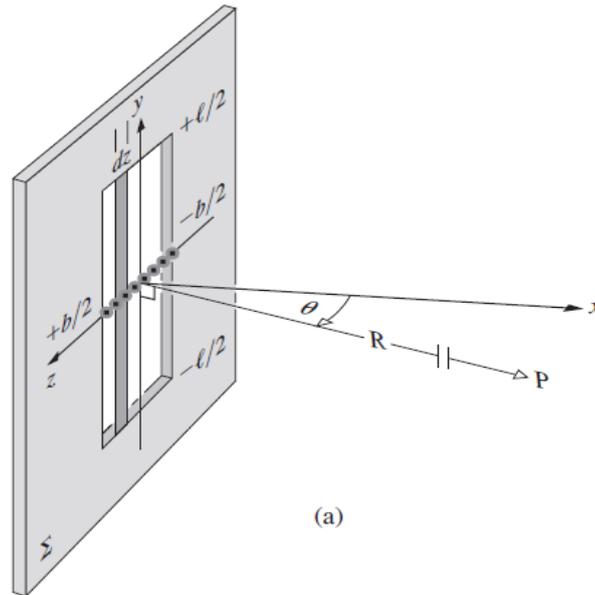
$$I(\theta) = I(0) \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad (1)$$

Y para:

$$\beta = (kb/2) \sin \theta \quad (2)$$

Donde  $k=$  es el vector de Onda. Las *Condiciones de Fraunhofer* expresan que si las variables de la abertura son mucho mayores que la longitud de onda  $\lambda$ , la irradiancia cae abruptamente mientras se aleja del centro, esto se debe a que las variables de la abertura se tornan muy grandes para grandes valores de la longitud total la abertura, esto sería equivalente tanto para una fuente puntual en el centro de la abertura como para una fuente coherente en línea (Hecht 2017, p. 440). Sin embargo, con esta última cuando la longitud total de la abertura es mucho mayor que  $\lambda$ , se muestra como un punto que se irradia predominantemente hacia delante análogo a una onda circular, ahora entonces, cuando la longitud total de la abertura es mucho menor que el  $\lambda$  la irradiancia entonces se abre de manera constante en cualquier dirección del ángulo con el que se propague cuando que se parezca a una fuente puntual de ondas esféricas (Hecht 2017, p. 440).

Con estos conceptos uno puede estudiar la *difracción de Fraunhofer* provocada por una abertura rectangular en la que se puede encontrar un numero grande de  $\lambda$  para pocos centímetros de abertura, lo que procede es dividir esta abertura en diminutas bandas verticales, estas funcionan como una fuente larga y coherente la cual fácilmente podría remplazarse por un emisor puntual que irradian una onda circular en su eje (Hecht 2017, p. 459). Esto provoca que los frentes de onda se fusionen siendo que la abertura es larga y en esa dirección estos frentes de onda no se encuentran obstruidos y paralelamente a sus bordes no se hallara mucha difracción, lo que nos con lleva en primera instancia a encontrar el campo que se establece por un numero infinito de fuentes puntuales que se extienden a lo ancho y largo, es decir, a lo ancho de la abertura y a lo largo del eje z, considerando la disposición espacial que se muestra a continuación



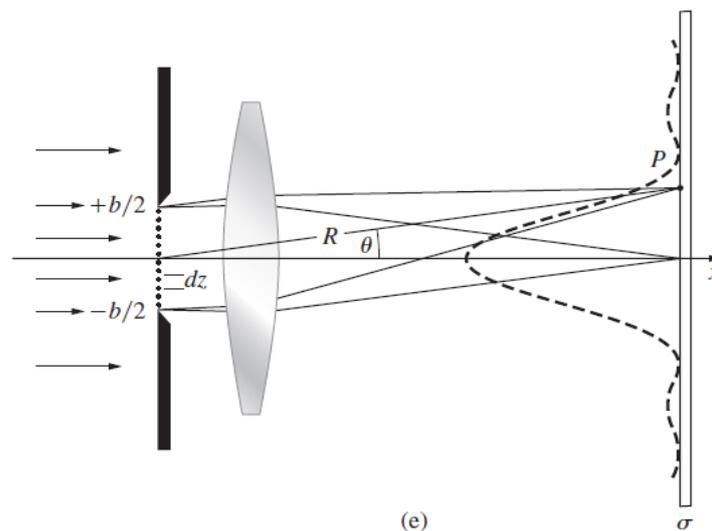
**Figura 6-1** Obstáculo con abertura a través del cual pasa un gran número de fuentes hacia una pantalla de observación infinitamente distante

Fuente:(Hecht 2017)

Siendo  $\theta$  el ángulo con el que se abre el frente de onda. Hay que considerar que la longitud total de la abertura es corta y esta es igual a  $b$  por ende las variables de la abertura son bajas, esto permitirá la observación de máximos de orden superior que sirven de apoyo a los extremos de los mínimos adyacentes, aun cuando disminuye la irradiancia apresuradamente(Hecht 2017, p. 460). Esto se puede visualizar con mayor apreciabilidad cuando existe una crecida cantidad de ondas electromagnéticas planas homogéneas monocromáticas que pasan a través de una abertura, esta emite ondas secundarias de *Huygens* todas con una amplitud, fase y longitud de onda iguales, hacia delante se propaga una onda neta que generalmente constituye un haz no difractado, esto dentro de la *Difracción de Fraunhofer* para algún tipo de abertura similar a esta siempre presentara un haz central como el mencionado. Teniendo una pantalla de observación ubicada muy distante o a su vez una lente positiva cerca de la abertura como en la Ilustración , se generara siempre un haz en el centro de la pantalla de todas las ondas secundarias que llegan ahí en fase e interfieren constructivamente, ya que todas viajan a la misma *longitud de camino óptico OPL*(Hecht 2017, p. 460) como se verá en la Ilustración 1-.

Siendo que surge luz en todas las direcciones desde la ranura en adelante, existirá ahora una diferencia en el OPL que se verá reflejada en la pantalla de observación, siendo esta diferencia dependiente del ángulo  $\theta$  con el que se propaga el haz desde el eje central. Esto puede dejarlas

siguientes conclusiones; Si el ancho de la abertura  $b$  es del mismo tamaño que la longitud de onda  $\lambda$  las ondas que se encuentran en el centro de la abertura llegaran a la pantalla y tanto para la parte superior e inferior de la rendija las ondas que viajen se cancelaran, dando un campo eléctrico de valor cero y como el campo eléctrico elevado al cuadrado produce irradiancia, esto se puede connotar que no habrá luz en esos puntos y que en esos primeros mínimos la irradiancia se redujo a cero (Hecht 2017, p. 460). Así mientras el ángulo aumente más volverá aparecer una amplitud neta del campo eléctrico no tan grande, pero aumentara así la irradiancia y creara nuevamente un máximo como se muestra a continuación



**Figura 7-1** Máximos y mínimos de Fraunhofer por una rendija

Fuente: (Hecht 2017)

En donde podemos con una ecuación describir el campo de intensidad que se encuentra representado en la imagen anterior sobre la pantalla de observación formando una curva muy parecida a una gaussiana

$$I = I_0 \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} \quad (3)$$

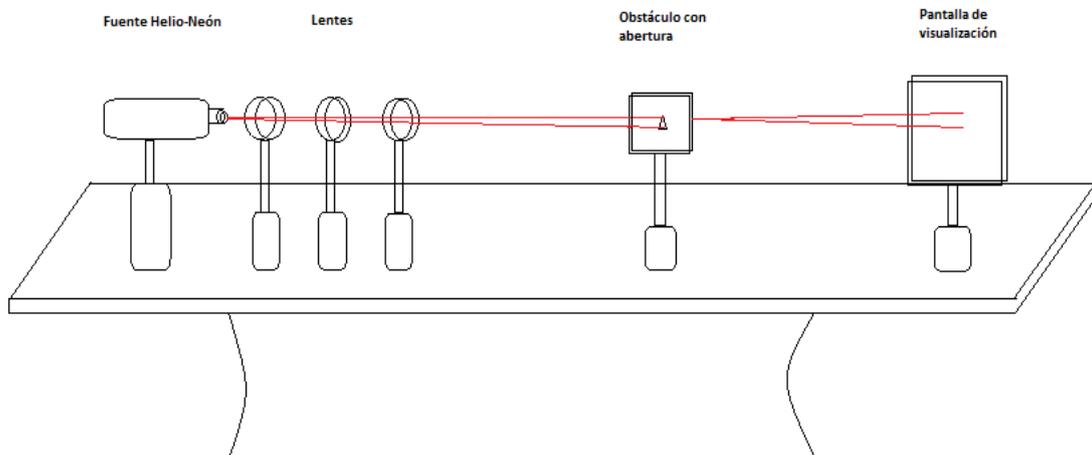
Donde  $N$  = al número de rendijas,  $\delta = \frac{k2\pi}{\lambda}$  la diferencia de faz,  $k$  = vector de onda,  $I_0$  = intensidad máxima, siendo así posible calcular la distribución de cualquier onda si se lleva al cuadrado.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO:

#### 2.1. Montaje experimental

A partir de las definiciones mencionadas anteriormente, como se trabaja en el área de la difracción hay que escoger entre los dos conceptos principales ya planteados. Es decir, por un lado, podríamos elegir la *Difracción de Fresnel*, pero debido a su definición como tal ésta no nos permite hacer uso de ella, sin embargo, se toma el concepto de la *Difracción de Fraunhofer* ya que su definición inmersa nos permite aplicar el uso de equipos para poder llevar acabo los objetivos planteados dentro del área que nos permite laboratorio.



**Figura 1-2** Montaje Experimental

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Inmersos en la *Difracción de Fraunhofer* existen dos alternativas que nos brinda: La primera opción es el esquema principal en el que se fundamenta aquel fenómeno y ocurre separando a grandes distancias la fuente de ondas y la pantalla de observación con respecto al obstáculo que interfiere en su trayectoria por la necesidad de que las ondas sean planas. La segunda opción nos permite replicar el mismo fenómeno con la particularidad que es la más característica de *Fraunhofer* y es el uso de lentes(Hecht 2017, p. 459) posterior a la fuente y al obstáculo. Para nuestros fines se ha considerado

optima la segunda opción que se aplica debido a la gran simplificación de espacio que brinda para el diseño experimental.

Se ha considerado un tipo de fuente particular con el cual se trabaja ya que varía de acuerdo a las referencias como en (De Gante González 2014, p. 31) que utiliza una fuente de HeNe de 632nm o como en el caso de (García-Sucerquia et al. 2001, p. 16) que utiliza una fuente de HeNe de 632.8nm entre otras que están en torno a estos valores, sin embargo, la mayoría de referencias recomiendan sea una fuente de HeNe, por tal motivo se utiliza una fuente de HeNe de 633nm que es la que más se asemeja a la mayoría en cuanto a su longitud de onda.



**Figura 2-1** Laser de HeNe 633nm utilizado en el experimental

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Posterior a la toma del Laser viene la amplificación del diámetro del haz y su respectiva colimación que por supuesto se realizó con un juego de lentes que consta de un lente expansor que como su nombre lo dice ayuda a amplificar el diámetro del haz incidente ya que la fuente emite un haz extremadamente fino, a continuación al expansor se utiliza el arreglo de lentes tomado de (Narag y Hermosa 2018, p. 3) que presenta a manera de dos lentes uno convexo de  $+50f$  y un cóncavo de  $-50f$  los cuales cumplen la función de colimar el haz haciendo que se disperse en Angulo recto a medida que avanza hacia la abertura como se muestra a continuación.



**Figura 3-2** Juego de lentes incluido posterior a la fuente

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Cada lente se encuentra colocada sobre el plano focal anterior una respecto a la otra y todas respecto a la fuente del haz (De Gante González 2014, p. 31). Sin embargo, cabe destacar que también se puede utilizar una lente de microscopio X10 como lo menciona (De Gante González 2014, p. 31) pero se requiere mayor distancia de la fuente a la pantalla de observación con el obstáculo de por medio, ya que empieza a mostrar un patrón de *Fresnel* si se mantienen la distancia original lo que quiere decir que la longitud de onda ha disminuido, tal cual se mostró en la teoría.

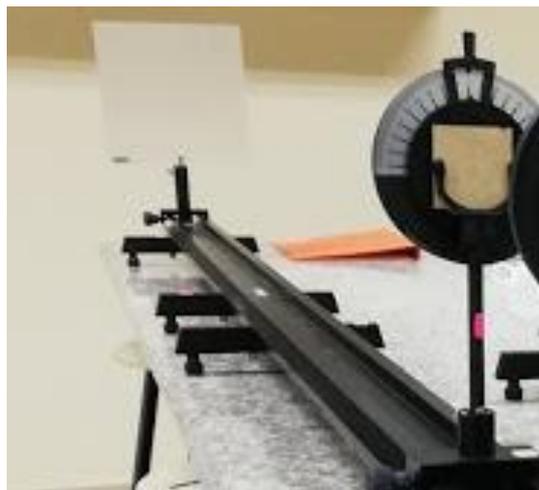
De manera continua se coloca a cierta distancia de manera similar en el plano anterior focal de los lentes la abertura la cual se encuentra sujeta por un soporte especial para rendijas, esta abertura puede llegar a ser de varios materiales como de baquelita, acero, aluminio (Zárate 2011, p. 34) entre otros, sin embargo como menciona la teoría no existe material extremadamente delgado que no permita pasar en cierta cantidad la radiación incluso el aluminio más fino lo hace. (Hecht 2017, p. 449)



**Figura 4-2** Ejemplo de obstáculo con abertura Triangular

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Y empero a lo mencionado mientras más fino sea el material existe una mejoría en la resolución de la imagen que sale proyectada de la abertura, es decir una hoja de papel o una de cartulina negra funcionarían y funcionan siempre y cuando se logre acercarse en la medida de lo posible o cumplir que la longitud de onda sea mayor o mucho mayor a la longitud de la abertura, por tal motivo se realizó las rendijas de difracción a través de una cortadora láser en un material de espesor de 0.5mm llamado madera de balsa la cual nos permitió crear aberturas con formas poligonales he hipocicloides dentro de diámetro de un milímetro en el centro de una lámina de 5x5 cm.



**Figura 5-2** Rendija de difracción y pantalla opaca

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Finalmente se coloca a una distancia razonable la pantalla de observación que deberá ser de un material opaco, la importancia de este detalle es para evitar que el haz se refleje el cual permite que las ondas que se difractan y se superponen interfiriendo entre ellas se plasmen sobre este objeto opaco mostrando un patrón conocido como patrón de difracción.

## **2.2. Nivel de abstracción del fenómeno**

Para poder considerar aceptable el nivel de abstracción del fenómeno el trabajo se ha basado en gran parte en una recopilación y comparación bibliográfica de resultados de trabajos experimentales y teóricos para poder poco a poco afinar las muestras iniciales y los resultados finales. En las comparaciones se ha sujeto a fuentes como (Zárate 2011) que explica muy detalladamente el proceso físico-teórico que ocurre al momento de evaluar los patrones de difracción que se producen por

aberturas con formas aleatorias las cuales muestran patrones complejos de difracción, también trabajos como el de (Narag y Hermosa 2018) que aclara que las franjas que producen los patrones de onda se deben a los evolutos de segundo orden que se desarrollan en los bordes ayudando a comprender el efecto que conlleva y la importancia del número de bordes de una figura y su orientación de los unos respecto a los otros, asimismo con nociones de (Cui et al. 2015, p. 2) se extrajo información sobre el estudio de difracción relacionado con aberturas circulares y elípticas, lo particular de este estudio es que las aberturas presentan bordes ásperos lo que brinda una pauta con la cual empezar adentrarse a la idea sobre las figuras hipocicloides ya que no esta tan alejado de la idea principal, aunque se enfoque principalmente en la región de *Fresnel* brinda información importante como el hecho de que aumenta la potencia de difracción concentrada en el borde cada que se ve aumentada la amplitud de modulación de los bordes sinusoidales, entre otras características. Estos han sido unos de los pocos ejemplos sobre los puntos de partida para ir madurando el trabajo hasta llegar a considerarlo aceptable, sin embargo, la fuente principal de dicho trabajo se ha basado en el trabajo de (De Gante González 2014, p. 54) el cual propone ciertos objetivos para un trabajo futuro que le dé continuidad, dichos objetivos han sido considerados como parámetros para intentar darle continuidad pero quizá no desde la misma perspectiva en específico, esta tesis muestra unos resultados experimentales estructurados y detallados, siendo prácticamente este el punto máximo de aproximación al cual se trata de llegar en la obtención y replicación del fenómeno.

A todo este apartado científico de igual manera se lo contrasta de forma lógica con una simulación, la cual precede con información muy valiosa que permite replicar el experimento de tal forma que brinda, un sistema ideal el cual proporción información de un patrón de difracción casi totalmente nítido dadas las condiciones de la fuente, los fenómenos físicos que ocurren en la interacción con la abertura, las condiciones de borde de la abertura y las condiciones de una pantalla opaca que capta la información de un patrón de difracción ideal asociado a las figuras poligonales e hipocicloides. Para ello se parte de simulaciones prediseñadas de otros autores que brindan su argumento científico y de programación y que describen solo ciertos comportamientos que se usan para darle forma a este trabajo, por supuesto que hay unos más o menos didácticos que otros, pero aun así se ha logrado obtener y extraer lo mejor de ellos. Con resultados que se comparó con respecto a los patrones obtenidos en el laboratorio, de tal forma que nos da apoyo para considerar aceptables las muestras y que tan propicio son las condiciones en que se las obtuvo, de manera equivalente permite descartar muestras con resultados no tan aceptables o muy alejados del objetivo al que se pretende llegar.

### **2.3. Relación Metodológica**

### **2.3.1. Deductiva:**

Se establece una metodología deductiva la cual nos permite ir de la idea general que en este caso es la obtención de patrones de difracción, hacia un punto en específico que se enfoca solo en aberturas con formas de figuras poligonales e hipocicloides. Principalmente como se ha visto desde el inicio se realizó un marco teórico para poder introducir definición y conceptos necesarios, que son los pilares para la comprensión del presente trabajo.

Se inicio a partir de la definición principal de Interferencia de la cual hay muchos trabajos como el de (Zheng 2004) o el de (Kats et al. 2013) que aportan al conocimiento y desarrollo de este fenómeno y son dos entre muchos ejemplo que se podrían destacar, pero más que nada, se ha considerado partir de esta definición ya que éste fenómeno es un acontecimiento que se debe tener previo conocimiento, es decir, tener en claro y entenderlo para no confundirlo o interpretarlo de una manera errónea sobre el fenómeno principal del estudio. La interferencia va de la mano con la difracción ya que es natural que las ondas interfieran entre sí en el proceso del fenómeno, en otras palabras, la interferencia se encuentra en el corazón del proceso de la difracción(Hecht 2017, p. 450). Posterior a ella se aborda el fenómeno propio a estudiar La difracción, que abarca dos tipos los cuales se tratan en el marco teórico para su comprensión y de los cuales es de interés la difracción de *Fraunhofer* para los fines necesarios ya que utilizamos un juego de lentes, pero aun así sigue siendo un campo muy amplio el cual abordar de tal manera que basándonos en trabajos como el de (De Gante González 2014) y el de (Zárate 2011) se ha encaminado el tema a un tipo específico de aberturas sobre el cual se ejecutó el fenómeno siendo estas aberturas de formas poligonales e hipocicloides, siendo el objetivo final y central estudiar los patrones de difracción que provocan estas aberturas al momento de difractarse un haz de luz sobre ellas.

### **2.3.2. Científica**

La Metodología científica que se utilizó es la que interactúa directamente con la obtención de patrones de difracción (nuestra variable dependiente), esta variable está ligada a un objetivo el cual se enfoca de manera específica sobre aberturas poligonales e hipocicloides (nuestras variables independientes), ya que se puede controlar y manipular las condiciones sobre las cuales estas variables interactúan el tipo de metodología es claramente la experimental que explica el proceso completo del armamento científico a través de la experimentación directa con las variables (Fidias 2016, p. 21).

## 2.4. Medición del fenómeno

Se ha realizado un análisis y comparación de datos a partir de una simulación en base a un modelo matemático pre existente, el cual consiste en describir el fenómeno de difracción a través de figuras y que con ligeros cambios de código donde se incluye las funciones que dan lugar a una hipocicloide se ha logrado generar resultados numéricos para ambos casos, hipocicloide y poligonal.

Para poder medir el fenómeno se ha tomado fotos del mismo, dichas fotos que permiten un análisis con los resultados mencionados anteriormente, lo cual permite comparar y observar la posición de las franjas oscuras y las brillantes de las rendijas mencionadas, también cual es la distancia óptima para la obtención de una mejor resolución, entre otros. Para nuestro caso se ha considerado rendijas a partir de 3 lados hasta 10 lados para ambos casos, todas y cada una de ellas realizadas con una abertura dentro de un radio de  $(1\text{mm} \pm 0.05\text{mm})$  en el centro de una placa de 5x5cm.

## 2.5. Recursos

Se puede describir los recursos técnicos tangibles como son un juego de lentes ópticos, un láser de HeNe 633nm, soporte de diafragma, rendijas con abertura a forma de figuras poligonales e hipocicloides; Así como también recursos técnicos intangibles el cual se enfoca en la manipulación de una herramienta computacional para obtener una simulación de la recreación de los datos prácticos y los resultados ser comparados con los experimentales.

Dentro de la necesidad no existe un software en especial para lo requerido ya que se podría trabajar de manera equitativa en Windows como en Ubuntu dependiendo la afinidad del usuario y las herramientas computacionales que opte utilizar, en este caso se ha optado utilizar Maple, el cual a partir del recurso matemático preexistente y con ligeras modificaciones ha brindado un resultado idóneo con respecto ambos casos como es la hipocicloide y la poligonal.

La investigación se dio en el laboratorio de Óptica ESPOCH y presenta un diseño con una metodología de investigación de campo *De observación no es estructurada*(Fidias 2016) ya que el método de recolección de datos es a través de la recreación y proyección del fenómeno de difracción que como resultado emite un patrón distintivo que se asocia a cada una de las figuras poligonales e hipocicloides conocido como *patrón de difracción*, estos resultados que presenta cada una de las aberturas es recolectado por medio de fotografías permitiéndonos evidenciar el fenómeno y realizar su respectivo análisis

A nuestra consideración el instrumento más indispensable en el montaje experimental, y que en parte es el más fundamental para que se produzcan los patrones de difracción, ha sido las rendijas con aberturas de las formas ya mencionadas ya que fueron diseñadas con la herramienta AutoCAD® para

posteriormente poder ser impresadas mediante una cortadora laser a una escala extremadamente pequeñas. También la simulación computacional ya que se podría decir que van ligados a que el resultado del uno sea comparado con el otro.



**Figura 6-2** Diseño creado en AutoCAD de las aberturas poligonal e hipocicloide a partir del cual se realizó las aberturas

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

Los datos se procesan a través de mediciones que brinda la obtención de los patrones de difracción y con esta información se procede a aplicarlos a formulas.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra a continuación los resultados experimentales de las distribuciones de intensidad transversales que se obtuvieron en el límite de *Fraunhofer*, las cuales están asociadas a aberturas de tipo poligonales y aberturas de tipo hipocicloides. Estos resultados serán comparados con la simulación obtenida con herramientas computacionales más adelante.

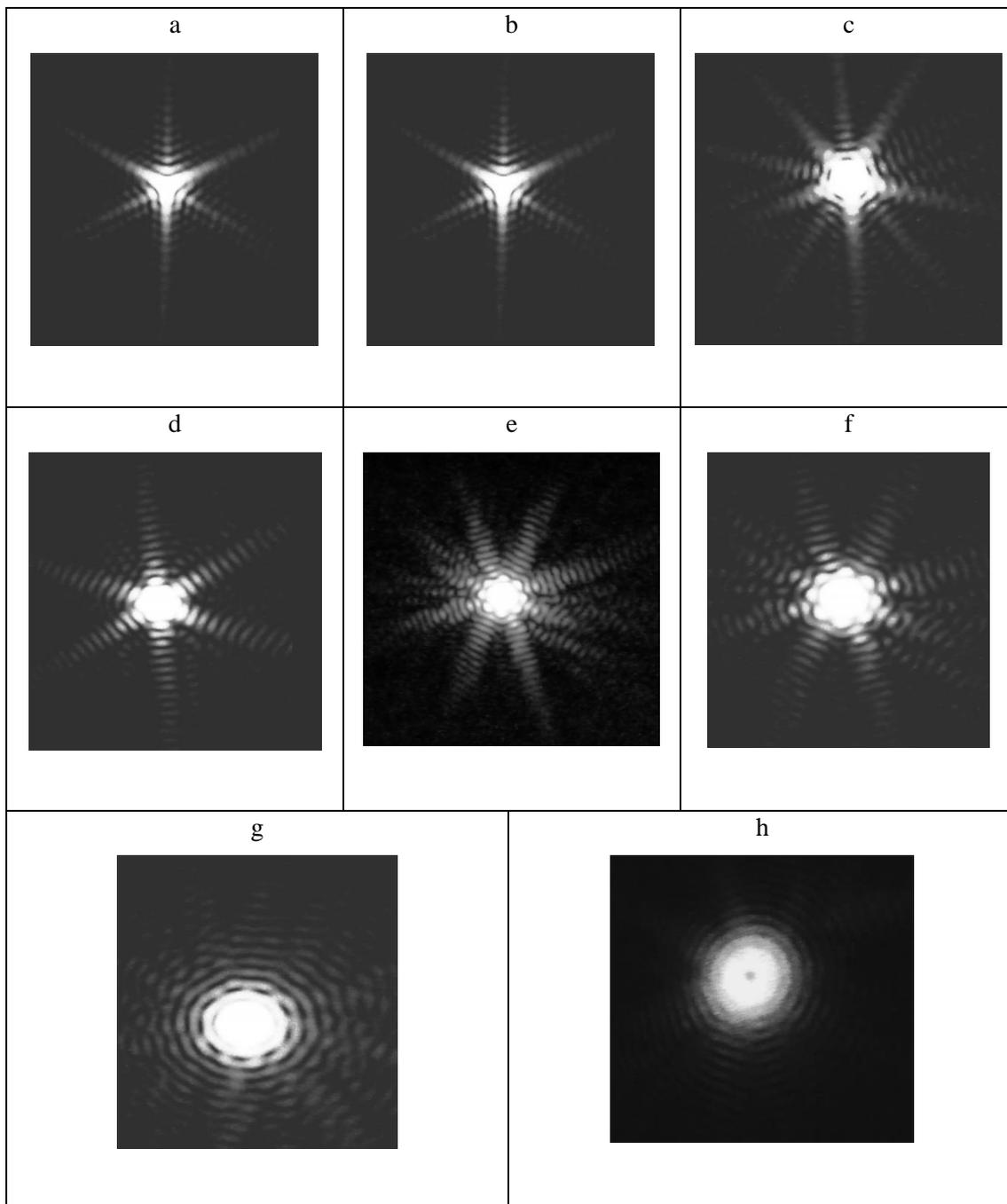
#### 3.1. Resultados experimentales

Pariendo entonces del montaje experimental que fue descrito en el capítulo anterior y tomando en cuenta las placas con las aberturas de tipo Poligonal y de tipo Hipocicloides, en el que la luz pasa por toda la abertura de la figura, tenemos dos tipos de resultados, es decir por un lado el patrón de difracción de las figuras hipocicloides y por otro lado las poligonales, para los cuales se empezó por un número de lados igual a 3 es decir un triángulo y un deltoidea y así hasta llegar a un número total de 10 lados, también se han incluido imágenes del modelo en AutoCAD a partir del cual se realizó las aberturas con sus diversas formas.

Los resultados experimentales han sido capturados y evidenciados con una cámara semiprofesional, que sin embargo pudieran mejorarse con una cámara profesional o especializada en difracción para realizar este tipo de capturas, ya que el haz del láser de Helio Neón se mostraba muy intenso para la sensibilidad de la cámara, ya que en algunos casos se necesita un filtro especial para la cámara con la finalidad de evitar que la imagen se sature (FISIOTERAPIA 2014) sin embargo, en condiciones óptimas con la pantalla de observación se consigue buenos resultados. En las imágenes posteriores de los resultados se puede observar como la distribución de intensidad de las imágenes tomadas para cada una de las figuras muestra un patrón único y característico de la abertura. Experimentalmente al principio se consideró la posibilidad de escoger solo las más exactas, sin embargo, se han mantenido las 10 opciones de aberturas para ambos casos ya que en algunos casos (la mayoría) son muy semejante a las figuras obtenidas mediante la simulación matemática. Con estos resultados se procede posteriormente a mostrar y realizar una comparación de entre ambos resultados.

### 3.1.1. Patrones de difracción poligonales

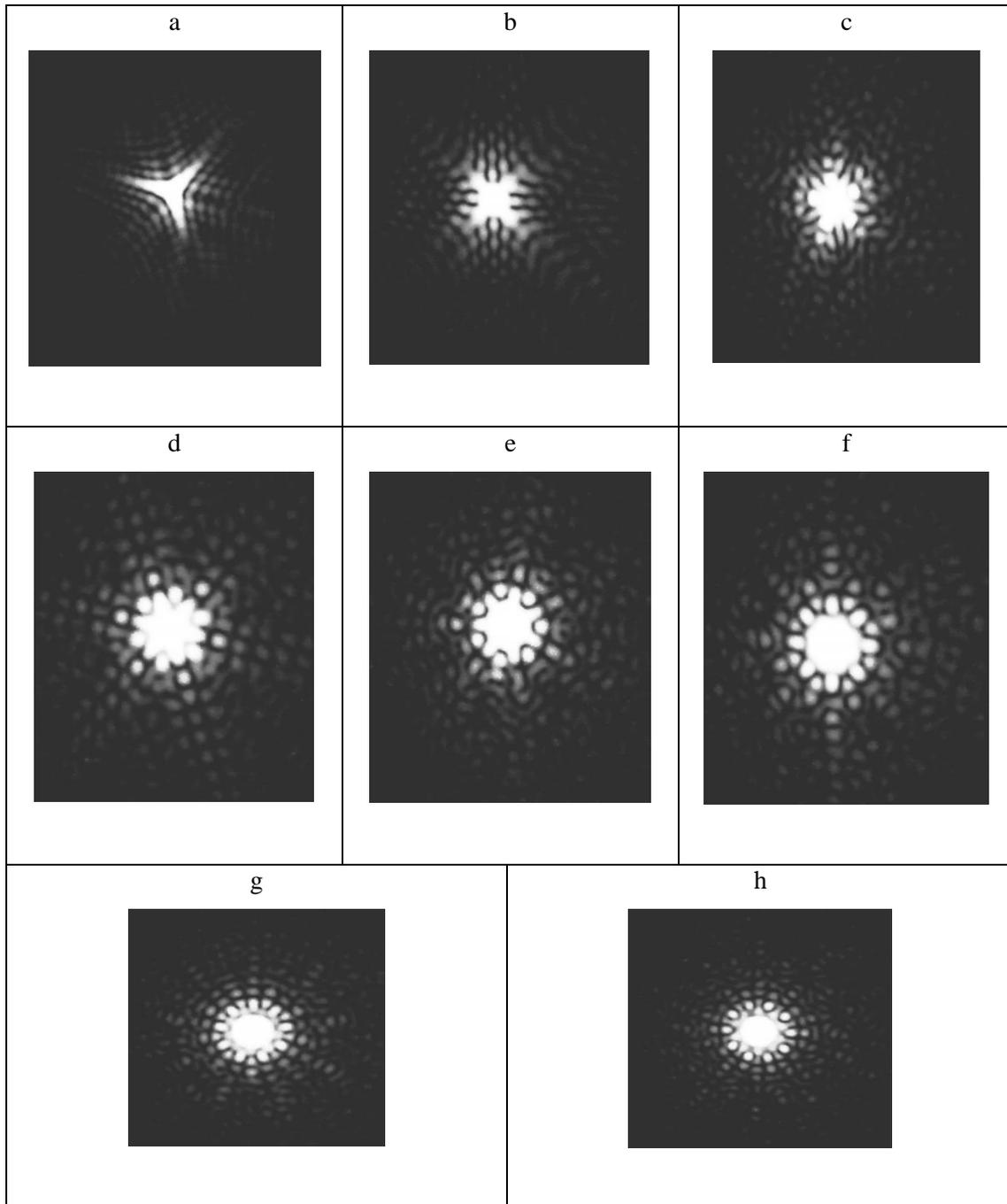
**Tabla 1-3** Distribución de intensidades obtenidas experimentalmente para el caso de las aberturas poligonales como son: a) Triangulo, b) Rombo, c) Pentágono, d) Hexágono, e) Heptágono, f) octágono, g) eneágono y decágono.



Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

### 3.1.2. Patrones de difracción Hipocicloides

**Tabla 2-3** Distribución de intensidades obtenidas experimentalmente para el caso de las aberturas Hipocicloides como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados.



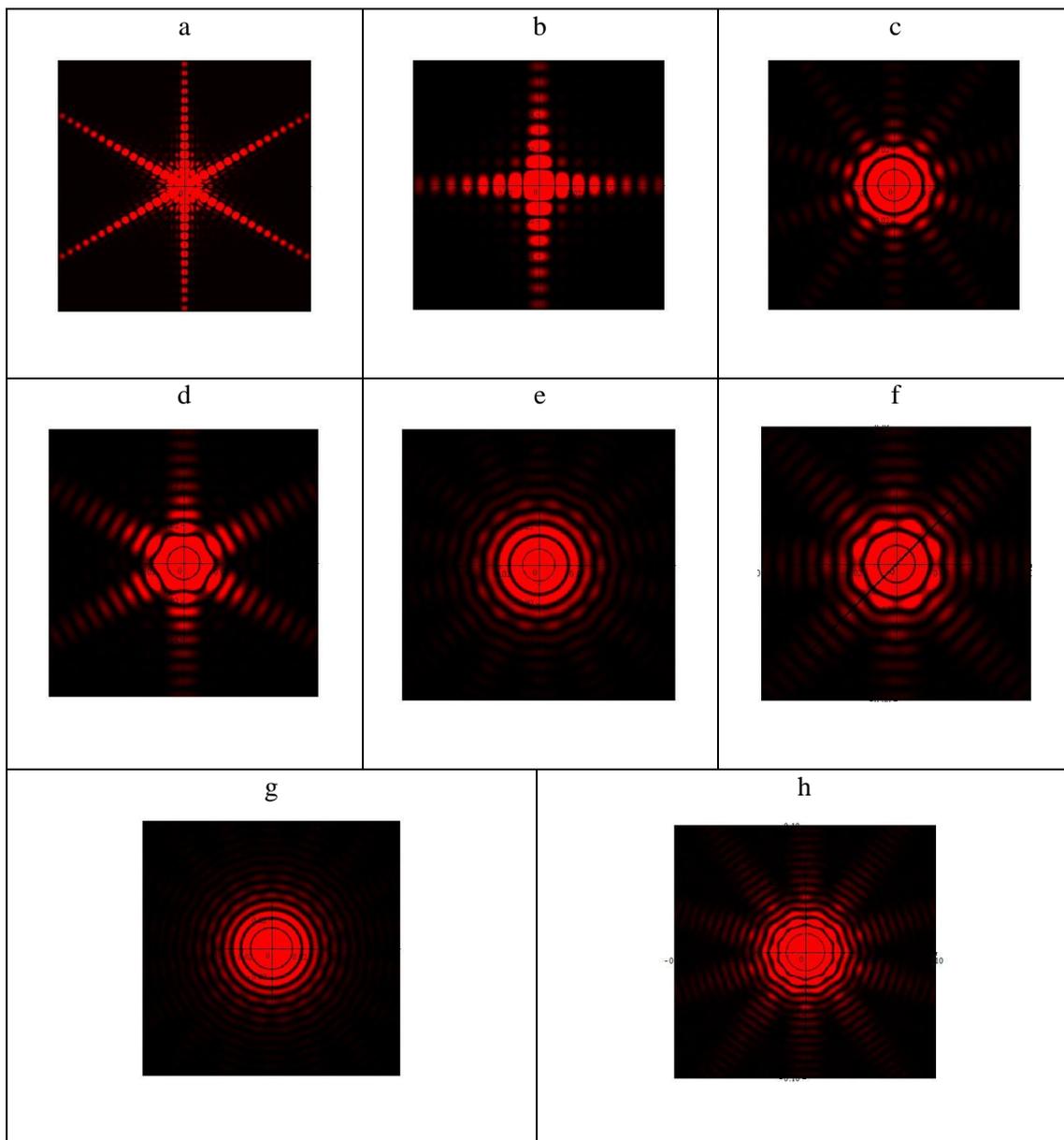
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

### 3.2. Desarrollo numérico

Una de las mejores maneras de comprobar si los resultados obtenidos experimentalmente son correctos o no, es mediante alguna herramienta computacional. En nuestro caso se ha utilizado la herramienta Maple18 la cual ha permitido obtener los cálculos numéricos de las distribuciones.

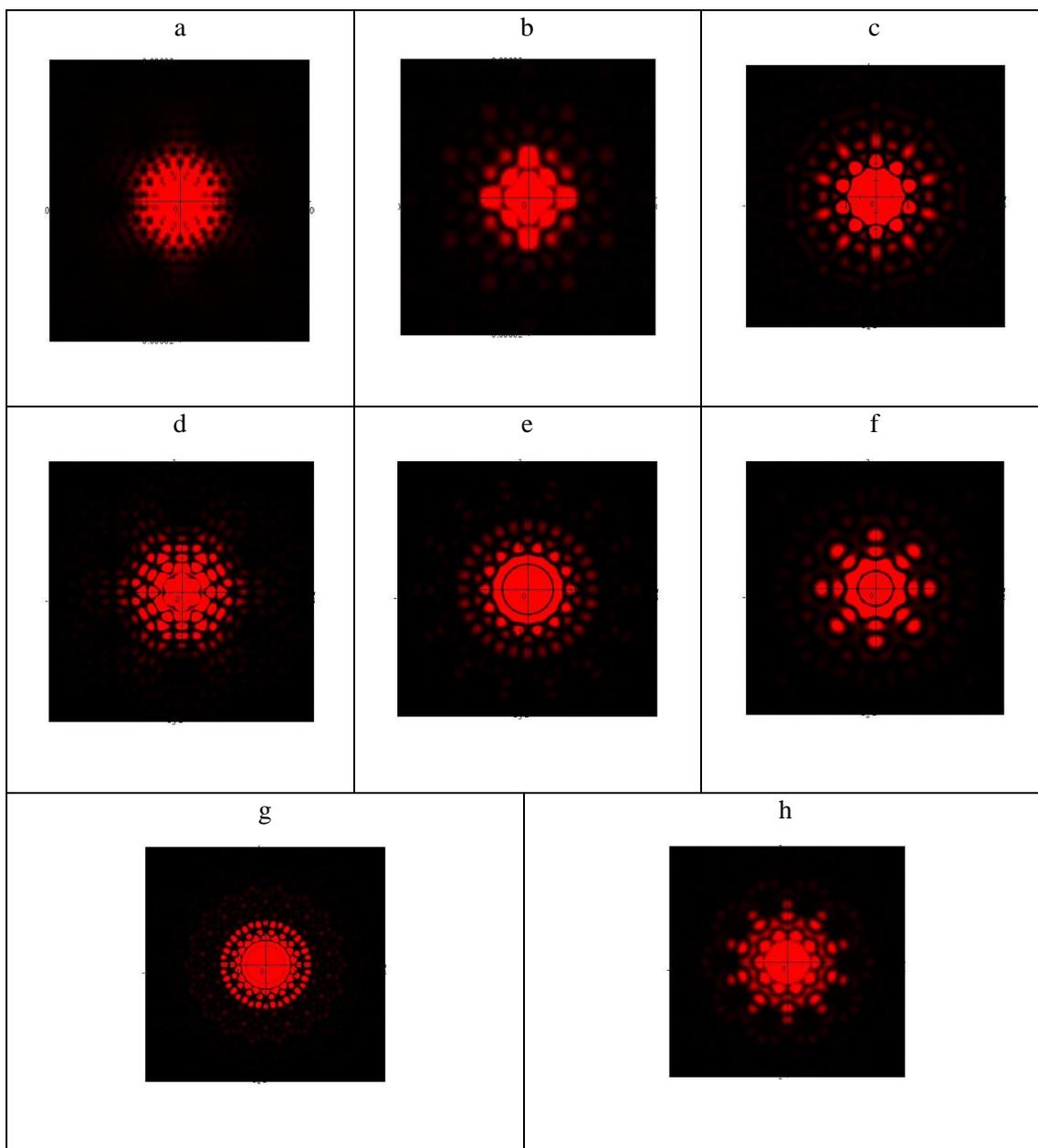
#### 3.2.1. Resultados numéricos

**Tabla 3-1** Distribución de intensidades obtenidas numéricamente para el caso de las aberturas Poligonales como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5 lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados



Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

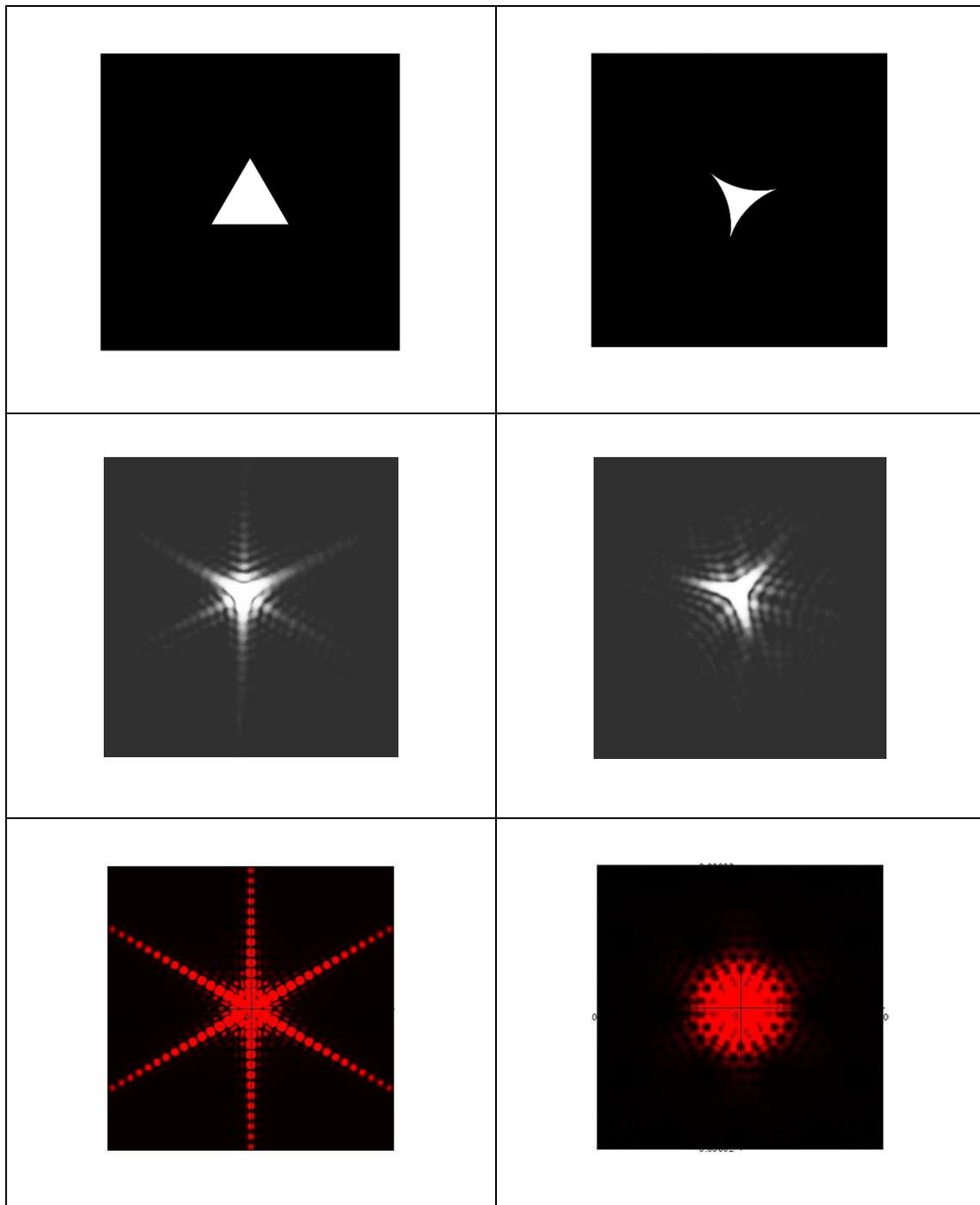
**Tabla 4-3** Distribución de intensidades obtenidas numéricamente para el caso de las aberturas Hipocicloides como a) 3 lado, b) 4 lados, c) 5lados, d) 6 lados, e) 7 lados, f) 8 lados, g) 9 lados y h) 10 lados



Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

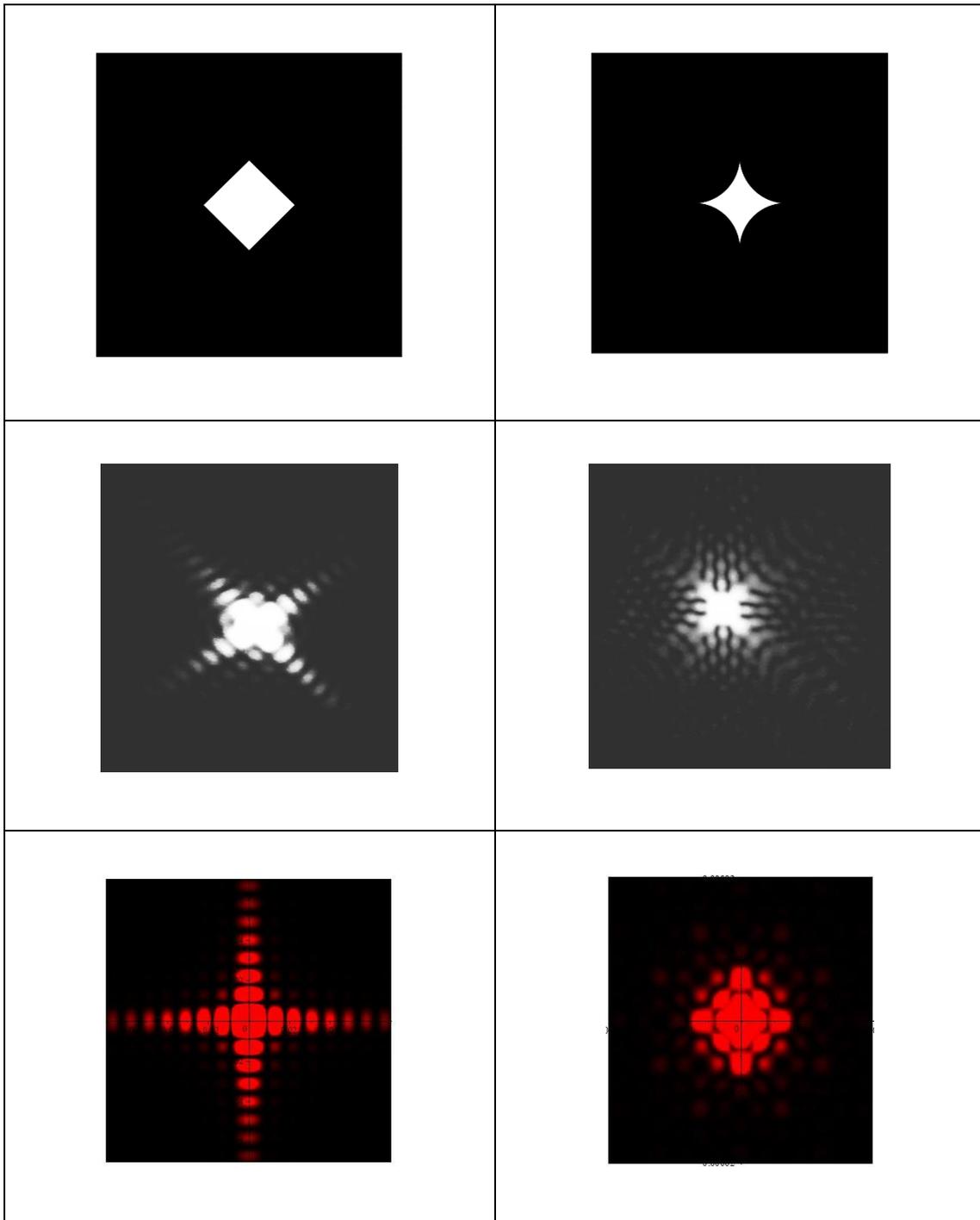
### 3.3. Comparación de resultados Experimentales con numéricos

**Tabla 5-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de tres lados poligonal e hipocicloide.



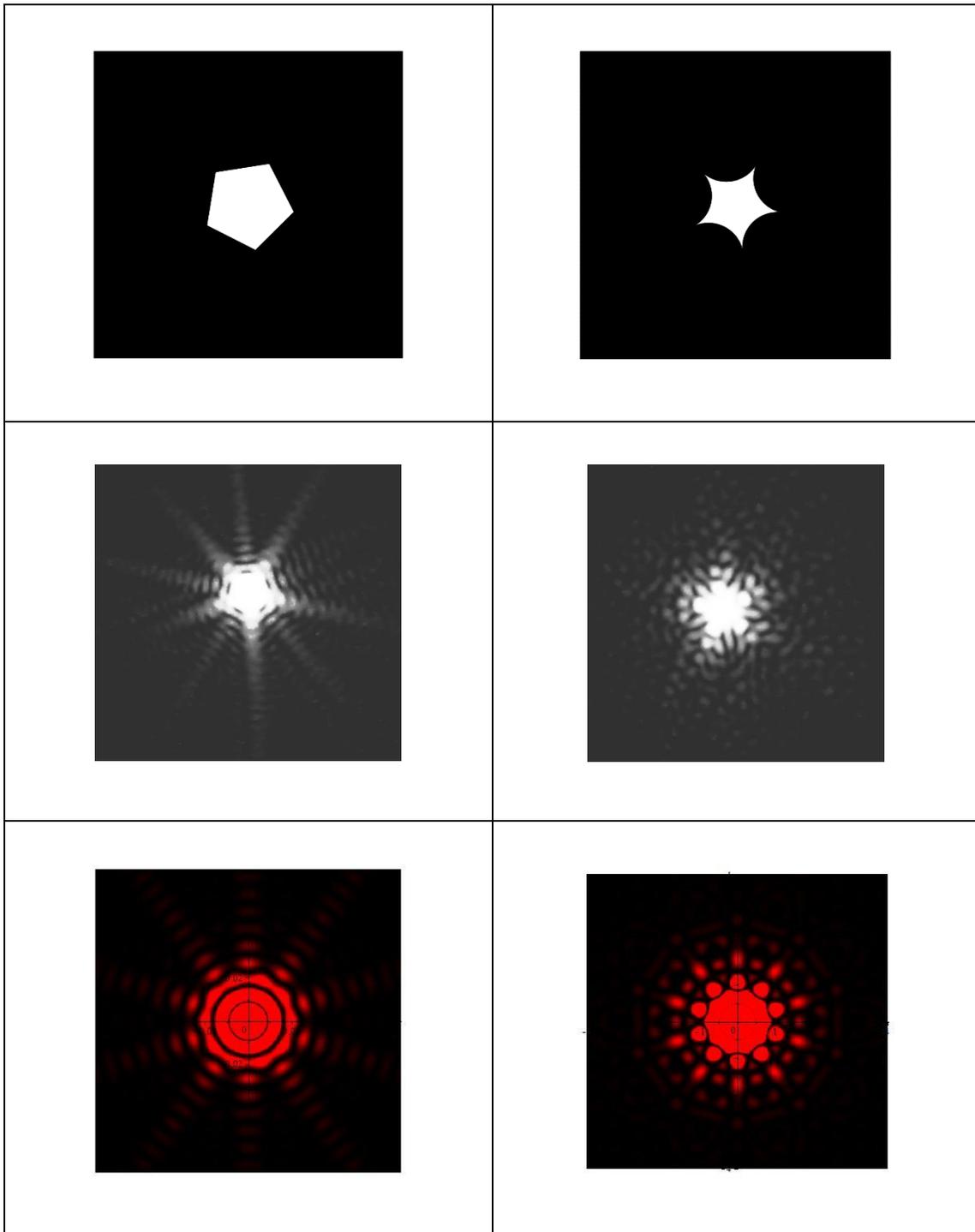
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 6-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de cuatro lados poligonal e hipocicloide.



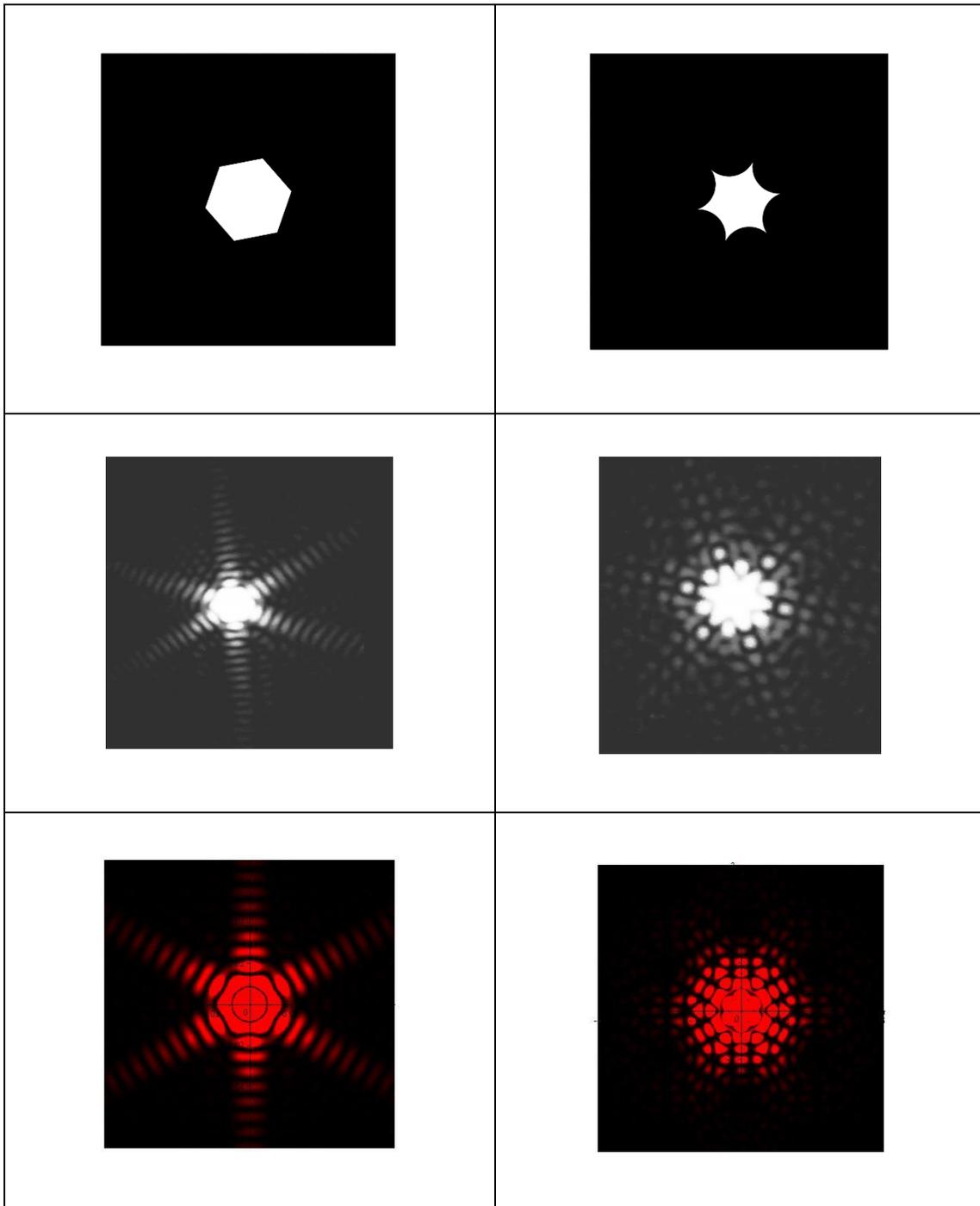
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 7-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de cinco lados poligonal e hipocicloide.



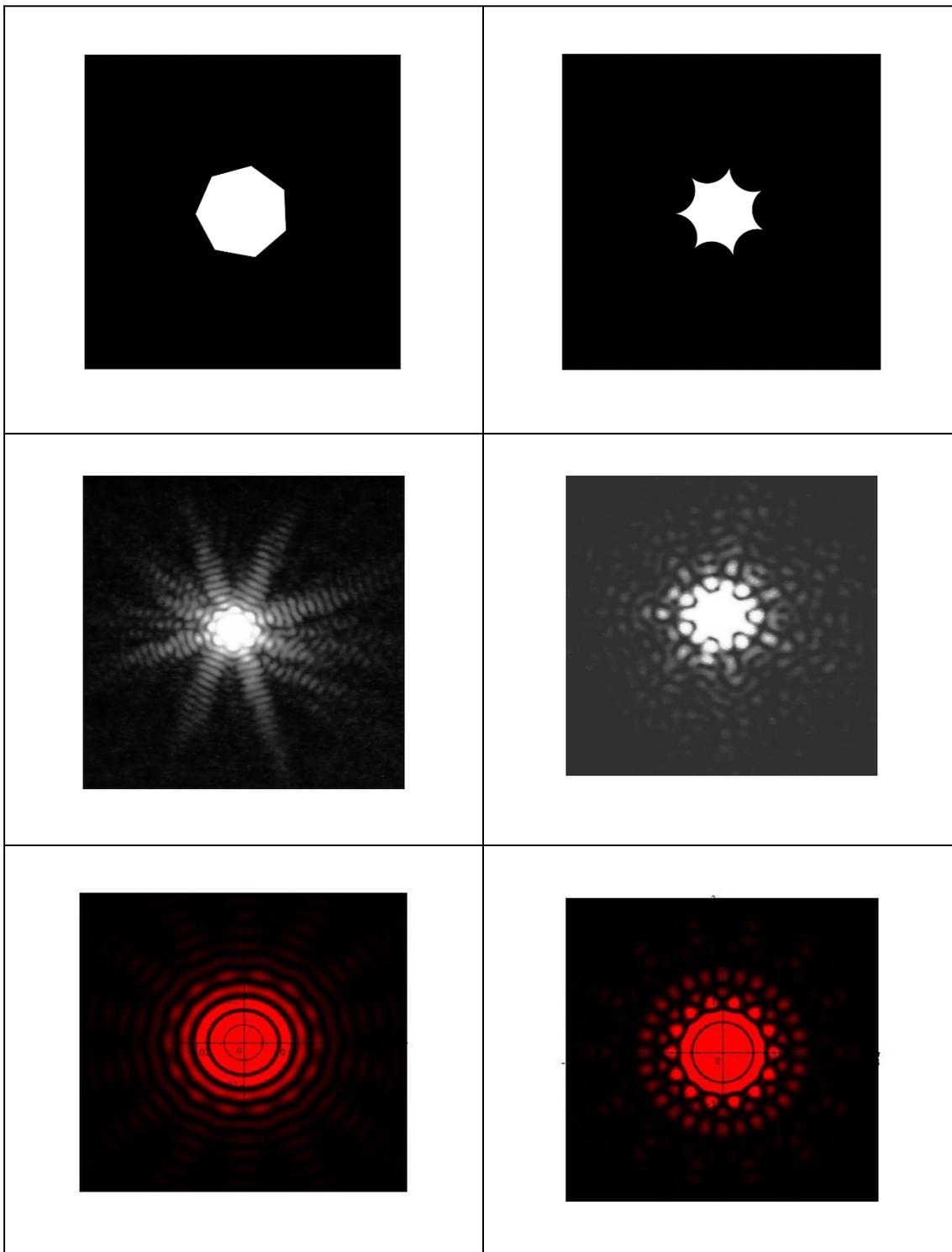
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 8-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de seis lados poligonal e hipocicloide.



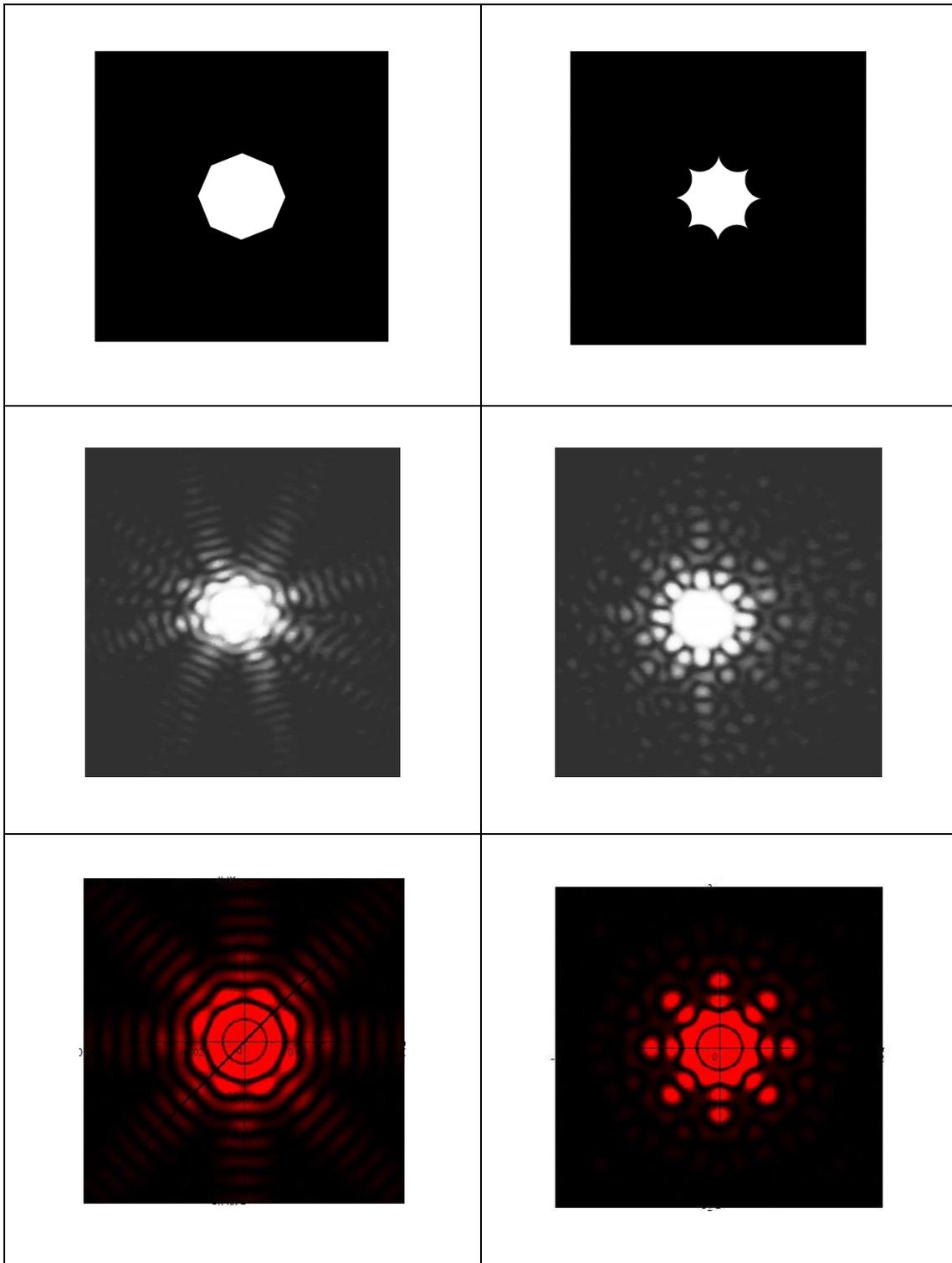
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 9-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de siete lados poligonal e hipocicloide.



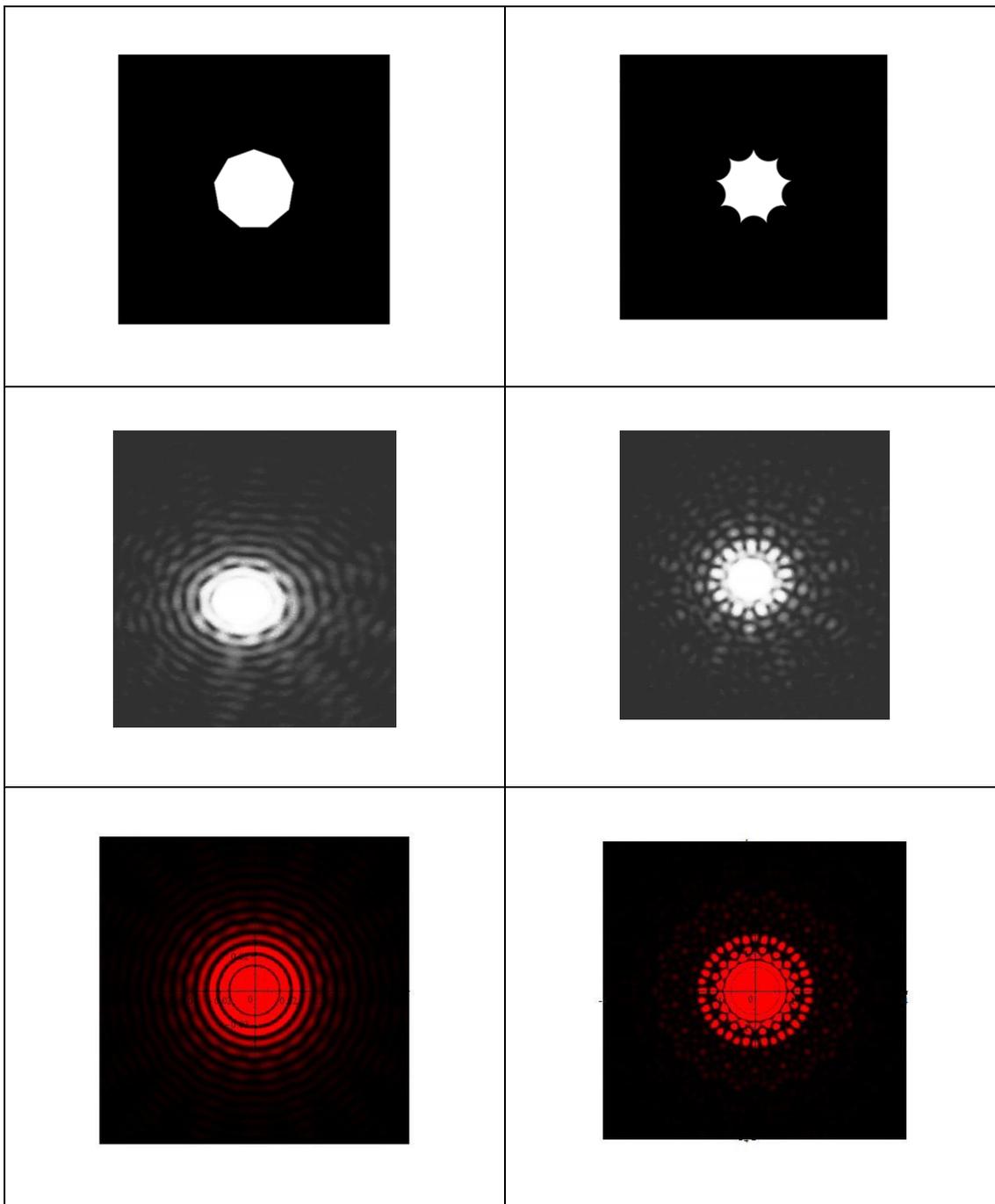
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 10-32** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de ocho lados poligonal e hipocicloide.



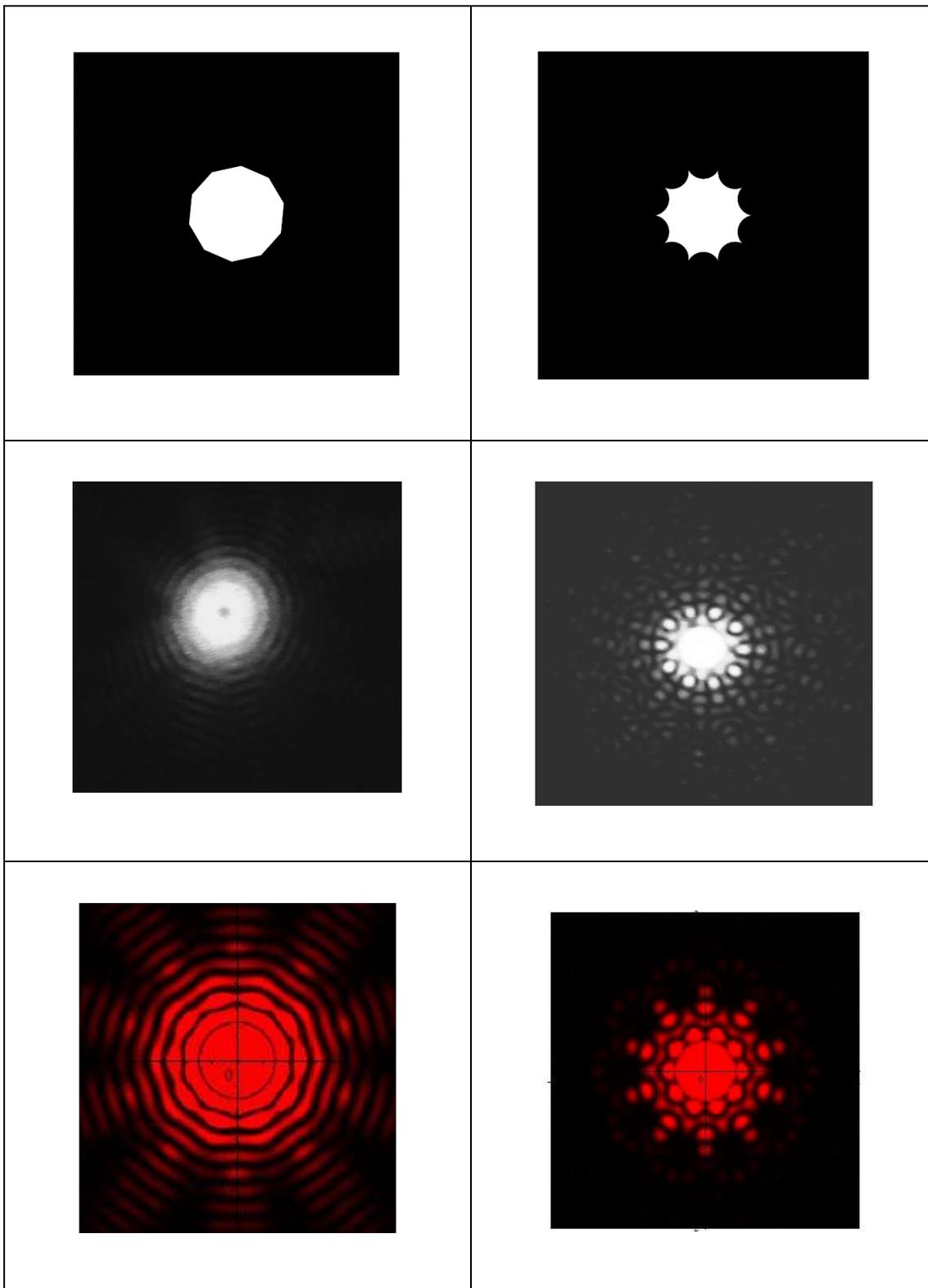
Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 11-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de nueve lados poligonal e hipocicloide



Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Tabla 12-3** Ilustraciones obtenidas experimental y numéricamente para el caso de diez lados poligonal e hipocicloide.



Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

### 3.4. Análisis de resultados

En primer lugar hay que aclarar que las aberturas fueron realizadas mediante una cortadora laser sobre un material de balsa de 0.5mm de espesor y de 5x5 de base por altura, este material se consideró el más ideal entre tantos otros ante una cortadora laser, ya que se probó con cartulinas y hojas de papel pero se quemaban en lugar de tomar la forma necesitada, también se realizó pruebas con distintas láminas de plástico, se intentó realizar cortes en láminas de aluminio pero era muy poco minuciosos y no llegaban a escalas muy pequeñas. y como medida extra se intentó poder crear las aberturas mediante una impresora 3D, pero debido a las dimensiones tan pequeñas no fue posible realizarlas ya que las boquillas de estos instrumentos solo presentan medidas de hasta 3 o 4 milímetros en adelante, así que se optó por el material que se mencionó al inicio.

Como podemos observar en la Ilustración 3.33.4-1 las imágenes del trabajo experimental tanto la hipocicloide como la poligonal se comparan con los cálculos numéricos de las mismas. La figura poligonal muestra el patrón de difracción muy similar al del apartado numérico con relación a su número de franjas que van formando unos “picos” por así decirlo y la dirección en la que se propaga, también son similares en el gran decaimiento de intensidad de los bordes y los picos con respecto al centro que se muestra como un gran punto brillante, se pueden observar también como se forman las franjas oscuras y las franjas claras a menudo que se propagan de manera alternada, las cuales son producto de la superposición constructiva y destructiva de las ondas que viajan hacia la pantalla de observación, cabe destacar que al presentar un número impar de lados de la figura esta debería generar una doble cantidad de picos con respecto al número de bordes como se contempló en la teoría y que en efecto se cumple para esta abertura de 3 lados. La figura hipocicloide al comparársela con el resultado numérico parece no tener similitud pero esto se debe a que la intensidad de las franjas difractadas que realizan la superposición de ondas se vuelve muy débil, tanto que no se puede apreciar en la imagen experimental por completo, aun así nos muestra información suficiente para observar que las ondas en los bordes tienden a expandirse acorde se propagan, a diferencia de la poligonal que se contrae formando picos más compactos mientras se propaga, también se puede destacar que existe un decaimiento de intensidad muy notable del centro hacia los bordes y los picos y que es aún menos intenso que la figura poligonal.

En la Ilustración 3.3-2 se puede observar los patrones de difracción para las figuras de 4 lados tanto poligonal como hipocicloide, ambas aberturas muestran mucha igualdad con respecto a los resultados numéricos, con un pequeño detalle que en ambos casos se encuentran rotados los resultados experimentales con respecto a los números sin embargo el patrón de difracción es el mismo. En la abertura poligonal de cuatro lados se muestra una mejor resolución, esto se debe a que mientras más paralelos sean los lados opuestos entre sí la resolución mejora como se menciona en la teoría, y como se puede observar se cumplen y a diferencia de las figuras de lados impares esta muestra un número

de picos acorde al número de lados de la figura. En la figura hipocicloide podemos observar que de igual manera que en la de 3 lados tienden a expandirse los picos formando arcos que van de vértice en vértice de la figura, que a diferencia de la poligonal no forma picos en forma de una línea o dirección, se puede observar con se van alternando las franjas como en el caso anterior, ahí se puede observar la distribución de intensidad y como esta decae acorde se aleja del centro y como plasma la superposición de las ondas resultantes de la difracción.

Como se puede observar en Ilustración 3.3-3 tanto la hipocicloide como la poligonal muestran patrones de difracción muy similares a los datos obtenidos numéricamente, es decir, ambos muestran el doble de número de lados un centro brillante y una distribución en forma de picos para la poligonal y en forma curva para la hipocicloide así como también para la Ilustración 3.3-4, Ilustración 3.3-7 y la Ilustración 3.3-8 que tanto la poligonal como la figura hipocicloide se muestran acorde a los datos obtenidos numéricamente, así como las características, es decir la distribución de intensidad de las hipocicloide son curvas a diferencia de las poligonales, cuando se presentan una figura de lados impar su número de picos que forma es el doble al número de lados de la figura mientras que cuando es de número de lados es par se mantiene el número de picos igual de los lados, hay que destacar como característica importante que en las figuras poligonales mientras más se aumenta el número de lados esta tiende a parecerse un poco más a una abertura circular como se puede observar en la Ilustración 3.3-7 y 3.3-8.

Si observamos las Ilustraciones 3.3-5 y 3.3-6 las figuras hipocicloides muestran gran parecido con las figuras obtenidas numéricamente, aunque si observamos las figuras poligonales quizás no muestran un patrón de difracción muy parecido esto se debe a que en los bordes de las figuras existe algún tipo de pequeña imperfección que quizás fue resultado del rastro que dejó la cortadora laser sobre el material, causando así el patrón de difracción que se observa que no está muy alejado de la simulación y esto también puede atribuirse en parte a que mientras más números de lados presenta la abertura el área interna por donde pasa el láser va aumentando, sin embargo aun así, se puede observar el campo de intensidad central y el número de picos que se van creando en los primeros bordes del patrón de difracción y que como marca la teoría para el caso de 7 lados se muestran el doble y el de 8 lados se muestran el mismo número.

## **CONCLUSIONES:**

Se obtuvieron los patrones de difracción en la región de Fraunhofer, los cuales se encuentran asociados directamente con aberturas de tipo poligonales, así como también de tipo hipocicloides.

A partir de informaciones bibliográficas se hizo el montaje experimental y con la ayuda de todos los equipos disponibles dentro del laboratorio de óptica de tal manera que se logró la obtención de los patrones de difracción.

En base a un modelo matemático se obtuvieron los patrones de difracción que se encuentran en la región de Fraunhofer para cada una de las figuras poligonales e hipocicloides.

Mediante una simulación de los datos analizados con la herramienta computacional Maple se pudo comparar la información obtenida de los datos experimentales con los resultados teóricos a través de métodos numéricos.

## **RECOMENDACIONES:**

Afinar los resultados, mediante la implementación de equipos como una cámara profesional de preferencia CDD con sus respectivos filtros y explorar con otro tipo de material para las aberturas con la finalidad de tener un cuadro de comparación más extenso.

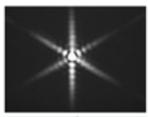
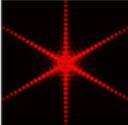
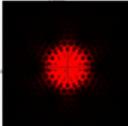
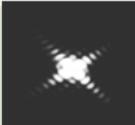
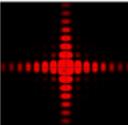
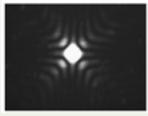
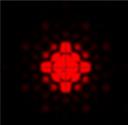
Contar con un mejor equipo computacional en cuanto arquitectura para poder ejecutarlo mejor y seguir mejorando el código con la finalidad de poder ser utilizado en otras plataformas como Python o Matlab ya que en la literatura se evidencia que pudiera ser más eficiente los cálculos.

## BIBLIOGRAFÍA

- CIRCUS, T.F., 2008. *Fundamentals of physics* [en línea]. 8th Editio. United States of America: s.n. ISBN 978-0-471-75801-3. Disponible en: [www.flyingcircusofphysics.com](http://www.flyingcircusofphysics.com).
- CUI, Y., et al., 2015. *Fresnel diffraction of aperture with rough edge*. *Journal of Optics (United Kingdom)* [en línea], vol. 17, no. 6, pp. 1-11. ISSN 20408986. DOI 10.1088/2040-8978/17/6/065607. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1088/2040-8978/17/6/065607>.
- DAINTY, J.C., 2010. *Fraunhofer diffraction patterns of tilted planar objects*. October, no. March 2013, pp. 37-41. DOI 10.1080/713817784.
- DE GANTE GONZÁLEZ, C., 2014. *Generación y Comparación de patrones de difracción de Aberturas Poligonales e Hipocicloides*. [en línea], pp. 1-63. Disponible en: <https://www.fcfm.buap.mx/assets/docs/docencia/tesis/fisica/2014/DeGanteGonzalezCesar.pdf>.
- EUGENE HETCH, 2002. *Optics* [en línea]. Cuarta Edi. San Francisco: Addison-Wesley. ISBN 9780805385663. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=7aG6QgAACAAJ>.
- FIDIAS, G.A., 2016. *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Sexta edic. Caracas - República Bolivariana de Venezuela: EDITORIAL EPISTEME. ISBN 9800785299.
- FISIOTERAPIA, G. en, 2014. *Trabajo fin de grado*. *Zaguan.Unizar.Es* [en línea], pp. 0-43. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>.
- GARCÍA-SUCERQUIA, J.I., et al., 2001. *Distinguishing between fraunhofer and fresnel diffraction by the young's experiment*. *Optics communications*, vol. 200, no. 1-6, pp. 15-22. ISSN 00304018. DOI 10.1016/S0030-4018(01)01605-4.
- HECHT, E., 2017. *Optics .ed* [en línea]. F I F T H. United States of America: s.n. ISBN 0133977226. Disponible en: [www.pearsonhighered.com](http://www.pearsonhighered.com).
- KATS, M.A., et al., 2013. *Nanometre optical coatings based on strong interference effects in highly absorbing media*. *Nature Materials* [en línea], vol. 12, no. 1, pp. 20-24. ISSN 14761122. DOI 10.1038/nmat3443. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/nmat3443>.
- MCLEOD, D.G., 2002. *Fundamentals of physics. Tenth edit*. CLEVELAND STATE: s.n. ISBN 9781118230725.
- MONTILLA, Y., 2018. *Patrones de difracción a partir de aberturas poligonales*. , pp. 99.
- NARAG, J., & HERMOSA, N., 2018. *Diffraction of polygonal slits using catastrophe optics*. *Journal of Applied Physics*, vol. 124, no. 3. ISSN 10897550. DOI 10.1063/1.5029292.
- ZÁRATE, E.A., 2011. *Estudio de patrones de difracción, en la evaluación de aberturas*. ©INAOE, pp. 205.
- ZHENG, J., 2004. *Analysis of optical frequency-modulated continuous-wave interference*. *Applied Optics*, vol. 43, no. 21, pp. 4189-4198. ISSN 15394522. DOI 10.1364/AO.43.004189.

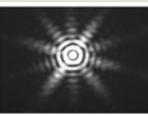
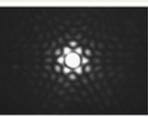
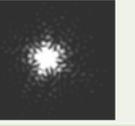
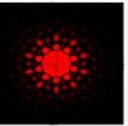
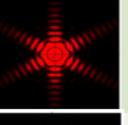
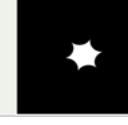
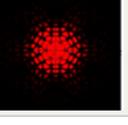
**ANEXOS:**

**Anexo A:** Contrastación de resultados para 3 y 4 lados poligonal e hipocicloide

Patrones de difracción de los estudios de (De Gante González, 2014)		Modelo realizado en AutoCAD® para la obtención de las aberturas		Patrones de difracción obtenidos experimentalmente		Patrones de difracción obtenidos Numéricamente
	Tres lados Poligonal					
	Tres lados Hipocicloide					
	Cuatro lados Poligonal					
	Cuatro lados Hipocicloide					

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Anexo B:** Contrastación de resultados para 5 y 6 lados poligonal e hipocicloide

Patrones de difracción de los estudios de (De Gante González, 2014)		Modelo realizado en AutoCAD® para la obtención de las aberturas		Patrones de difracción obtenidos experimentalmente		Patrones de difracción obtenidos Numéricamente
	Cinco lados Poligonal					
	Cinco lados Hipocicloide					
	Seis lados Poligonal					
	Seis lados Hipocicloide					

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Anexo C:** Contrastación de resultados para 7 y 8 lados poligonal e hipocicloide

Patrones de difracción de los estudios de (De Gante González, 2014)		Modelo realizado en AutoCAD® para la obtención de las aberturas	Patrones de difracción obtenidos experimentalmente	Patrones de difracción obtenidos Numéricamente
	Siete lados Poligonal			
	Siete lados Hipocicloide			
	Ocho lados Poligonal			
	Ocho lados Hipocicloide			

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020

**Anexo D:** Contrastación de resultados para 9 y 10 lados poligonal e hipocicloide

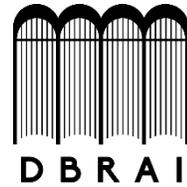
Patrones de difracción de los estudios de (De Gante González, 2014)		Modelo realizado en AutoCAD® para la obtención de las aberturas	Patrones de difracción obtenidos experimentalmente	Patrones de difracción obtenidos Numéricamente
	Nueve lados Poligonal			
	Nueve lados Hipocicloide			
	Diez lados Poligonal			
	Diez lados Hipocicloide			

Realizado por: Ron Peralta, Giovanni, 2020



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL  
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 20 / 08 /2020

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Giovanni Alexander Ron Peralta
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Biofísica
<b>Título a optar:</b> Biofísico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



0342-DBRAI-UPT-2020