

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA

MAESTRIA y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERIA



“Método para soldar componentes electrónicos en área limitada”

T E S I S

que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS

LUIS KIYOSHI NATZU ANGUIANO

DIRECTORA DE TESIS:

ROSA CITLALLIANGUIANO COTA

CODIRECTOR DE TESIS:

MAXIMILIANO VERA PEREZ

MEXICALI, B. C.

AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERIA

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

ACTA DE REVISION DE TESIS

TESIS DE GRADO

MÉTODO PARA SOLDAR COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN ÁREA LIMITADA

PRESENTADA POR

LUIS KIYOSHI NATZU ANGUIANO

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dra. Rosa Citlalli Anguiano Cota
Directora del Comité

Dr. Maximiliano Vera Pérez
Codirector del Comité

Dr. Heriberto Márquez Becerra.
Miembro del Comité

Dr. Marco Antonio Félix Lozano
Miembro del Comité

Dr. Guillermo Galaviz Yáñez
Coordinador de investigación y posgrado
Facultad de ingeniería

29 de julio de 2018

RESUMEN de la tesis de Luis Kiyoshi Natzu Anguiano, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRÍA EN CIENCIAS. Mexicali, Baja California, México. Agosto de 2018.

MÉTODO PARA SOLDAR COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN ÁREA LIMITADA.

Resumen aprobado por:

Dra. Rosa Citlalli Anguiano Cota
Directora del Comité

Dr. Maximiliano Vera Pérez
Codirector del Comité

RESUMEN

Palabras claves:

Infrarojo, soldadura, SMT, BGA, reflujo, libre de plomo, óptico-electronico, electro-optica, área limitada.

ABSTRACT of the thesis, presented by Luis Kiyoshi Natzu Anguiano in order to obtain the MASTER OF SCIENCES degree. Mexicali, Baja California, México. Agosto de 2018.

METHOD FOR SOLDERING ELECTRONIC COMPONENTS IN A LIMITED AREA.

Approved by:

Dra. Rosa Citlalli Anguiano Cota
Thesis Advisor

Dr. Maximiliano Vera Pérez
Thesis Advisor

RESUMEN

keywords:

Infrared, solder, SMT, BGA, reflow, lead-free, optoelectronics, electro-optic, limited area.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi familia,
en especial a mi esposa Michell.

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE

Página

1. Introducción.	1
2. Tecnología de montaje superficial SMT.	6
2.1. Componentes SMC.	7
2.1.1. Configuraciones de colocación y métodos de soldado de componentes en PCI.	11
2.1.1.1. Tipos de métodos de colocación de componentes.	11
2.1.1.2. Procesos de soldadura de componentes	13
2.1.1.2.1. Soldadura de ola.	13
2.1.1.2.2. Soldadura por reflujo.	13
2.1.1.2.2.1. Soldadura de reflujo por radiación IR.	14
2.1.1.2.2.2. Soldadura de reflujo por aire caliente.	15
2.1.1.2.2.3. Soldadura de reflujo por vapor de fase.	15
2.1.1.2.3. Soldadura laser.	16
2.1.2. Problemas en las etapas de colocación, soldado y retrabajo de componentes electrónicos.	16
2.2. Tecnología Óptico-electrónica y ópticas integradas.	19
2.2.1. Fibra óptica.	20
2.2.2. Componentes óptico-electrónicos.	21
2.2.3. Conectores y empalmes de fibra óptica.	25
2.2.3.1. Avago MiniPOD y MicroPOD.	25
2.2.3.2. Acoplador de rejilla.	26
2.2.3.3. Pigtailed.	26
2.2.3.4. Transceptores ópticos.	27
2.2.3.5. FireFly.	27
2.2.3.6. Light.	28
2.2.4. Tecnología óptica integrados.	28
2.2.4.1. Guías de onda en CI.	28
2.2.4.2. Compuertas Lógicas Ópticas.	29
2.2.4.3. Flip-Flops ópticos.	30
2.2.4.4. Multiplexores y Demultiplexores.	30
3. Fundamentos ópticos.	31
3.1. Óptica geométrica.	35
3.2. Elementos ópticos.	35
3.2.1. Reflectores.	35
3.2.2. Lentes esféricas	36
3.2.2.1. Lentes convexas.	37
3.2.2.2. Lentes cóncavas.	37
3.2.3. Lente asférica.	38
3.2.4. Homogeneizadores de haz.	39
3.2.4.1. Difusores.	39
3.2.4.2. Multi-lentes.	40
3.3. Luz Coherente.	41
3.4. Luz Incoherente.	41
3.5. Obstructores.	42

3.5.1. Difracción.	42
3.5.1.1. Difracción en borde recto.	45
3.5.1.2. Difracción en borde recto con luz incoherente.	46
3.5.2. Diseño de obstructores.	48
3.5.2.1. Múltiples obstructores.	49
4. Fundamentos térmicos.	50
4.1. Transferencia de calor.	50
4.2. Aletas o áreas extendidas.	52
5. Parámetros de simulación.	53
5.1. Fuente de luz.	53
5.2. Lente condensadora.	54
5.3. Lente divergente.	56
5.4. Matriz multi-lente.	56
5.5. Lente de campo.	57
5.6. Obstructores.	58
5.7. Detector.	58
5.8. Arreglo óptico básico con obstructores.	58
5.9. Arreglo óptico de doble multi-lente con obstructores.	59
6. Resultados.	61
6.1. Arreglo básico.	61
6.1.1. Análisis grafico lineal en ImageJ.	62
6.1.2. Análisis grafico de área en ImageJ.	63
6.2. Arreglo de doble multi-lente.	65
6.2.1. Análisis grafico lineal en ImageJ.	66
6.2.2. Análisis grafico de área en ImageJ.	67
6.2.2.1. Análisis radiométrico.	68
6.2.2.2. Homogeneidad.	75
6.2.2.2.1. Procedimiento para la toma de datos y porcentaje de error de la homogeneidad.	77
6.3. Tamaño de la mancha de luz.	85
6.3.1. Procedimiento para obtención de área.	86
7. Conclusiones.	91
Trabajo Futuro.	93
Lista de productos derivados de la tesis.	94
Bibliografía.	95

Índice de figura

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
2.1	Esquema de las tecnologías de montaje: A) Componentes conectados por medio de Wire-wrap, B) Tecnología THT soldado a un PCI, C) tecnología SMT.	7
2.2	Configuración de terminales en CI para SMT. A) Terminal BGA, B) Terminales ala de gaviota, C) Terminales en J, D) Metalización sin terminal, E) Terminal en tapa.	10
2.3	Placa de circuito impreso Tipo 1.	11
2.4	Placa de circuito impreso Tipo 2.	12
2.5	Placa de circuito impreso Tipo 3.	12
2.6	Perfil de temperatura de reflujo.	14
2.7	Fotografía de un componente con conexiones eléctricas y ópticas desarrollado por Mercé Llopis Ferrer en la Universidad Politécnica de Valencia	21
2.8	BGA con terminales ópticas.	24
2.9	Tablero de prueba que contiene un BGA con conectores integrados MicroPOD en el círculo rojo y en azul las conexiones tradicionales de transceiver y módulo de tarjeta.	24
2.10	Conectores para fibra óptica SC.	25
2.11	Conectores MicroPOD AFBR-77D1SZ, AFBR-78D1SZ.	26
2.12	Acoplador de rejilla.	26
2.13	A) Vista interna de Transceptores ópticos. B) Transceptores óptico de la compañía Cisco.	27
2.14	Conectores FireFly.	27
2.15	Conectores Light de la compañía reflexphotonics: A) LightSPACE, B) LightVISION, C) LightABLE.	28
2.16	Fabricación de guías de onda ópticas en silicio utilizando óxido de silicio y nitruro de silicio.	29
2.17	Multiplexores y Demultiplexores optico.	30
2.18	Mejoras con circuitos integrados fotónicos implementadas por la compañía VLC Photonics.	31
3.1	Trazo de rayos en lente convergente.	32
3.2	Reflectores elípticos: A) Fuente de luz en el foco. B) Fuente de luz antes del foco. C) fuente de luz después del foco.	37
3.3	Trazo de rayos lente divergente.	40
3.4	Comparación de lente esférica lado A) con lente esférica lado B).	40
3.5	Difusor esmerilado	42
3.6	Arreglo Multi-lente para obtener una distribución de mancha de Luz homogénea.	42
3.7	Luz coherente	43
3.8	Fuentes de luz Incoherente: A) luz Policromática, B) Luz Monocromática	44
3.9	Análisis grafico de la interacción de la luz en una apertura: A) Modo geométrico, B) Modo ondulatorio.	45

3.10	Difracción de un frente de onda plano en una apertura creando un patrón de difracción.	45
3.11	Difracción de un frente de onda plano en borde recto creando un patrón de difracción.	46
3.12	Gráfico obtenido con el software Matlab.	47
3.13	Superposición de múltiples ondas difractadas por borde recto	48
3.14	Difracción por navaja	49
3.15	Diseño 3D de obstructor con filo de navaja.	49
3.16	Propuesta multi-obstructores para la reducción de la difracción.	50
4.1	Diagrama del flujo de la transferencia de calor en el elemento diferencial.	53
5.1	Trazo de rayos en lampara QTH.	54
5.2	Filamento lampara QTH.	55
5.3	Lente Asférica en simulador Zemax	56
5.4	Grafica ventana de transmisión del material SiO ₂ .	56
5.5	Lente Divergente en simulador Zemax.	57
5.6	Multi-lente en simulador Zemax.	57
5.7	Lente de campo en simulador Zemax.	58
5.8	Obstructor en simulador Zemax.	58
5.9	Arreglo básico FILSS con Obstructor.	59
5.10	Arreglo de doble multi-lente FILSS con Obstructor.	60
6.1	Manchas de luz sistema básico: A) Sin obstructor, B) Obstructor en la Posición 0, C) Obstructor a 10 mm, D) Obstructor a 20 mm, E) obstructor a 30 mm, F) Obstructor a 40 mm y G) obstructor a 70 mm.	61
6.2	Análisis grafico lineal con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector.	62
6.3	Figura 6.3. Análisis grafico de área con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector. A) Área seleccionada en la mancha de luz, B) Vista en ángulo de la zona amarilla, C) Vista superior de la zona Amarilla.	63
6.4	Mancha de luz sin obstructor. A) Línea donde se realiza el análisis gráfico, B) Análisis gráfico.	64
6.5	Comparación perfil de mancha de luz sin obstructores en A) contra vista superior de la difracción en borde recto en B).	64
6.6	Manchas de luz sistema doble multi-lente: A) Sin obstructor, B) Obstructor en la Posición 0, C) Obstructor a 10 mm, D) Obstructor a 20 mm, E) obstructor a 30 mm, F) Obstructor a 40 mm y G) obstructor a 70 mm.	65
6.7	Análisis grafico lineal con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector.	66
6.8	Análisis grafico de área con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector. A) Área seleccionada en la mancha de luz, B) Vista en ángulo de la zona amarilla, C) Vista superior de la zona Amarilla.	67
6.9	Mancha sin obstructores con mediciones.	68
6.10	A) Mancha de luz en 3D, B) Acercamiento de la mancha de luz.	69
6.11	Mancha de luz con obstructores y sus datos obtenidos en Zemax.	69
6.12	A) Vista lateral de la mancha de luz con obstructores, B) grafica de difracción con luz incoherente.	70
6.13	Acercamiento a la zona central de la imagen.	70
6.14	Comportamiento teórico de la difracción con múltiples obstructores.	71

6.15	Análisis grafico 3D con múltiples obstrutores: A) Un solo obstructor a una distancia de 20mm del detector, B) Dos obstrutores con una separación entre ellos de 5mm, C) Dos obstrutores con una separación entre ellos de 10mm, D) Dos obstrutores con una separación entre ellos de 100mm.	72
6.16	Trazo de rayos con dos obstrutores.	73
6.17	Comparación entre manchas de Luz, A) 5 millones de rayos, B) 80 millones de rayos.	74
6.18	Imagen 3D de mancha de luz con 2.5 millones de rayos.	75
6.19	A) Rango mínimo al 0%, B) Rango mínimo al 35%.	76
6.20	A) Rango máximo 100%, B) Rango máximo 45%.	76
6.21	Nivel mínimo de intensidad 1 y pico máximo 2.	77
6.22	Imagen 3D de mancha de luz con 80 millones de rayos.	77
6.23	A) Rango mínimo al 0%, B) Rango mínimo al 70%.	78
6.24	A) Rango máximo 100%, B) Rango máximo 83%	78
6.25	Comparación mancha de luz, A) 2.5 millones de rayos, B) 5 millones de rayos, C) 10 millones de rayos, D) 15 millones de rayos, E) 20millones de rayos, F) 25 millones de rayos.	79
6.26	Comparación mancha de luz, A) 30 millones de rayos, B) 35 millones de rayos, C) 40 millones de rayos, D) 45 millones de rayos, E) 50 millones de rayos, F) 55 millones de rayos.	80
6.27	Distribución de la mancha de luz con 80 millones de rayos.	81
6.28	Mancha de luz con obstrutores.	82
6.29	. A) Posición a -1 mm en el pixel 301.28 en Z, B) Posición a -2mm en el pixel 317.56 en Z, C) Posición a -3mm en el pixel 333.84.	83
6.30	A) Obstructor posición 20mm en X y -2 mm en Z, B) Obstructor posición 30mm en X y -2 mm en Z, C) Obstructor posición 30 mm en X y -3 mm en Z, D) Obstructor posición 30mm en X y -4 mm en Z, E) Obstructor posición 40mm en X y -4 mm en Z, F) Obstructor posición 40mm en X y -6 mm en Z.	84

Índice de tabla

Tabla

Pagina

2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
2.6
2.7
2.8
2.9
2.10
2.11
2.12
2.13
2.14
2.15
2.16
2.17
2.18
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
3.6
3.7
3.8
3.9
3.10
3.11
3.12
3.13
3.14
3.15
3.16
4.1
5.1
5.2
5.3
5.4
5.5
5.6

ACRÓNIMOS Y GLOSARIO DE TÉRMINOS

Capítulo 1

Introducción

Debido a la necesidad del ser humano de resolver problemas, nuestra tecnología ha evolucionado, de sistemas de gran tamaño con un tiempo de resolución amplio y que resolvían un problema a la vez, a sistemas miles de veces más poderosos, portátiles, de uso amigable para el usuario, de bajo costo y con una gran capacidad de realizar distintas tareas [1-2].

Estos avances en la tecnología han beneficiado a todas las áreas de la ciencia como son la medicina, las comunicaciones, la industria aeroespacial e incluso se utiliza para crear arte. Para dar un ejemplo de esta evolución se puede mencionar las computadoras, tomemos a la que se le considera una de las primeras computadoras de uso general o programable, la ENIAC desarrollada en 1943 y terminada de instalar en 1946 por John Presper Eckert y John William Mauchly, la cual tiene dimensiones monstruosas de 2.6 m x 0.9 m x 24 m y un peso de 27 toneladas, y un alto consumo de energía, debido a la utilización de bulbos y relevadores electromecánicos y la necesidad de cambiar conexiones eléctricas para realizar distintas funciones [72-73], demorando varios días para realizar estos cambios, mientras que las computadoras actuales, son mucho más pequeñas con dimensiones que puede llegar a los 1.85cm X 10.6cm X 18cm y con pesos de hasta medio kilo y con la capacidad de realizar múltiples tareas sin realizar un cambios físicos en ellas.

Sin embargo, estas nuevas tecnologías para ser utilizadas requerían de un modo de fijación para sus componentes, por lo que se optó por utilizar la soldadura de plomo-estaño. La aleación de plomo-estaño es un metal que tiene un punto de fusión bajo alrededor de 180°C, por lo que era ideal para el proceso de soldadura. Para ayudar a este proceso, se empleaban pastas que también contenían plomo, sin embargo, se observó que los niveles de plomo en el ambiente, aumentaron conforme la tecnología electrónica evolucionaba, debido

a que, una vez concluido el ciclo de vida útil del aparato, al ser desechados, el plomo se depositaba en la tierra y el agua, y en el aire, al soldar los circuitos integrados (CI) en las placas de circuito impreso (PCI), todo esto contribuyó al aumento de la concentración de plomo en el ambiente, afectando a todo ser vivo [3-9].

En las últimas décadas como medida de precaución para reducir las emisiones de plomo, se desarrollaron soldaduras libres de plomo. Debido a que la soldadura libre de plomo (SnAgCu) tienen un punto de fusión más alto que las soldaduras con plomo, de hasta 260°C, se requirieron realizar cambios en los métodos para soldar.

Un tipo de empaque o encapsulados de los CI más utilizados en los últimos años por sus características en tamaño, teniendo empaques de dimensiones tan pequeñas como 0.6 mm X 0.3 mm, y su gran cantidad de conexiones, encontrando CI con 2,000 terminales o más, son conocidos como Dispositivos de Montaje Superficial o SMD (por sus siglas en inglés: Surface Mount Device), este tipo de componente es colocado en la superficie del PCI sin la necesidad de realizar perforaciones para su soldado con lo que se obtiene la posibilidad de utilizar ambas caras del PCI, a este tipo de empaque y colocación se le conoce como Tecnología de Montaje Superficial o SMT (por sus siglas en inglés: Surface Mount Technology).

Siendo los BGA (por sus siglas en inglés: Ball Grid Array) el de mayor uso [11-20], debido a su cantidad de terminales por unidad de área, sin embargo debido a la posición de sus terminales, las cuales se encuentran en la parte inferior de CI, lo convierte en el tipo de SMD de menor accesibilidad a las terminales para realizar el proceso de soldadura o para su inspección, debido a que al ser colocado sus terminales se encuentran entre el CI y el PCI, por lo que el método de soldadura utilizado para este tipo de componentes, es el método de reflujo, el cual consta de elementos que calienta toda el área de los PCI con un perfil térmico que consiste de 4 etapas: pre-calentamiento, pre-reflujo, reflujo y enfriamiento [21-24].

Existen diferentes sistemas que utilizan este perfil de reflujo para el proceso de soldadura, en los sistemas de reflujo por flujo de aire intervienen 2 mecanismos de transferencia de calor, el primero es la convección en el cual la energía térmica del flujo del aire es transferido a toda la superficie del PCI y el segundo es la conducción la cual se lleva a cabo al absorber la temperatura del aire y ser transferida por el cuerpo del componente hacia

las terminales, En el caso de los empaques tipo BGA. En estos sistemas el calor es generado por resistencias eléctricas y se usan ventiladores para crear el flujo de aire [22-23]. Este método es simple de aplicar, con un control de temperatura relativamente bueno, pero con un alto consumo de energía, además, debido a la tendencia de la miniaturización de los componentes, el flujo de aire puede generar un problema de mala alineación de los CI o en ciertos casos, la remoción del CI.

Otro de los sistemas que se pueden utilizar en la tecnología SMT para soldar, es el método de reflujo por radiación infrarroja, en el cual se utilizan lamparas para generar la temperatura requerida, donde estas lamparas tienen su pico de emisión de radiación en la región del espectro infrarrojo (IR) [21-22,24-29]. La tecnología de soldado por radiación IR, al igual que en el flujo de aire, intervienen dos fenómenos de transferencia de calor: la radiación térmica, la cual es generada por lamparas e incide directamente sobre los PCI y por conducción trasporta el calor a través del componente dirigiéndose las terminales, en el caso de los CI tipo BGA. Una de las ventajas principales es que mediante este método se puede obtener un control muy preciso de las temperaturas requeridas por las soldaduras libres de plomo, que son exigidas por las regulaciones internacionales del medio ambiente [2-7]. Otra de sus ventajas es que al no contar con un flujo de aire se evita el desalineamiento o desprendimiento del componente a soldar ya que al miniaturizarlos estos son más propensos a ser movidos por los flujos de aire.

En la industria cuando se requiere reparar un PCI, se utilizan sistemas de retrabajo los cuales solo calientan una parte del PCI para desoldar el CI que se desea remplazar, y de esta forma evitar la sobre fundición en el resto del PCI y otros problemas que se pueden presentar por este calentamiento los cuales se mencionaran más adelante. En el mercado se pueden encontrar diferentes sistemas para realizar esta tarea [21-26], siendo los sistemas de flujo de aire caliente y el de radiación IR los más utilizados.

En los sistemas de retrabajo por flujo de aire se hace incidir aire caliente sobre el CI que se requiere remplazar, al tener este flujo se tiene la posibilidad de la desalineación del componente a remplazar y de los elementos que se encuentran a su alrededor, otro inconveniente que presentan este tipo de sistemas de retrabajo es su distribución térmica, la cual es una distribución gaussiana, debido a esta distribución térmica al incidir el flujo de

aire en un componente la temperatura no es homogénea en toda la superficie del CI, con lo que podría dañar el nuevo CI al ser colocado.

En los sistemas de retrabajo por radiación infrarroja, se tienen sistemas ópticos para el guiado y el enfoque de la luz IR sobre los CI. Existen diferentes modelos de estaciones de retrabajo por luz IR que son usadas en el retrabajo de SMD [22-26], algunas de las ventajas sobre los sistemas de flujo de aire es su control de temperatura, el cual puede ser muy preciso, otra de sus ventajas es que al no utilizar un flujo de aire el problema de desalineación no se presenta, pero la mayor de sus ventajas es su distribución térmica uniforme [30], con lo que se evitan los daños al CI al colocarlo y se logra retrabajar solo un CI sin afectar a los elementos que lo rodea, evitando el desperdicio de energía y otros errores por el recalentamiento de la soldadura.

En los últimos años se están desarrollando CI con diferentes geometrías, tamaños y, las nuevas tecnologías que se encuentran en sus encapsulados, cuentan con conexiones eléctricas y ópticas [37,47,48], con el objetivo de contar con equipos que trabajen a mayor velocidad, menor ruido y menor consumo de energía. También se desarrollan CI con guías de onda internas [51], para realizar las operaciones con medios ópticos remplazando las conexiones eléctricas, sin embargo, algunas de estas tecnologías son sensibles a las temperaturas [74], por lo que los métodos utilizados para soldar y retrabajar los CI no pueden ser aplicados a esta tecnología, ya que estos métodos afectan a todo el CI, por lo cual sus terminales ópticas se verían afectadas por las temperaturas, teniendo esto en cuenta encontrar un nuevo sistema o la modificaciones de los sistemas actuales de soldadura y retrabajo, es de gran importancia para la implementación de las nuevas tecnologías.

Debido a sus características, los sistemas de retrabajo de radiación IR son ideales para esta modificación, al ser un haz de luz, este puede ser guiado y lograr que incida en un área específica. Dentro de estos sistemas se pueden encontrar los sistemas FILSS (por sus siglas en inglés: Focused Infrared Light Soldering System) [30], los cuales utiliza un arreglo de lentes para guiar la luz y crear una mancha de luz de perfil térmico homogéneo, sin embargo, este tipo de sistemas están limitados a una geometría específica de la mancha de luz, la cual depende de los elementos ópticos que se utilicen.

En este trabajo de tesis se presenta un estudio teórico simulado de dos sistemas de retrabajo IR basado en los sistemas FILSS, en los cuales se protegerán las zonas sensibles a la temperatura o se generará una geometría específica mediante obstructores ópticos. El objetivo de este sistema es crear una distribución de mancha de luz homogénea, plana y de geometría específica para el soldado de componentes con tecnología tanto eléctrica como óptica en el mismo empaque.

Capítulo 2

Tecnología de montaje superficial (SMT)

En este capítulo se realiza un resumen de algunas de las tecnologías de montaje, así como una presentación de los encapsulados SMT, sus técnicas de soldado y los problemas que se pueden presentar en el proceso de soldado.

Antes de las tecnologías de montaje superficial se contaban con diferentes métodos para fabricar lo que hoy llamamos circuitos impresos, entre ellos tenemos la tecnología Wire-wrap o enrollado de cable, la cual consiste en tener los elementos electrónicos colocados mediante perforaciones en una placa de material aislante y las conexiones se realizan enrollando en las terminales que se quieren unir con un cable conductor. Aun cuando esta tecnología ha decaído desde los años 70 se sigue utilizando esporádicamente. Una variación que se sigue utilizando son las conexiones telefónicas o conexiones de red en las cuales se utilizan navajas para perforar el aislante de los cables y realizan el contacto entre terminales y cables.

Hasta finales de la década de los 80, la tecnología de agujeros pasantes o THT (por sus siglas en inglés: Through-Hole Technology) fue la tecnología de montaje de mayor uso en la fabricación de PCI (Placa de Circuito Impreso) utilizándose en gran variedad de aparatos como radios y televisiones, esta tecnología consta de tomar la placa de aislante recubierta por una fina capa de cobre y crear conexiones a lo que llamamos pistas mediante distintos métodos de desbaste, una vez creadas estas pistas se realizan perforaciones para poder colocar los elementos y así ser soldados posteriormente, provocando que en muchos de los diseños solo puedan colocarse en un solo lado de la placa de PCI, por lo que cuando se requiere de un número muy alto de elementos este método no es viable o se requiere de

aumentar las dimensiones del producto final. Este método, aunque menos eficiente que los SMT se sigue utilizando sobre todo en etapas de potencia donde se requiere de una gran área de disipación térmica y de pistas de gran tamaño.

Debido a las limitantes de la tecnología THT, a finales de la década de los 60 se comenzó el desarrollo de la tecnología SMT y se volvió ampliamente utilizada para finales de los años 80 gracias a las compañías IBM y Siemens, siendo su principal característica y ventaja ser colocados sobre la superficie del PCI [11-20] sin la necesidad de perforar la placa, por lo que la colocación de componentes en ambas caras de la placa fue posible, así aumentando la cantidad de componentes por área que se puede colocar en las PCI. Gracias a esto obtenemos aparatos con dimensiones reducidas, costos de producción menores y mayor eficiencia. En la figura 2.1 se muestran las tecnologías de montaje Wire-wrap, THT y SMT.

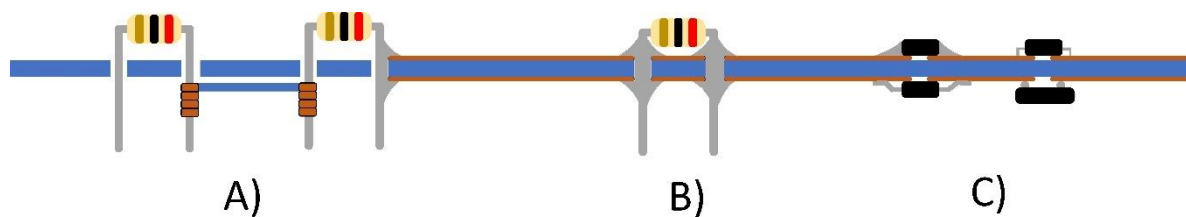


Figura 2.1. Esquema de las tecnologías de montaje: A) Componentes conectados por medio de Wire-wrap, B) Tecnología THT soldado a un PCI, C) tecnología SMT.

2.1 Componentes SMC

En los SMC (por sus siglas en inglés: Surface Mount Components) se puede encontrar todo tipo de elemento de electrónica como son los capacitores, resistencias, inductores, CI, transistores, entre muchos otros, los cuales pueden ser encontrados en cualquiera de los diferentes empaquetados de esta tecnología, por lo que tiene una amplia gama de aplicaciones.

Sin embargo, debido a las características de construcción de estos elementos muchos de ellos están diseñados para trabajar a potencias bajas no mayores a los 2 watts.

A continuación, se da una breve descripción de los elementos que pueden ser encontrados en la tecnología SMT.

Resistencias y capacitores.

Tanto las resistencias y capacitores SMT que exteriormente son muy similares, consisten de un cuerpo rectangular con terminaciones metálicas, usualmente de plata-paladio, siendo estos de los elementos más pequeños fabricados con esta tecnología, con dimensiones $0,4 \text{ mm} \times 0,2 \text{ mm}$.

Inductores.

En los inductores SMD, se pueden encontrar en diferentes formas y acomodo de la bobina ya sea vertical u horizontal la cual normalmente se encuentra a la vista y las terminales se pueden encontrar sobre la misma superficie o no.

Diodos.

Los diodos SMD, pueden encontrarse tanto en un encapsulado muy parecido al de las resistencias, así como en empaquetados cilíndricos parecidos a los diodos THT, pero las terminales se cambian por terminales tipo SMT.

Transistores.

En el caso de los transistores, el empaquetado es de una forma rectangular con tres terminales SMT normalmente del tipo alas de gaviota. Un ejemplo de este empaquetado es el SOT (Small Outline Transistor).

Circuitos integrados.

Los empaques de los CI de montaje superficial son de los más variados que se pueden encontrar contando con más de 50 modelos y de una gran variedad de tamaños, dentro de los cuales podemos mencionar los Small-Outline Integrated Circuit (SOIC), Thin Small-Outline Package (TSOP), Leadless Ceramic Chip Carrier (LCCC), Land Grid Array (LGA) y uno de los más usados el Ball Grid Array (BGA), solo por mencionar algunos.

Otra clasificación de los CI además del tipo de empaquetado es por el tipo de terminal, los cuales pueden ser divididos en 5 categorías: Alas de gaviota, terminales J, terminales Tapa, metalización sin terminales y terminación en bola.

Terminales alas de gaviota.

Esta es una de las configuraciones más populares, se utilizan donde se requiere una colocación fina o ultra fina, sin embargo, son susceptibles a doblarse por su forma y su pequeño tamaño y toma su nombre por su semejanza a las alas de las aves.

Terminales J

Esta categoría de terminal J o J-Lead, son más resistentes por su forma en forma de J de donde toma su nombre, sin embargo, la fabricación de esta terminal resulta difícil, así como su retrabajo.

Terminales en tapa

En esta categoría, las terminales son semejante a las de los THT pero no perforan la placa, debido a su forma de L invertida y su fabricación es más sencilla que las anteriores, sin embargo, su uso no es tan popular como el de las terminales alas de gaviota o J.

Metalización sin terminación

Estas terminales son una metalización de la cara del elemento para tener un punto donde soldar teniendo otra terminal en el lado opuesto del elemento, comúnmente usado en elementos sencillos como son resistencias, capacitores y diodo, lo cual, dependiendo del tamaño, los vuelve un elemento fácil de soldar con diferentes métodos de producción en masa, así como manuales como son el cautín.

Bolas de soldadura

En este caso las terminales se encuentran por debajo del CI en distribuciones variadas en forma de bolitas de soldadura, las cuales pueden ser de un tamaño pequeño de hasta .25mm de diámetro. Por lo que se pueden colocar cientos e incluso miles de bolitas en áreas pequeñas.

En la figura 2.2 se pueden observar las diferentes configuraciones de estas terminales.

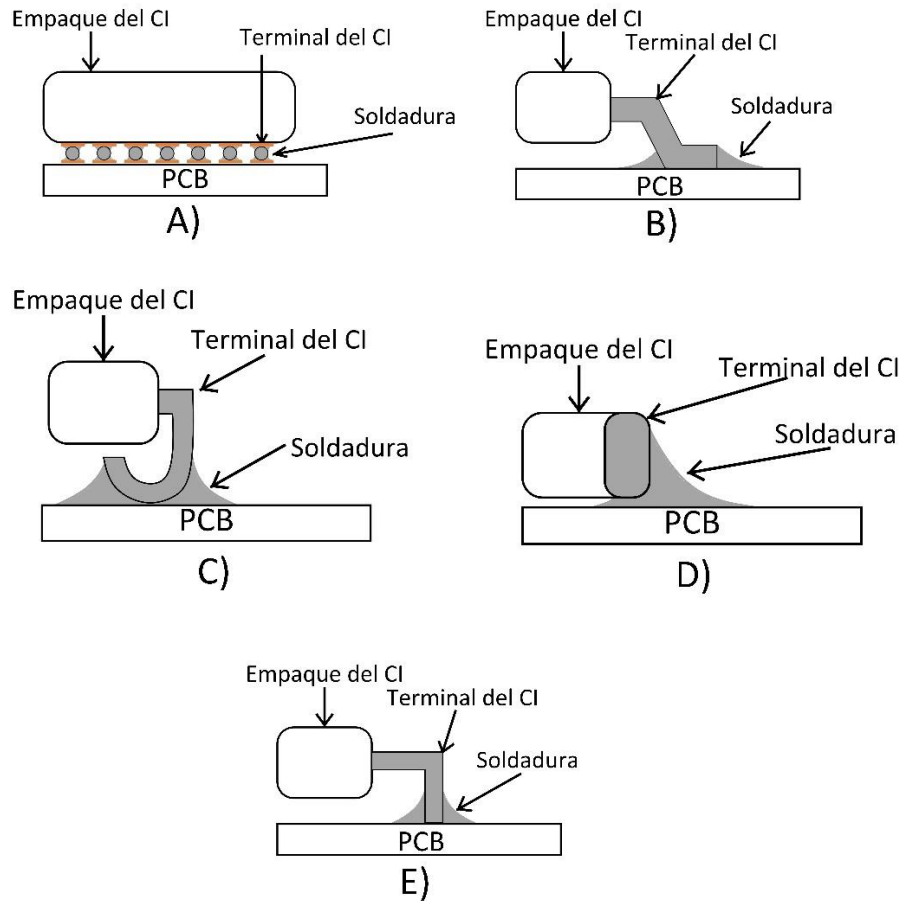


Figura 2.2. Configuración de terminales en CI para SMT. A) Terminal BGA, B) Terminales ala de gaviota, C) Terminales en J, D) Metalización sin terminal, E) Terminal en tapa.

2.1.1 Configuraciones de colocación y métodos de soldado de componentes en PCI.

Existen diferentes métodos para soldar componentes de diferentes tecnologías de montaje como son: la soldadura por reflujo, ya sea por convección de aire caliente o por radiación infrarroja, la soldadura por ola, por cautín o por adhesivos conductivos, para lo cual se requiere de un método de preparación y colocación del componente antes del tratamiento térmico.

2.1.1.1 Tipos de métodos de colocación de componentes.

Existen 3 tipos de colocación o preparativos que se requieren realizar antes del tratamiento térmico en un PCI y estos son determinados por el tipo de elemento que se requiere soldar.

Tipo I

En el tipo I se tienen SMC por ambos lados de PCI. Para la colocación de los componentes, se requiere de una pasta que promueve el proceso de soldado y además que provee cierta adherencia a los componentes para evitar ser desalineados, la cual es colocada con un esténcil, una vez que pasan por su tratamiento térmico, se le da vuelta a la placa y se repite el proceso en la otra cara del PCI, al pasar el segundo tratamiento térmico los componentes de la primera cara puede llegar a las temperaturas de fusión de la soldadura, lo cual en la mayoría de los casos no representa ningún problema ya que los componentes permanecen en su posición por la tensión superficial de la soldadura. En la figura 2.3 se observa una placa tipo I.

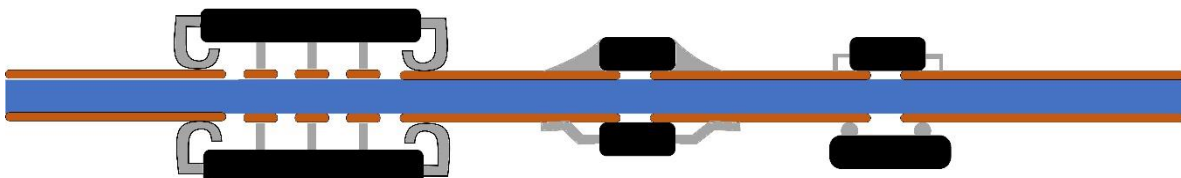


Figura 2.3. Placa de circuito impreso Tipo 1.

Tipo II

Las placas de tipo II cuentan con dos tecnologías de montaje la SMT y la THT con lo que se obtiene una placa híbrida de las dos tecnologías, por un lado de la placa, tenemos SMC y THC (Through-Hole Components) y del otro lado la placa puede tener SMC o ningún elemento, por lo cual se requiere de dos métodos de soldadura: soldadura por reflujo para los

componentes de SMC y soldadura por ola para los componentes THT. Si el diseño requiere de componentes SMD por ambas caras, se requiere de un adhesivo para los componentes como se muestra en la figura 2.4, que pasaran por la soldadura de ola en la cara inferior. Debido a que este tipo requiere de dos métodos de soldadura y en ocasiones de un pegamento el ensamble se complica lo que resulta en más costo de fabricación.

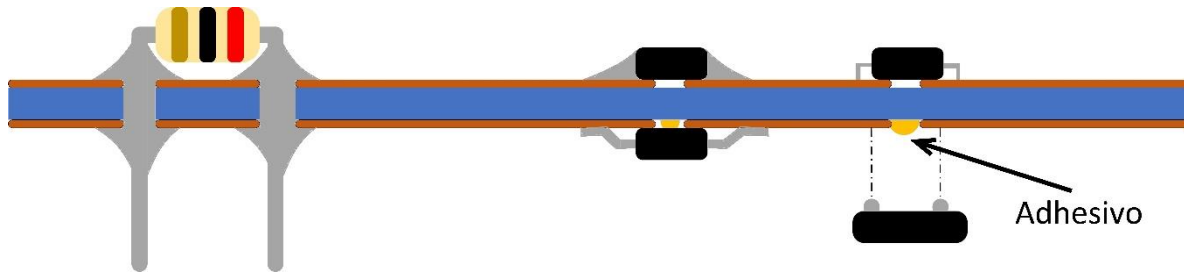


Figura 2.4. Placa de circuito impreso Tipo 2.

Tipo III

En el tipo III la placa tiene THC por un lado y SMC por el otro, por lo que se puede aplicar solo un método de soldadura, el de ola, para lo cual se requiere de adherir los SMC a la placa para pasar por el proceso. La figura 2.5 muestra un esquema de la colocación de los componentes en placas de tipo III.

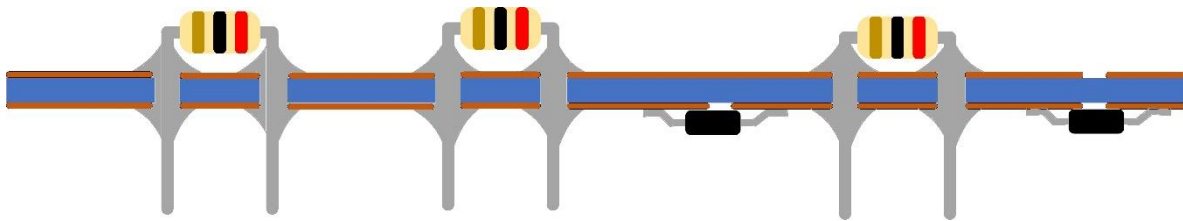


Figura 2.5. Placa de circuito impreso Tipo 3.

2.1.1.2 Procesos de soldadura de componentes.

Para el soldado de los componentes en las PCI existen distintos métodos, de los cuales ya se mencionaron dos anteriormente por ser los más utilizados, la soldadura de ola y el de perfil de reflujo.

2.1.1.2.1 Soldadura de ola

Este método de soldadura fue diseñado para los componentes THC. Al tener el PCI listo para el soldado se insertan los componentes pre-estañados en las perforaciones, después son pasados por un flujo laminar de soldadura y pasta con lo que todas las terminales quedan soldadas. Al estar en contacto con esta ola de soldadura derretida, el choque térmico es una gran preocupación, para evitar daños se precalientan los PCI. Cuando el diseño requiere de la implementación de THC en la parte superior y SMC en la parte inferior, el flujo laminar de soldadura al interactuar con los SMC es interferido por lo que se genera un efecto de sombra donde la soldadura no hace contacto con algunas terminales de los componentes. Para minimizar este efecto se utilizan dos diferentes flujos de soldadura, uno turbulento que asegura que todas las terminales estén en contacto con la soldadura y uno laminar para quitar el exceso de soldadura y evitar los puentes entre terminales.

2.1.1.2.2 Soldadura por reflujo.

Este método fue diseñado para soldar SMC, en este proceso la soldadura y la pasta para soldar son colocadas en el PCI mediante un estencil, para así proceder a la colocación de los componentes y después soldarlo. El método de reflujo consisten en meter la placa ya con los componentes colocados en un horno el cual está configurado para tener 4 etapas de temperatura: pre-calentamiento, pre-reflujo, reflujo y enfriamiento, al cual se le llama perfil de reflujo como se observa en la figura 2.6, este perfil de reflujo no tiene un estándar de temperaturas dependerá del fabricante y de la aleación de soldadura que se utilice, pero todos tienen un perfil similar, en la etapa de pre-calentamiento sirve para evitar daños de choque térmico y evaporar los disolventes de la pasta, este proceso tiene una duración de 60 a 90 segundos con temperaturas de 100°C-160°C, en el pre-reflujo la temperatura se aumenta y la pasta reacciona y remueve el óxido de las terminales con un lapso entre uno y dos minutos

elevando la temperatura hasta los 180°C , en la etapa de reflujo se alcanza el pico más alto de temperaturas entre los 220°C y 260°C con una duración entre 20 y 60 segundos, en esta etapa la soldadura llega a su punto de fusión derritiéndose y realizando la unión entre las terminales del componente y el PCI, en la etapa de enfriamiento como el nombre lo indica se deja enfriar para poder proceder a la etapa de prueba eléctrica, esta etapa puede tardar unos minutos, con lo que el proceso completo puede durar hasta siete minutos. Existen diferentes sistemas de soldadura por reflujo como lo son: la radiación IR, fase de vapor y por convección de aire forzado.

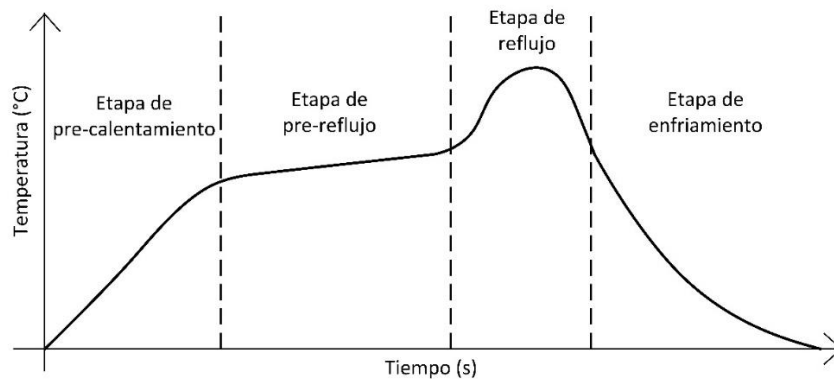


Figura 2.6. Perfil de temperatura de reflujo.

2.1.1.2.2.1 Soldadura de reflujo por radiación IR.

En este sistema se utilizan emisores IR o fuentes de luz IR como fuente térmica, estas fuentes IR pueden abarcar un amplio rango de longitudes de onda del espectro electromagnético, esto dependerá del tipo de emisor utilizado, como las lámparas de Cuarzo Tungsteno Halógeno (QTH por sus siglas en inglés: Quartz tungsten halogen) que van desde la región del ultravioleta hasta el IR lejano. A diferencia del de flujo de aire, en este sistema la temperatura incide directamente en los componentes que se quieren soldar y el proceso de transferencia de calor que se utiliza es el de radiación térmica.

2.1.1.2.2.2 Soldadura de reflujo por aire caliente.

En este método se utiliza aire caliente que es normalmente generado por resistencias eléctricas y ventiladores que mueven una masa de aire para generar el flujo y dirigirlo a los PCI a soldar, por las temperaturas y la presencia de oxígeno en el aire, puede generarse oxidación en la soldadura, aun cuando esto es controlado con la pasta para soldar, si esta es insuficiente puede generar oxido, en tal caso es utilizado nitrógeno con lo que se reduce este fenómeno.

Algunas de las ventajas que tiene este método son:

Estos hornos son sencillos de fabricar, utilizar y relativamente de un bajo en costo.

Toda la placa es calentada al mismo tiempo, por lo que los componentes son soldados al mismo tiempo reduciendo tiempo de producción y con un calentamiento relativamente uniforme con lo que se asegura que todas las terminales queden soldadas.

La trasferencia de calor está diseñada para evitar daños tanto para los componentes como para las PCI por choque térmico, así como para la activación de la pasta para soldar.

2.1.1.2.2.3 Soldadura de reflujo por vapor de fase.

En este método las placas son introducidas en una cámara la cual calienta un líquido inerte (Galden) el cual se evapora en rangos de 50°C a 270°C. Al seleccionar un líquido inerte que se evapore a 235°C, obtenemos un gas a temperatura ideal para soldar los componentes a los PCI. Al calentar el líquido, el vapor generado desplaza el aire de la atmosfera y al ser de una densidad mayor, el vapor se mantiene en la parte inferior de la cámara. Con lo cual se obtiene un entorno a temperatura constante.

Algunas de las desventajas de esta técnica, es que está diseñado para producción a baja escala y al generar ser un aumento abrupto de temperatura puede dañar los componentes por choque térmico.

2.1.1.2.3 Soldadura laser.

En la soldadura por láser, el haz de luz debe incidir directamente sobre la soldadura y las terminales para lograr elevar la temperatura hasta el punto de fusión, por lo que este método no sirve para componentes que no tengan sus terminales a plena vista como son los BGA.

2.1.2 Problemas en las etapas de colocación, soldado y re-trabajo de componentes electrónicos.

Dependiendo del tipo de encapsulado, los componentes son propensos en mayor o menor medida a distintos problemas como son: la insuficiente soldadura, mala auto-alineación, mala unión en la soldadura, huecos, puentes, aperturas, delaminación, el efecto popcorn, entre otros.

Efecto popcorn.

Al encapsular los CI humedad o gases puede quedar atrapados en el empaque, este efecto se da cuando se calientan los componentes en el proceso de soldadura, la humedad y gases atrapados en el encapsulado se expanden por la elevación de la temperatura rompiéndolo o explotando como palomita. Al igual puede suceder en las bolitas de soldadura en los BGA.

Insuficiente soldadura

Esto sucede cuando la cantidad de soldadura es insuficiente para el área de contacto.

Mala auto alineación

La auto-alineación sucede cuando, al colocar el componente en el PCI, este al ser colocado está ligeramente desalineado, pero es auto-corregido por la tensión superficial de la soldadura alineando el componente.

Se considera una mala auto alineación, cuando el porcentaje de desalineación del componente es de 50% o mayor. Este fenómeno se puede dar por muchos motivos como una mala colocación del componente, un volumen de soldadura insuficiente, una pasta para soldar de baja calidad, cambios químicos de la soldadura, tensión superficial deficiente, entre otras.

Mala unión de la soldadura

Este fenómeno principalmente es causado por la oxidación de la soldadura causando una unión opaca. Esto sucede por la utilización de una pasta de soldadura de baja calidad o algunas condiciones en el ambiente, lo que puede terminar en una soldadura quebradiza y una conducción deficiente, a la cual también se le conoce como soldadura fría.

Vacíos o huecos en la soldadura

Estos vacíos se pueden observar en la soldadura del BGA, son considerados un tema de controversia dado a la gran cantidad de fenómenos que pueden generarlos, como la evaporación de los solventes de la pasta para soldar, el cual crea estas burbujas en la soldadura, el tamaño del polvo de soldadura, la atmosfera de reflujo, la calidad de las diferentes partes que interviene como los pads (conexiones eléctricas de los componentes en las PCI) la soldadura, la pasta, entre muchas otras condiciones, genera una unión mecánica débil con lo que la vida útil del aparato disminuye.

Aun cuando las compañías toman medidas preventivas el fenómeno se presenta, por lo que cada compañía maneja un porcentaje de vacíos que pueden ir del 15% a 25%.

Puenteos

Los puenteos son uno de los principales problemas en la soldadura. En los últimos años al aumentar la cantidad de terminales en componentes cada vez más pequeños este fenómeno aumentó, en los BGA puede darse por una mala fusión de las bolas de soldadura cuando se aplica un perfil de reflujo inadecuado, un exceso de pasta de soldadura, la delaminación y el efecto popcorn.

Aperturas

Las aperturas son la falta de contacto entre la bolita de soldadura y los pad del PCI y pueden ser causadas por múltiples factores, la insuficiencia de volumen de soldadura, pobre fusión de la soldadura, la mala colocación de los dispositivos, la expansión térmica, entre otros.

Uniones con alturas diferentes

En ocasiones por la acción de la expansión térmica, los empaques de los componentes como los BGA se deforman curvándose cuando este empieza a enfriarse, esto causa que algunas uniones queden a una altura distinta al resto o incluso no se llega a dar esta unión.

Sobre fundición

La sobre fundición o Dewetting es un problema que compromete las uniones de la soldadura reduciendo su tamaño, este se da al sobre fundir la pasta de soldadura, teniendo como efecto que esta no se esparce sobre toda el área que se requiere cubrir con lo que se obtiene un área de soldado menor al esperado.

Efecto lápida

El efecto lapida o tombstone recibe su nombre por el parecido a las lapidas al generarse el efecto, esto sucede cuando se está calentando un componente para ser soldado, normalmente en componentes de 2 terminales, un lado se calienta más por lo que la soldadura en ese lado se funde primero y por tensión superficial la soldadura levanta el componente asemejando una lápida.

Capilaridad

La capilaridad es una propiedad de los fluidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión del fluido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por superficies, tubos, o superficies que se encuentran muy próximas entre sí.

En este fenómeno la soldadura al fundirse por capilaridad sube por la terminal, lo que provoca una desconexión de este terminal con el pad. Si alguna terminal esta doblada o dañada separándola del pad, el efecto de capilaridad aumenta.

2.2 Tecnología Electro-Óptica y óptica integrada.

El guiado de la luz con dieléctricos, el cual fue demostrado experimentalmente en la década de los años 60, estimulo la investigación de elementos semiconductores que guiaran la luz para remplazar a las señales eléctricas por señales ópticas, el motivo para realizar este cambio de señales eléctricas a señales fotónicas es su bajo consumo de energía, el mayor ancho de banda y su inmunidad al ruido de las señales electromagnéticas [31].

Bajo este contexto, surge en 1969 el concepto de óptica integrada por Miller [32]. Un sistema óptico integrado es una combinación de componentes individuales, que generalmente incluyen una fuente de luz, guías de onda, acopladores para la conexión entre componentes, detectores y elementos de control como son moduladores, resonadores, multiplexores, interruptores, etc. Aun cuando el guiado, los detectores y los acopladores ópticos pueden

realizarse exclusivamente con elementos ópticos, el control y procesamiento actualmente se realiza con señales eléctricas, por lo que un sistema que maneje únicamente luz aun no es fabricado, estos sistemas que combinan la luz y la electricidad para la captación de información reciben el nombre de electro-óptico, como son los fotodetectores, fotodiodos, fototransistores, guías de onda fabricadas en semiconductores, entre otros. Estos dispositivos se desarrollaron debido a la necesidad de una mayor velocidad de transferencia de datos con un menor ruido y atenuación de la señal transmitida.

2.2.1.- Fibra óptica

El funcionamiento de las fibras ópticas está basado en la reflexión total interna en el cual, cuando la luz incide en cierto ángulo en un extremo de la fibra, llamado ángulo crítico, la luz es reflejada por el material que rodea al núcleo impidiendo que se tengan perdidas hasta llegar al otro extremo [36] como se muestra en la figura 2.7.

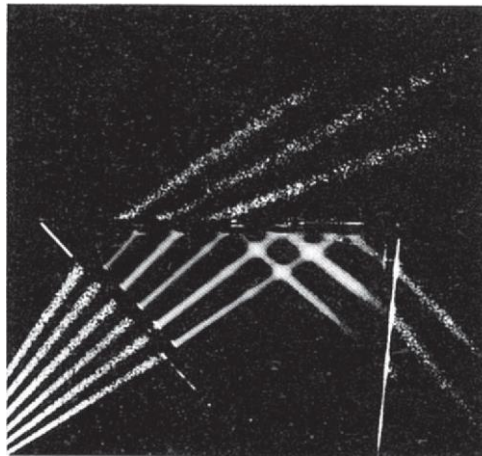


Figura 2.7. Reflexión total interna [].

Las fibras ópticas en las comunicaciones, son utilizadas como una guía de onda para la transmisión de información en forma de luz. Las fibras ópticas son generalmente filamentos en forma cilíndrica, los cuales pueden fabricarse de un núcleo de vidrio con un revestimiento de plástico o vidrio de un índice de refracción menor al núcleo.

Aun cuando la fibra óptica se ha utilizado a gran escala en los últimos años, el fenómeno de transmisión de luz en un medio que no sea el aire o el vacío fue demostrado en

1870 por Tyndall quien experimentó con un chorro de agua para conducir la luz, 10 años después, Bell estudio la posibilidad de transmitir información en un rayo de luz, siendo hasta 1989 que se logra fabricar una fibra óptica con un desempeño muy bueno y con una atenuación de .16 dB/km [35].

2.2.2 Componentes electro-ópticos.

En 1905 Albert Einstein formulo su teoría del efecto fotoeléctrico, gracias a esta teoría y décadas después se desarrollaron las tecnologías optoelectrónicas, pero no fue sino en los últimos años, que por el alto flujo de datos que se requiere manejar y la tendencia a miniaturizar los equipos, se están desarrollando componentes que tiene conexiones y sistemas de procesamiento tanto eléctricas como ópticos, son llamados componentes electro-ópticos. Muchos de estos componentes están basados en los fenómenos de interferómetro, refracción, el efecto Kerr [33], entre otros.

El efecto Kerr también llamado efecto electro-óptico cuadrático, está dado por un material, como el Niobato de litio, al cual si se le aplica un campo eléctrico este cambia las propiedades ópticas del material como lo es su índice de refracción. Y de igual forma al aplicar un campo magnético, puede cambiar características de ciertos medios o reflectores, como sería la polarización, al cual se le conoce como efecto magneto-óptico [34].

Algunos de los componentes electro-ópticos son conectados a los PCI mediante contacto, sin ser soldados al PCI o mediante tecnología THT. En la figura 2.8 se puede observar un prototipo que toma un empaque PGA (por sus siglas en inglés: Pin Grid Array) y se realiza una conexión con fibra óptica mediante un acoplador de rejilla [37-41, 43].

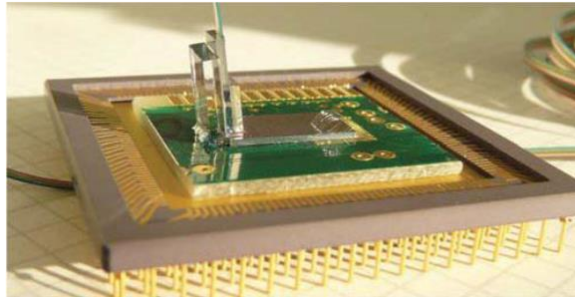


Figura 2.8. Prototipo g-Pack con estructura de rejilla para el acoplo de la fibra óptica [].

En la figura 2.9 se puede observar un empaquetado tipo QFN (por sus siglas en inglés: Quad Flat No-leads) el cual tiene una conexión óptica conocida como Pigtailed [43,44] el cual puede colocarse por contacto o ser soldado en los PCI.

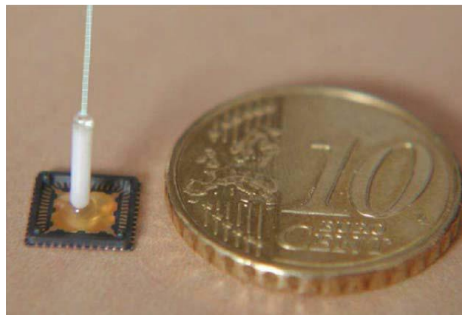


Figura 2.9 Dispositivo con empaquetado óptico-electrónico QFN con conexión tipo pigtailed.

Otro diseño para este tipo de componente se basa en la orientación de la fibra óptica, colocando el CI en un flex (abreviación para cable plano flexible) este puede ser posicionado en la inclinación que se requiera para logra conectar la fibra en la orientación necesaria [45] para la aplicación requerida, como se observa en la figura 2.10.

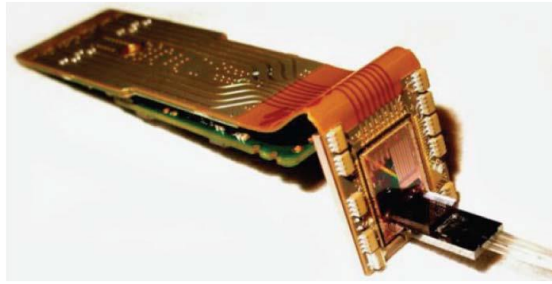


Figura 2.10 Dado CMOS 4×10 Gb/s WDM montado en un flex.

Una desventaja que comparten estos diseños es la limitación de la velocidad de trabajo debido a sus conexiones eléctricas de contacto. Para solucionar este problema, se han desarrollado empaques que son soldados en los PCI, conocidos como mariposa, los cuales se pueden observar en la figura 2.11.

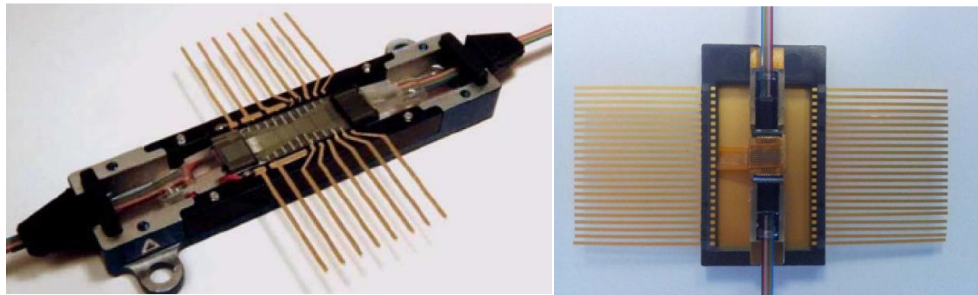


Figura 2.11. A) Fotografía de VAO (por sus siglas en inglés: Variable Optical Attenuator) de 8 canales manufacturado por la compañía Kotura (Mellanox Technologies). B) Fotografía de un componente con conexiones eléctricas y ópticas desarrollado por Mercè Llopis Ferrer en la Universidad Politécnica de Valencia

En estos componentes las terminales eléctricas se encuentran a los laterales del empaque por lo cual pueden ser soldadas sin dañar los elementos ópticos y los flex que los conectan con las terminales eléctricas [37,43,46].

Otro componente recientemente desarrollado y que requiere del proceso de soldadura es un empaque tipo BGA con las terminales ópticas colocadas sobre el componente como se muestra en la Figura 2.12.

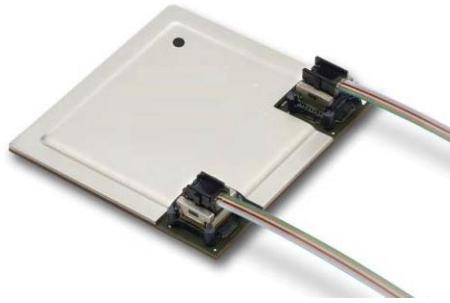


Figura 2.12. BGA con terminales ópticas [].

Algunas de las ventajas de estos componentes que cuentan con conexiones ópticas y que requieren del proceso de soldadura es su alta velocidad de respuesta y su reducción de tamaño, en la figura 2.13 se realiza una comparación de un sistema modular donde los transceptores y conectores ópticos se encuentran separados del CI y un BGA óptico-electrónico [47].



Figura 2.13. Tablero de prueba que contiene un BGA con conectores integrados MicroPOD 12 marcados en la figura de color rojo, mientras que en color azul están marcadas las conexiones ópticas y eléctricas previas a la tecnología óptico-electrónicas [].

2.2.3 Conectores y empalmes de fibra óptica

Los conectores y empalmes son utilizados para enlazar fibras ópticas los cuales realizan transferencia de luz entre guías de onda. Los conectores son dispositivos de conexión separable que permiten la continuidad de la luz entre guías de onda hasta llegar al fotodetector, mientras que los empalmes son conexiones permanentes que se dan entre fibras ópticas ya sea por reparación o por la necesidad de extender la fibra óptica.

Existen distintos métodos de empalmes como son por fusión directa, HHT (por sus siglas en inglés High frequency High voltage Trigger), adhesivos, pre-fusión y corte de la fibra.

Uno de los conectores que se encuentra en el mercado son los SC (por sus siglas en inglés: Square Connector) los cuales se muestran en la figura 2.14, considerado uno de los conectores más utilizado en redes de computadora y televisión por cable, junto con los LC (por sus siglas en inglés: Little Connector), los cuales en su forma son muy semejantes al SC, pero como su nombre lo indica son más pequeños.

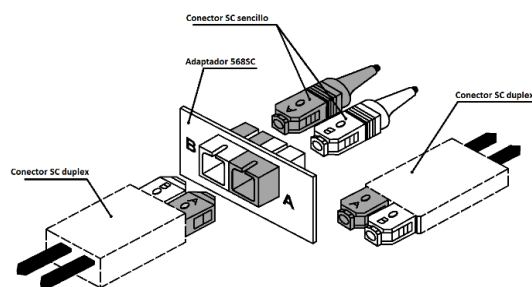


Figura 2.14. Conectores para fibra óptica SC.

2.2.3.1 Avago MiniPOD y MicroPOD

Dentro de la industria de componentes ópticos-electrónicos, la compañía Avago es una de las empresas que desarrolla conectores para fibra óptica como son los POD (por sus siglas en inglés: Parallel Optical Device) con las familias MiniPOD y MicroPOD, los cuales

tienen un acoplamiento mecánico para las fibras ópticas y conexiones eléctricas tipo LGA para conectarse al CI que lo requiere [48] como se muestran en la figura 2.15.

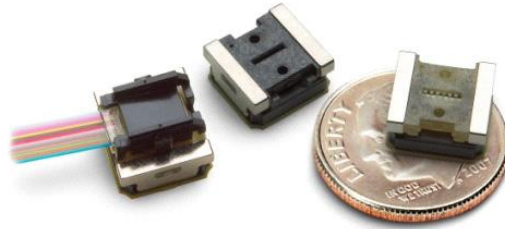


Figura 2.15. Conector MicroPOD AFBR-77D1SZ, AFBR-78D1SZ.

2.2.3.2 Acoplador de rejilla

En el acoplador de rejilla el rayo de luz que sale de la fibra óptica incide sobre la superficie de la rejilla con un ángulo que está directamente relacionado con las características de la rejilla y dirigiendo la luz a la guía de onda en los semiconductores [37, 41] como se observa en la figura 2.16.

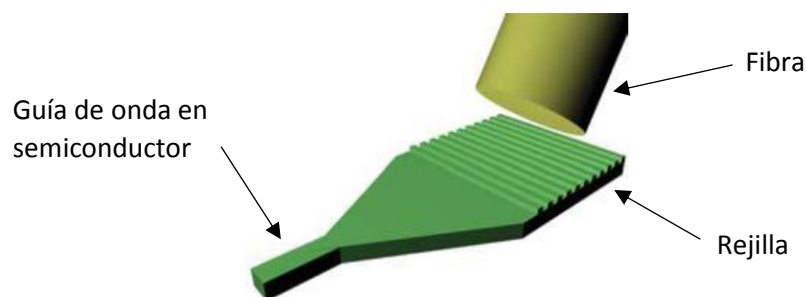


Figura 2.16. Acoplador de rejilla.

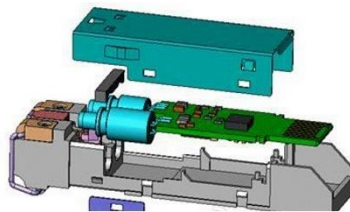
2.2.3.3 Pigtailed.

Se le conoce como Pigtailed a una fibra óptica donde uno de sus extremos está libre mientras que el otro extremo se encuentra conectado al dispositivo o a un conector con el que

se va a trabajar, en otras palabras, está disponible para colocarse un conector óptico o para crear un empalme.

2.2.3.4 Transceptores ópticos

Los transceptores son dispositivos que cuentan tanto con receptores y emisores dentro del mismo empaque, como se observa en la figura 2.17.



A)



B)

Figura 2.17. A) Vista interna de Transceptores ópticos. B) Transceptores óptico de la compañía Cisco.

2.2.3.5 FireFly

La compañía Samtec desarrolló unos conectores con guías de onda que se utilizan para conectar distintas partes de un PCI pasando por encima de otros componentes, como se puede observar en la figura 2.16.

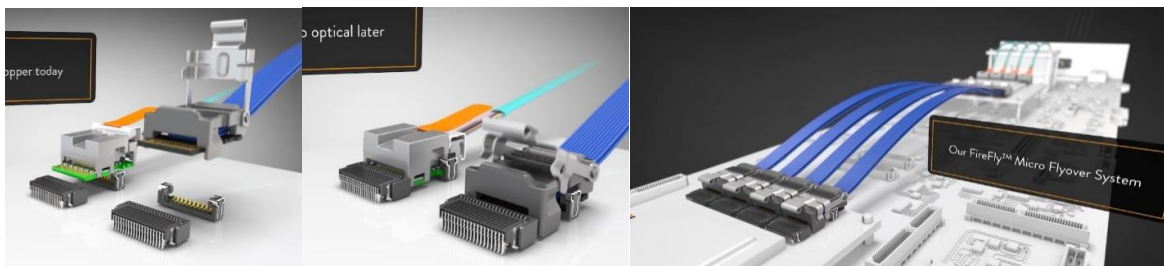


Figura 2.18. Conectores FireFly.

2.2.3.6 Light

Por parte de la compañía reflexphotonics se cuenta con la familia light de transceptores, como son los LightSPACE, LightVISION y LightABLE los cuales se observan en la figura 2.19.

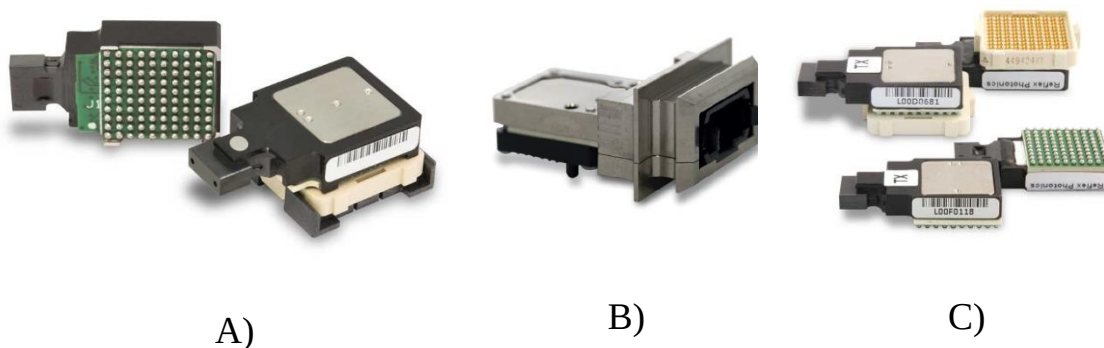


Figura 2.19. Conectores Light de la compañía reflexphotonics: A) LightSPACE, B) LightVISION, C) LightABLE.

2.2.4 Tecnología óptica integrados

A diferencia de los componentes optico-electronicos, los componentes ópticos integrados realizan su función solo utilizando luz con el objetivo de remplazar la tecnología electrónica por una fotónica, a este concepto se le conoce como AOIDs (por sus siglas en Ingles: All-Optical Integrate Device) [49], como son guías de onda fabricadas en sílice, multiplexores, demultiplexores, amplificadores de luz, osciladores, compuertas lógicas, diodos y muchos otras.

2.2.4.1 Guías de onda en semiconductores.

Al igual que las fibras ópticas, en las guías de onda semiconductoras se utiliza un material para la confinación y guiado de la luz, utilizando películas delgadas, debido a sus características mecánicas, ópticas y su abundancia en la naturaleza uno de los materiales que

se utiliza como base para la fabricación de estas guías de onda es el silicio, en la tabla 2.1 [51] podemos observar las características de estos materiales.

Tabla 2.1 Característica de los materiales.

material	Índice de refracción	Grueso (nm)
Si	3.42	
SiO ₂	1.48	300
Si ₃ N ₄	1.97	600

Una vez elegidos los materiales adecuados se puede diseñar la guía de onda bajo algunas normas de fabricación de los semiconductores, obteniendo un resultado como se muestra en el esquema de la figura 2.20.

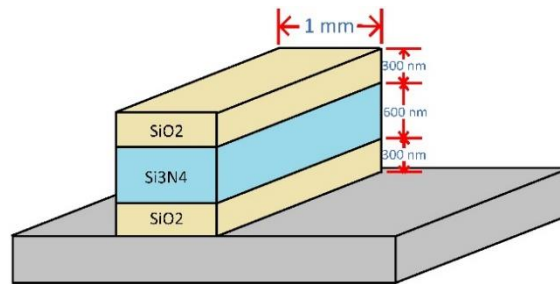


Figura 2.20 Fabricación de guías de onda ópticas en silicio utilizando óxido de silicio y nitruro de silicio

2.2.4.2 Compuertas Lógicas Ópticas

Una compuerta lógica es un dispositivo que su salida puede tomar uno de dos valores, encendido o apagado, en otras palabras, es un dispositivo bi-estable. En los dispositivos ópticos, esto se logra con un material que tiene alguna característica no lineal, por ejemplo, el índice de refracción, este podría variar con respecto la potencia óptica que incide en el material. Supongamos un material de índice de refracción n_1 , el haz de luz que incide sobre el materia es refractado en un ángulo tal que el haz de luz es dirigido lejos de la salida del

material (0 en la salida en términos de electrónica), esto es para una potencia óptica baja de entrada, en cambio si la potencia de entrada es lo suficientemente alta, el índice de refracción cambia a n_2 cambiando el ángulo en que es refractado el haz de luz dirigiéndolo a la salida del material (1 en la salida en términos de electrónica) [49, 52].

2.2.4.3 Flip-Flops ópticos

Los flip-flop ópticos al igual que su contraparte electrónica, son dispositivos que almacena un bit de información y su funcionamiento se basa en señales de control de set y reset que activa y desactiva las salidas del flip-flop [49-53].

2.2.4.4 Multiplexores y Demultiplexores.

Los Multiplexores por División de Longitud de Onda WDM (por sus siglas en inglés: Wavelength Division Multiplexing), es una tecnología que multiplexa varias señales en una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda. En otras palabras, el funcionamiento de esta tecnología es similar a la división de la luz en un prisma por la refracción, al tener multiples longitudes de onda que inciden sobre un material refractante estas pueden ser dirigidos a un punto para ser conducidas a la entrada de una fibra óptica, en el otro extremo se cuenta con otro material refractante el cual separa la luz para ser analizadas individualmente, como se observa en la figura 2.21 [54,55].

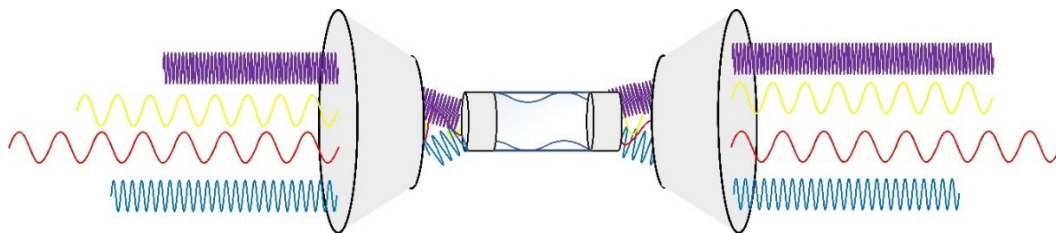


Figura 2.21. Multiplexores y Demultiplexores óptico.

Capítulo 3

Fundamentos ópticos

En este trabajo de tesis se realiza un estudio de simulación para el desarrollo de un prototipo de sistema de retrabajo, para una gran variedad de componentes electrónicos por medio de luz infrarroja, el cual está basado en los sistemas FILSS. El propósito de este sistema es obtener una distribución térmica uniforme y una forma geométrica específica para un componente específico, sea cuadrado, rectangular, triangular o de una forma específica. Por lo que en este capítulo se presentan los fundamentos ópticos necesarios para el diseño de este sistema óptico.

Refracción.

La refracción está definida por la ley de Snell, la cual indica que el ángulo de salida del rayo refractado está relacionado con el ángulo de incidencia de este y el índice de refracción de los medios que atraviesa. Este fenómeno está definido en la ecuación (3.1).

$$n_1 \text{sen}(\theta_1) = n_2 \text{sen}(\theta_2) \quad (3.1)$$

Donde θ_1 es el ángulo de incidencia del haz de luz sobre el material refractante, n_1 es el índice de refracción del medio antes del material refractante, θ_2 es el ángulo en que el rayo cambia de dirección al ser refractado y n_2 es el índice de refracción del material refractante. En la figura 3.1 se puede observar como los rayos son refractados dependiendo de su ángulo

de incidencia y trayectoria del rayo, posteriormente se explica cada una de las partes que intervienen en este sistema óptico.

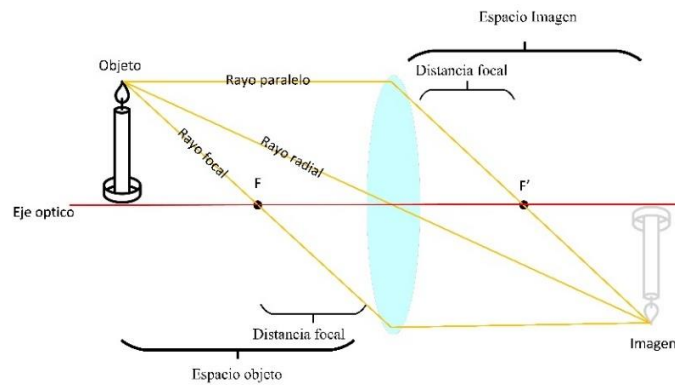


Figura 3.1. Trazo de rayos en lente convergente.

Eje óptico

Es la línea imaginaria que recorre el centro de un sistema óptico.

Objeto óptico

Es toda fuente de luz, primaria o secundarias, que envía rayos hacia el sistema óptico.

Imagen

Es formada a partir de los objetos en los sistemas ópticos y se pueden clasificar en dos formas, imagen real e imagen virtual. Se dice que una imagen es real si está formada por dos rayos refractados convergentes, mientras que una imagen virtual es cuando se toma la prolongación de los rayos refractados divergentes para formar la imagen.

Espacio objeto

Es el espacio donde se encuentra el objeto.

Espacio imagen

Es el espacio donde puede generarse la imagen, este puede coincidir o no con el espacio objeto creando así las imágenes reales y virtuales.

Foco

El foco, es el punto donde convergen los rayos de luz originados desde un punto en el objeto observado normalmente representado con la letra F. Aunque el foco es conceptualmente un punto, físicamente el foco tiene una extensión espacial.

Foco objeto.

Punto F del eje óptico cuya imagen se encuentra en el infinito del espacio imagen.

Foco imagen

Punto F' del eje óptico que es la imagen de un punto del infinito del espacio objeto.

Distancia focal

Es la distancia definida entre el centro óptico del elemento y su foco cuando se está enfocando al infinito. La distancia focal de una lente está dada por la ecuación (3.2).

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.2)$$

Donde f es la distancia focal, n es el índice de refracción de la lente, R₁ y R₂ son los radios de curvatura de las superficies 1 y 2.

Asimismo, esta distancia focal puede definirse por el trazo de rayos con la ecuación (3.3).

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{I} = \frac{1}{f} \quad (3.3)$$

Donde O es la distancia del centro de la lente al objeto e I es la distancia del centro de la lente a la imagen.

Magnificación

La magnificación de una lente es la relación entre el tamaño del objeto y el tamaño de la imagen resultante y está definida por el modelo (3.4).

$$I' = \frac{I}{o} O' \quad (3.4)$$

Donde I y O son las distancias de la imagen y del objeto a la lente, e I' y O' son las alturas de la imagen y del objeto, respectivamente.

Rayo paralelo

Estos son los rayos que viajan paralelos al eje óptico y al atravesar la lente convergente el rayo es dirigido al foco imagen.

Rayo focal

Estos rayos parten del objeto pasando por el foco objeto y llegan a la lente cambiando su dirección en forma paralela al eje óptico.

Rayo radial

Este rayo parte del objeto y se dirige al centro de la lente, por lo que el rayo continua su trayecto sin ser desviado.

3.1 Óptica geométrica

La óptica geométrica se encarga de estudiar los elementos ópticos mediante el trazo de rayos que incide en ellos, ya sea reflejándolos, absorbiéndolos, transmitiéndolos, difractándolos o refractándolos, mediante la ley de Snell.

3.2 Elementos ópticos

3.2.1 Reflectores

Los reflectores son elementos que están diseñados para reflejar la luz, estos son fabricados con distintos materiales y de distintas formas, como son los reflectores elípticos y parabólicos [56-59].

Los reflectores elípticos esta basados en las elipses, las cuales son figuras geométricas curvas y cerradas con dos ejes perpendiculares desiguales como se puede observar en la figura 3.2, la cual tiene 2 focos equidistantes al centro F_1 y F_2 .

Si se selecciona un punto P en cualquier parte de la elipse y se mide la distancia hacia los focos, se encontrará que esta es constante e igual a la longitud del diámetro mayor y esta relación está dada por la ecuación (3.5):

$$PF_1 + PF_2 = 2a \quad (3.5)$$

Si colocamos una fuente de luz puntual en algunos de los focos, el trazo de rayos da como resultado que todos los rayos reflejados cruzan el otro foco y si colocamos la fuente de luz antes o después del foco estas trayectorias cambian y no necesariamente pasan por el otro foco como se muestra en la figura 3.2 [59].

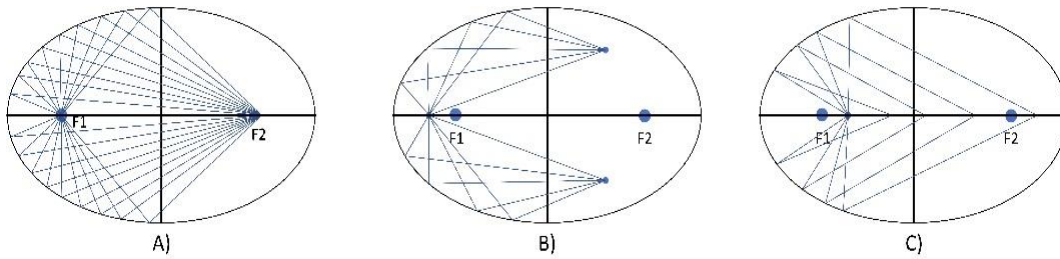


Figura 3.2. Reflectores elípticos: A) Fuente de luz en el foco. B) Fuente de luz antes del foco. C) fuente de luz después del foco.

3.2.2 Lentes esféricas

Las lentes esféricas son elementos ópticos fabricados en materiales transparentes que refractan la luz, y se les da este nombre debido a que las caras de la lente son porciones de una esfera, ya sean convexas, cóncavas o una combinación de ambas llamadas meniscos.

La función de estas lentes es el de concentrar, dispersar o colimar la luz, por lo que también se les conocen como lentes convergentes, divergentes y colimadoras, el ángulo en que la luz es refractada está dado por el material en que está fabricada la lente, su curvatura, la longitud de onda de los rayos y el ángulo en que estos rayos inciden en la lente.

A la propiedad de refracción de los materiales se le conoce como índice de refracción y se representa con la letra n y está definida por la ecuación (3.6).

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.6)$$

Esta ecuación es utilizada para describir la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio como las lentes, donde n es el índice de refracción, c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de la luz en un medio.

3.2.2.1 Lentes convexas

Estas lentes tienen como características ser delgadas en sus extremos y gruesa en el centro, pueden encontrarse tres tipos de lentes: plano-convexa, biconvexa y menisco el cual es un lado cóncavo y otro convexo.

En este tipo de lente, cuando los rayos inciden paralelos al eje óptico, estos son refractados y convergen en un punto, por lo que también se le conoce como lente convergente, mientras que cualquier rayo no paralelo que pase por el foco objeto y atraviese la lente será refractado en forma paralela al eje óptico y los rayos que pasan por el centro óptico de la lente no serán desviados.

Una de las características de las lentes que se tiene que tomar en cuenta para seleccionar la indicada es la apertura numérica (N.A), la cual describe la capacidad de captación de luz. La apertura numérica puede obtenerse mediante la ecuación (3.7).

$$N.A = n \sin \theta \quad (3.7)$$

Otro de los factores a tomar en cuenta son el numero F (F/#), el cual es una relación entre el diámetro de la apertura de la lente D y la distancia del foco f de la lente como se mostró en la figura 3.1.

3.2.2.2 Lente cóncavas

Las lentes cóncavas son delgadas en el centro y gruesas en sus extremos. A estas lentes se le conoce como lentes divergentes debido a que si un rayo incide paralelamente al

eje óptico, éste diverge. Las lentes cóncavas se dividen en tres: plano-cóncava, bicóncava y menisco divergente.

La imagen que se obtiene mediante este tipo de lente se le conoce como imagen virtual ya que esta es generada con las prolongaciones de los rayos difractados, por lo que el foco imagen y el foco objeto se encuentran en el mismo espacio como se muestra en la figura 3.3.

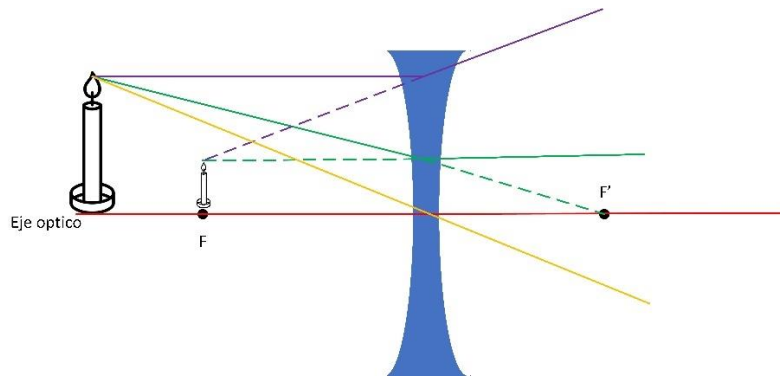


Figura 3.3. Trazo de rayos lente divergente.

3.2.3 Lente asférica

El termino asférica hace referencia a todo lo que no es parte de una esfera, pero cuando se habla en términos de óptica se habla específicamente de un subconjunto de esféricos que son simétricos rotacionalmente con radios de curvatura que varían radialmente desde el centro de la lente, en otras palabras, el radio va cambiando conforme nos alejamos del centro como se muestra en la figura 3.4.

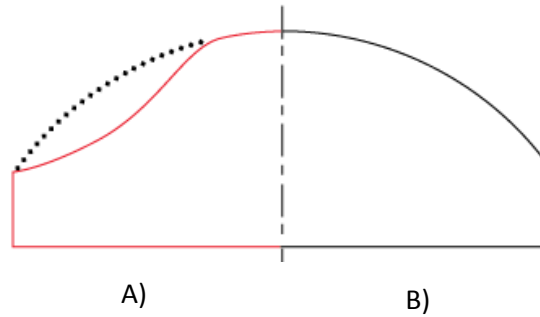


Figura 3.4. Comparación de lente asférica lado A) con lente esférica lado B).

Una de las funciones de estas lentes es eliminar la aberración esférica, esta aberración es un defecto de las lentes en el cual los rayos que inciden paralelamente al eje óptico y cerca de este son concentrados en puntos distintos.

3.2.4 Homogeneizadores de haz

3.2.4.1 Difusores

Un difusor, es un elemento que dispersa la luz con lo que se obtiene una iluminación más uniforme, esto se logra gracias a su superficie aleatoria la cual refracta en muchas direcciones el haz de luz que incide sobre este. Algunos de los difusores que podemos encontrar son los difusores holográficos, de cristal opaco y de vidrio esmerilado.

Existen distintos métodos para obtener un difusor, en esta sección se habla un poco de los difusores esmerilados, los cuales pueden fabricarse con diferentes métodos de desbaste ya sea químico o físicos, con lo que se generan una gran cantidad de imperfecciones en la superficie del material, obteniendo múltiples caras en la superficie de distintos tamaños y formas, lo que produce una refracción de forma aleatoria creando una distribución aparentemente uniforme. Al contar con este tipo de superficie, la transmisión del vidrio es afectada siendo de aproximadamente un 75%, por lo que se requiere sacrificar la intensidad por la homogeneidad de la luz, como se observa en el trazo de rayos en la figura 3.5.

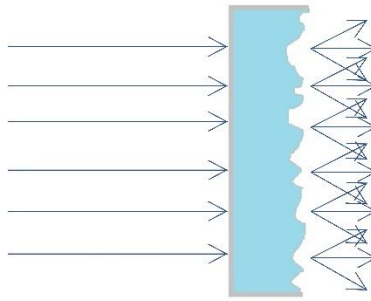


Figura 3.5. Difusor esmerilado.

3.2.4.2 Multi-lentes.

Una multi-lente o matriz de lentes es un elemento no formador de imagen, mediante el uso de dos multi-lentes y una lente convergente se logra obtener una mancha de luz homogénea. Al incidir un haz luz en una multi-lente esta crea múltiples imágenes, las cuales inciden en la segunda multi-lente creando múltiples imágenes de las ya multi-imágenes, mediante una lente convergente se colectan los rayos, para ser concentrados, obteniendo una mancha de luz homogénea en el punto focal de esta lente.

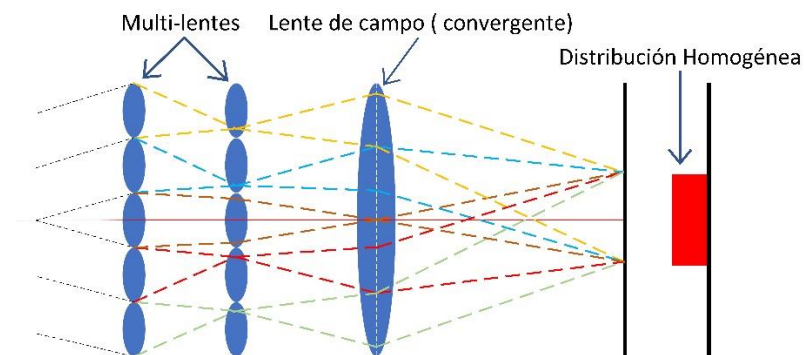


Figura 3.6. Arreglo Multi-lente para obtener una distribución de mancha de Luz homogénea.

3.4 Luz coherente

Se le llama luz coherente cuando las ondas que conforma el haz se encuentran en fase y viajan en la misma dirección, en otras palabras, para ser coherente esta tiene que ser monocromática y viajar en forma ordenada como se observa en la figura 3.7. Tomando esto en cuenta, la coherencia se puede dividir en dos formas: la temporal y la espacial [60,61].

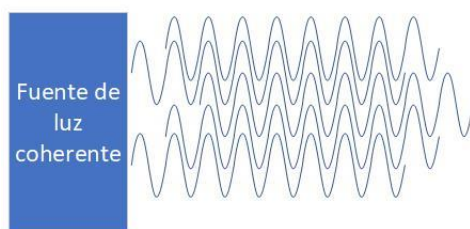


Figura 3.7. Luz coherente.

3.5 Luz incoherente

Cualquier fuente de luz, a excepción de la luz láser, es una luz incoherente. La luz incoherente puede presentarse en diferentes formas, como un haz de luz de dos o más longitudes de onda las cuales puede viajar en forma ordenada o caótica, como se observa en la figura 3.8 en A), como la luz blanca, o puede estar formada por una sola longitud de onda que viaja en forma caótica, como se observa en la figura 3.8 en B), como sería la luz de un led.

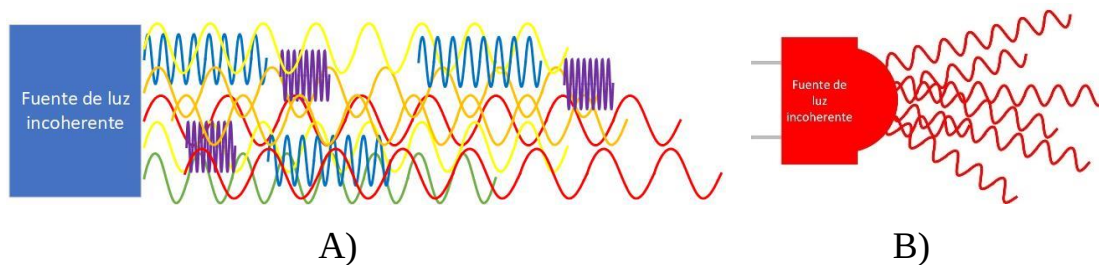


Figura 3.8. Fuentes de luz Incoherente: A) luz Policromática, B) Luz Monocromática

3.5 Obstructores

Para lograr obtener una mancha de luz de área limitada se propuso colocar elementos que bloqueen la luz sobre el área sensible a la temperatura, a los cuales llamaremos obstructores, creando una mancha de luz de área limitada o específica. Al colocar estos obstructores la luz interactúa con ellos y se presenta un fenómeno en el cual la luz cambia de dirección. Para dar un ejemplo pensemos en el sonido, si algún objeto, por ejemplo, la esquina de un edificio, se encuentra entre dos personas estas aun así pueden comunicarse ya que el sonido rodea el obstáculo, en la luz se presenta un fenómeno semejante, al cual se le conoce como difracción.

3.5.1 Difracción

La difracción sucede cuando un cuerpo opaco es colocado entre una fuente de luz y una pantalla, en la cual se proyecta la sombra del cuerpo opaco, desviando la luz creando zonas de luz y oscuridad, este fenómeno contradice lo que estudia la óptica geométrica, en la cual la luz continuaría en línea recta a excepción de los rayos que fuesen bloqueados por el obstructor, en la figura 3.9 se puede observar una comparación de la luz estudiado por la óptica geométrica y la óptica ondulatoria.

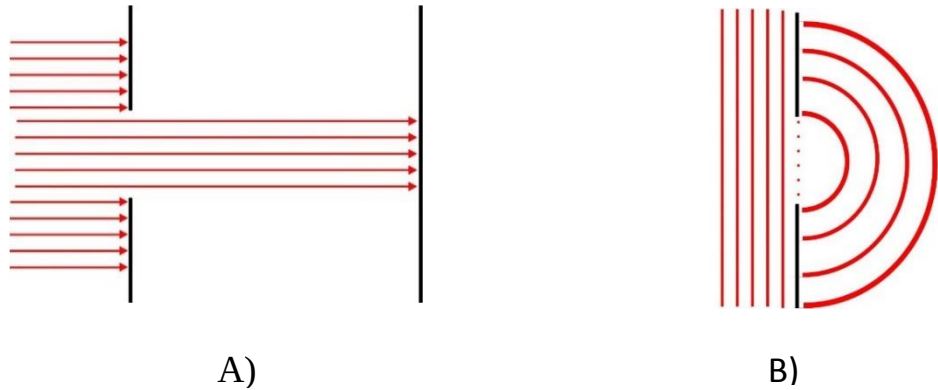


Figura 3.9. Análisis grafico de la interacción de la luz en una abertura: A) Modo geométrico, B) Modo ondulatorio.

Para poder explicar la difracción en una abertura, podemos tomar un frente de onda plano viajero, que al interactuar con una abertura este frente de onda se puede considerar como una serie de fuentes puntuales de luz, al analizar estas fuentes de luz podemos observar que la luz que proviene de uno de estas fuentes recorre una distancia diferente a la de otra de las fuentes de luz, por lo que al llegar a un mismo punto en la pantalla estas pueden estar desfasadas, como se observa en la figura 3.10 [60], estos desfases generan el fenómeno que se conoce como interferencia, ya sea constructiva o destructiva.

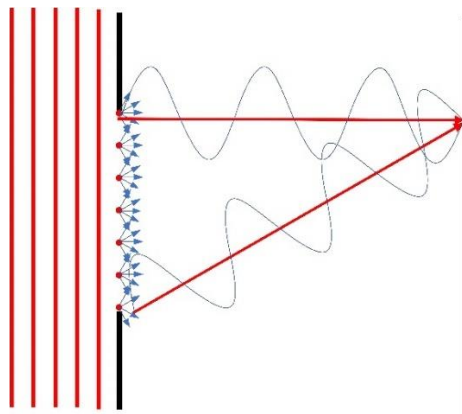


Figura 3.10 Desfase de ondas en una apertura

Esta interferencia genera zonas de luz y oscuridad en la mancha de luz que es proyectada en la pantalla el cual es conocido como patrón de difracción, este fenómeno se puede observar en la figura 3.11.

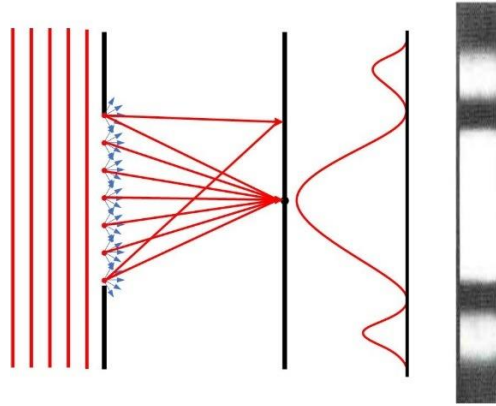


Figura 3.11. Difracción de un frente de onda plano en una apertura creando un patrón de difracción

3.5.1.1 Difracción en borde recto.

El fenómeno de difracción es característico de las ondas, el cual se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija. Debido a nuestro caso de estudio, la difracción que se presenta es de borde recto.

Al iluminar un borde recto con un haz de luz monocromático y un frente de onda plano se produce un patrón de difracción, el cual se puede apreciar en la siguiente figura 3.12.

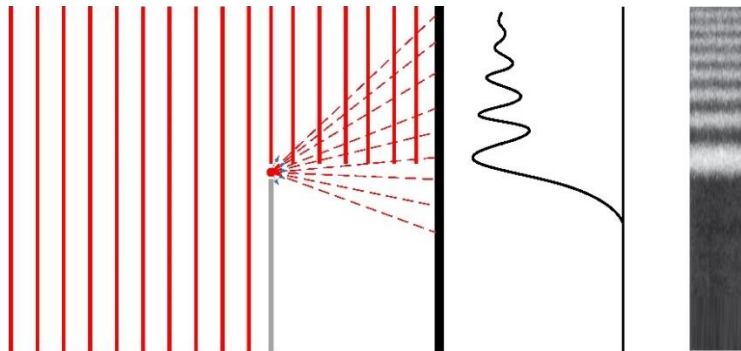


Figura 3.12. Difracción de un frente de onda plano en borde recto creando un patrón de difracción.

Para calcular la difracción en este caso se utilizan las integrales de Fresnel con la siguiente ecuación ().

$$I(x) = \frac{I_0}{2} \left[\left(\frac{1}{2} + C(\alpha x) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} + S(\alpha x) \right)^2 \right] \quad ()$$

Donde $I(x)$ es igual a la intensidad resultante en la pantalla, I_0 es la intensidad en que la luz incide en el obstructor, $C(\alpha x)$ es la integral de Fresnel $C(x) = \int_0^x \cos\left(\frac{\pi}{2} t^2\right) dt$, $S(\alpha x)$ es la integral de Fresnel $S(x) = \int_0^x \sin\left(\frac{\pi}{2} t^2\right) dt$, α es $\sqrt{\frac{2}{\lambda Z_0}}$, Z_0 es la distancia entre el obstructor y la pantalla de observación y λ es la longitud de onda de la luz, obteniendo la gráfica siguiente al colocar el obstructor a 4cm de la pantalla y una I_0 de 53 unidades cómo se observa en la figura 3.13 al colocar el obstructor a 4cm de la pantalla.

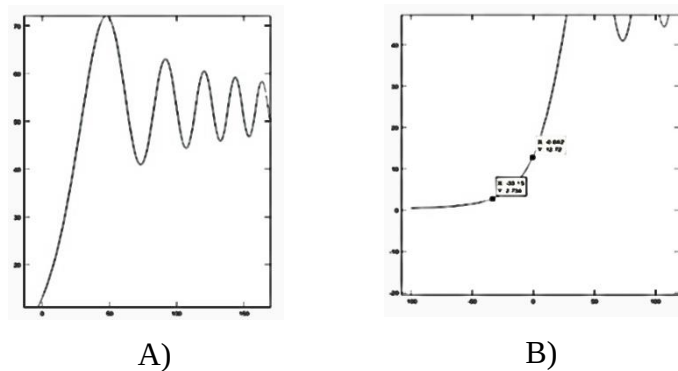


Figura 3.13. A) Gráfico obtenido con el software Matlab, B) Acercamiento a la posición 0.

En la gráfica se observa como la intensidad aumenta a 72.04 unidades en su pico más alto, lo cual es un aumento de casi 50% de la intensidad I_0 y se observa como la difracción afecta ligeramente en la zona que el obstructor protege, en la posición 0 donde se encuentra el filo del obstructor tenemos una intensidad de 12.9 lo cual es aproximadamente 25% de la I_0 , si se aumenta la intensidad I_0 este porcentaje se mantiene [62-64] y se puede comprobar al resolver la ecuación en la posición 0 en X.

$$I(0) = \frac{I_0}{2} \left[\left(\frac{1}{2} + C(\alpha 0) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} + S(\alpha 0) \right)^2 \right]$$

$$I(0) = \frac{I_0}{2} \left[\left(\frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right]$$

$$I(0) = \frac{I_0}{2} \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right]$$

$$I(0) = \frac{I_0}{2} \left[\frac{1}{2} \right]$$

$$I(0) = \frac{I_0}{4} = .25I_0 = 25\% \text{ de } I_0$$

3.5.1.2 Difracción en borde recto con luz incoherente.

Sin embargo, en nuestro caso de estudio, la luz que se está utilizando proviene de una lámpara incandescente, la cual es una fuente de luz incoherente, por lo que la teoría de difracción en borde recto con luz coherente no puede aplicarse directamente. Una forma en que se puede interpretar y analizar este fenómeno con luz incoherente, es si tomamos cada longitud de onda que genera nuestra lámpara e individualmente se aplica la teoría de difracción con luz coherente, después estas se superponen para obtener un resultado, como podemos observarlo en la figura 3.14.

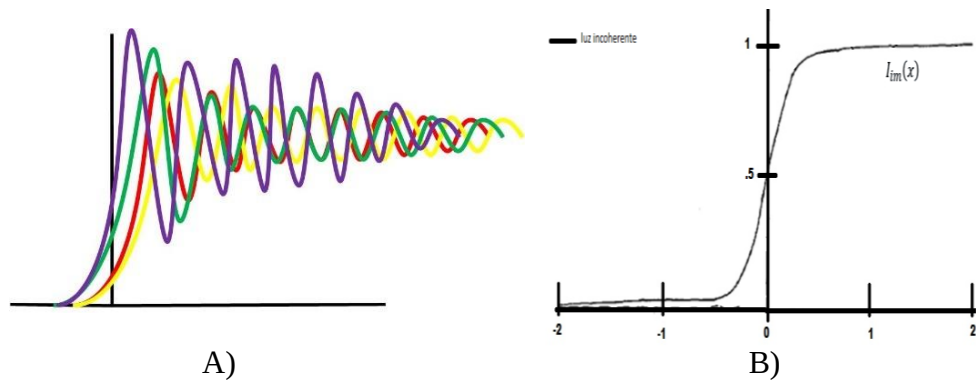


Figura 3.14. A) Superposición de múltiples ondas difractadas por borde recto, B) Grafica de difracción en borde recto con luz incoherente.

Como se observa en la figura 3.14, en este caso no se genera un patrón de difracción debido a la superposición de las ondas, otro factor por el que no se presenta este patrón, es que al tener luz incoherente algunos rayos viajan de forma caótica entrando en diferentes ángulos a la zona donde el obstructor está delimitando un área como se observa en la figura 3.15.

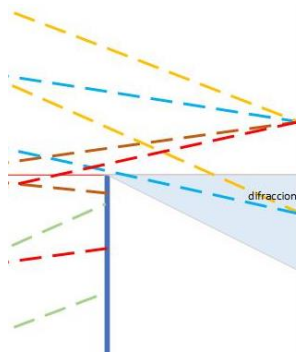


Figura 3.15.

Existe diversos estudios de este fenómeno, pero estos coinciden que la intensidad en la posición 0 es aproximadamente un 50% de la I_0 total [65-68] como se puede observar la

figura 3.14 B). La ecuación (), siendo dependiente del arreglo óptico que se utilice, define este fenómeno, por lo se le considera como una ecuación base.

$$I_{im}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} I_{ob}(y) a^2 \text{sinc}^2 \frac{\pi a(x+my)}{(1+m)\lambda f} dy \quad ()$$

3.5.2 Diseño de obstructores

Para el diseño de los obstructores se decido utilizar navajas de un solo filo como base para los obstructores, esto por dos motivos, la primera al contar con un área muy pequeña, la interacción con la luz con la materia es mínima [64] y la segunda es que el filo de la navaja es considerado un cuerpo oscuro, al reflejar la luz alejándola de la pantalla, como se observa en la figura 3.15.

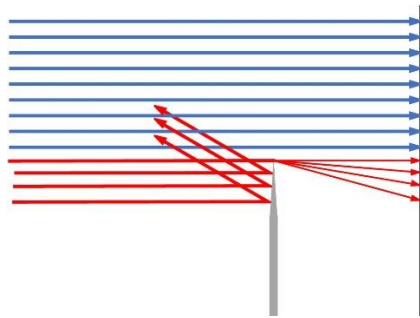


Figura 3.15. Difracción por filo de navaja.

Con la ayuda del programa de diseño en 3D SolidWorks se dio forma a los obstructores para poder incluirlo en la simulación óptica y así realizar este estudio, estos se pueden observar en la siguiente figura 3.16.

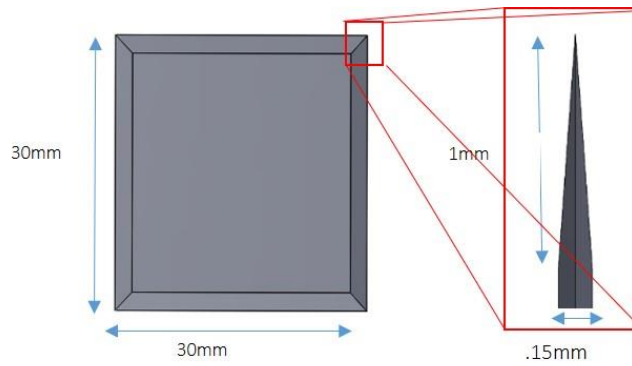


Figura 3.16. Diseño 3D de obstructor con filo de navaja.

3.5.2.1 Múltiples obestructores.

Mediante la teoría de difracción, se propuso la colocación de un numero n de obestructores, esto para disminuir la intensidad de la difracción generada colocándolos uno en frente del otro, ya que si un obstructor permite generar una difracción con una intensidad del 50% de la fuente, dos o más teóricamente disminuirían más la intensidad. En la figura 3.17 se observa el concepto de los múltiples obestructores.

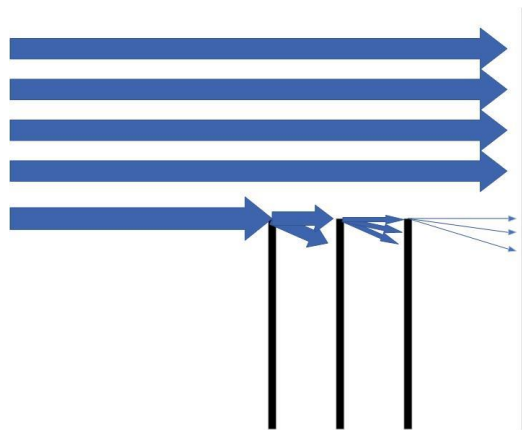


Figura 3.17. Propuesta multi-obestructores para la reducción de la intensidad de la difracción.

Capítulo 4

Fundamentos térmicos

4.1 Transferencia de calor

La Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes. Existen tres formas en que el calor es transferido, las cuales son: conducción, convección y radiación [69].

Conducción

Esta se da cuando uno o más materiales sólidos, que se encuentran a diferentes temperaturas, se colocan en contacto directo, de esta forma las moléculas del material a mayor temperatura, con mayor movimiento, transfieren esta energía mediante el movimiento al material con menor energía térmica hasta llegar a una estabilidad térmica.

Convección

En el caso de la convección, la transferencia de calor es mediante el contacto entre un sólido y un fluido o entre dos fluidos. En la convección existe el término convección forzada, en el cual el fluido es forzado a desplazarse en cierta dirección, utilizando este flujo para transferir más rápido el calor del sólido al fluido o viceversa.

Radiación

En el caso de la radiación, esta es la única forma que no requiere de masa para transferir su energía térmica, como lo es la energía térmica del sol, ya que es transportada por ondas electromagnéticas las cuales carecen de masa, lo que les permite viajar por el vacío y así transferir su energía térmica a un objeto con masa ya sea un sólido o un fluido, la cual está definida por la ecuación ().

$$Q_r = A\varepsilon\sigma(T_s^4 - T_o^4) \quad ()$$

Donde Q_r es el flujo de calor por radiación la cual se da en W/m^2 , A es el área donde incide la radiación térmica, ε es la emisividad de la fuente de radiación, σ es la constante de Stefan-Boltzmann la cual tiene un valor de $5.6704 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$, T_s y T_o son la temperatura de la fuente radiante y la temperatura de la superficie a calentar, respectivamente.

Una vez definido la transferencia por radiación se tiene que tomar en cuenta otro factor como es la transferencia de calor por conducción, ya que en el caso de los CI tipo BGA, donde las terminales se encuentran por debajo del CI, el calor debe llegar hasta el otro lado del CI para ser soldado. Por lo que este fenómeno se puede expresar con la siguiente ecuación.

$$Q_c = -kA \frac{dT}{dx} \quad ()$$

Donde Q_c es la transferencia de calor por conducción, k es la conductividad térmica del material, A es el área transversal al flujo de calor, T es la temperatura y $\frac{dT}{dx}$ es la diferencia de calor entre las caras del material con respecto al grosor de este.

4.2 Aletas o áreas extendidas.

Otro de los factores a revisar es la transferencia de calor que se da en las zonas cubiertas por los obstructores, ya sea por la luz difractada y/o por la conducción térmica del material. El análisis térmico de conducción puede ser realizado mediante la teoría de áreas extendidas o aletas [70, 71], la cual se realiza al tomar secciones del elemento para aplicar la teoría de conducción, como se muestra en la figura 4.1.

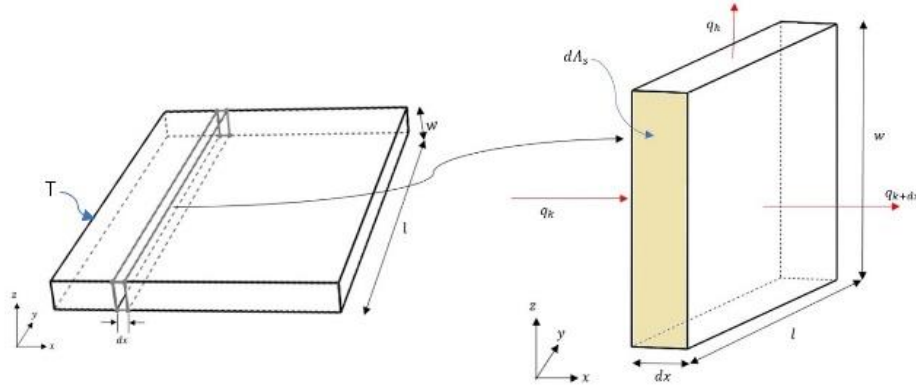


Figura 4.1. Diagrama del flujo de la transferencia de calor en el elemento diferencial.

La teoría de áreas extendidas se utiliza para la disipación de calor por lo que la transferencia de calor por convección también interviene en este proceso, para lo cual se obtiene la siguiente ecuación.

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{1}{A_c} \frac{dA_c}{dx} \frac{dT}{dx} - \frac{h}{kA_c} \frac{dA_s}{dx} (T_s - T_\infty) = 0$$

Donde A_c es el área normal a la dirección de flujo, A_s es el área superficial del área extendida en nuestro caso la placa bajo estudio, T es la temperatura en la base de la aleta, k coeficiente de conductividad térmica, h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie de la placa, T_∞ es la temperatura del fluido que rodea a la placa y dt/dx es la razón de cambio de temperatura por unidad de longitud en dirección x .

Capítulo 5

Parámetros de simulación.

Para este estudio nos enfocaremos en dos de los cuatro arreglos propuestos de FILSS, el primero es el Arreglo óptico básico y el segundo el Arreglo óptico con doble matriz de multi-lentes [30], a continuación, se dará una descripción de los elementos y sus características para la simulación.

Para realizar las simulaciones se requirió fijar ciertos parámetros en el simulador, se utilizó un sistema no secuencial con un detector con resolución 256 X 256, con 5 millones de rayos.

5.1 Fuente de luz

La fuente de luz que se escogió fue una lámpara de Tungsteno Cuarzo Halógeno (o QTH por sus siglas en inglés: Quartz Tungsten Halogen), esto debido a su estabilidad y su rango de trabajo que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo cercano y que puede alcanzar hasta los 1300°C. Otra de sus características es su reflector elíptico con el cual concentra en un punto gran parte de los rayos emitidos por el filamento, el cual se encuentra a 19 mm del centro de la ζ ?. Mediante trazos de rayos podemos observar el comportamiento en la figura 5.1.

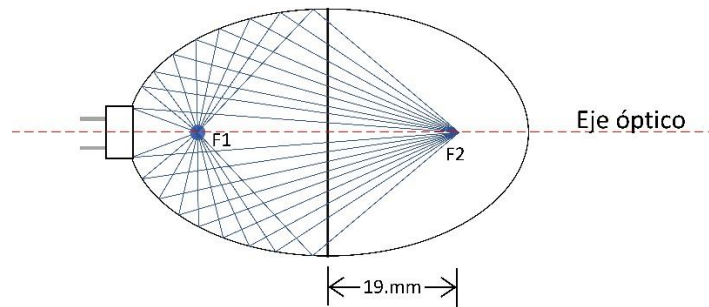


Figura 5.1. Trazo de rayos en lámpara QTH.

Para la realización de las simulaciones se tuvieron que asignar diferentes parámetros como el material del reflector. En el caso de Zemax se utilizó una superficie estándar y se especificó su interacción con la luz, al asignar el tipo de material como espejo, el radio el cual es de 23mm, la constante cónica de -0.2, la abertura máxima donde es el valor del semi eje b fue de $b=25.5\text{mm}$ y una mínima abertura la cual se asignó asigna de 4mm [30].falta en la imagen cada parte

Para simular la lámpara se debe tener en cuenta el filamento, el cual se debe especificar sus características, como es su longitud la cual es de 4 mm, el número de vueltas las cuales son 10 y su radio de 1.5 mm, como se observa en la figura 5.2

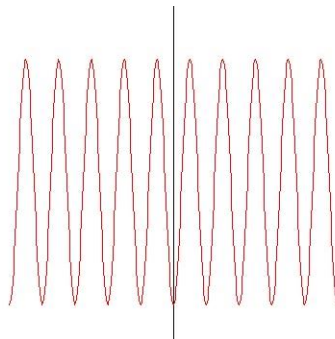


Figura 5.2. Filamento lámpara QTH.

5.2 Lente condensadora

Para la lente condensadora se seleccionó una lente esférica la cual sirve para coleccionar los rayos que salen de la lámpara, colimarlos y eliminar las aberraciones esféricas.

Esta lente fue seleccionada del catálogo de Zemax que tiene una amplia cantidad de proveedores bajo el número de parte 67266 del proveedor Edmund Optics, con un diámetro de 50mm y una distancia focal de 40mm, como se observa en la figura 5.3.

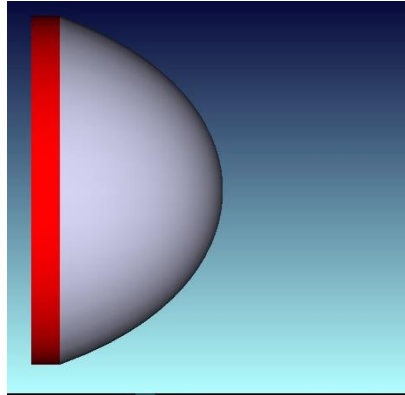


Figura 5.3. Lente Asférica en simulador Zemax.

Debido a las características del sistema, como son las altas temperaturas que las lentes tiene que soportar y las longitudes de onda que emite la lámpara, se escogió el material cuarzo fundido grado UV (UV SiO₂) o más conocido como fused silica, en la figura 5.4 se puede observar la gráfica de transmisión de este material.

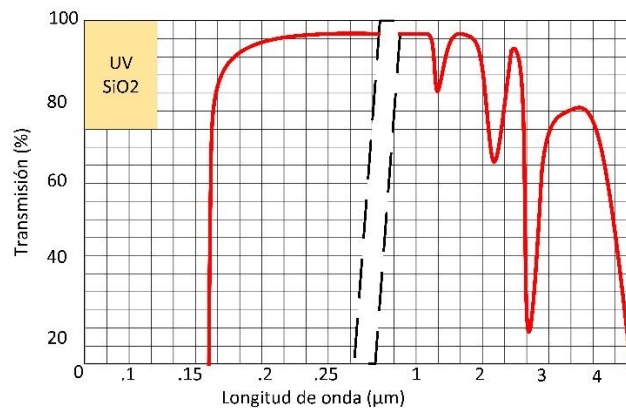


Figura 5.4. Grafica ventana de transmisión del material SiO₂.

5.3 Lente divergente.

Esta lente puede ser encontrada en el catálogo de Zemax con el proveedor JML con un número de parte FPV12650000.1, la cual tiene una distancia focal de 250mm, un diámetro de 50mm y fabricada en SiO_2 , en la figura 5.5 se puede observar la lente en Zemax. La función de esta lente consiste en divergir los rayos que la atraviesan.



Figura 5.5 Lente Divergente en simulador Zemax.

5.4 Matriz multi-lentes.

Las matriz multi-lentes se utilizan cuando se quiere tener un sistema no formador de imagen, con lo que se puede obtener una mancha de luz homogénea, esta multi-lente está formada por pequeñas lentes plano convexa las cuales tienen una medida de 3mm X 4mm, acomodadas en una matriz de 10 lentes en el eje X y 13 lentes sobre el eje Y, con una distancia focal de 38.1mm, del material B270, siendo una lente plano convexa con un radio de 20mm.

El material B270 tiene una ventana de transmisión similar al SiO_2 como se observa en la siguiente figura 5.6 pero este material no soporta temperaturas tan altas como SiO_2 .

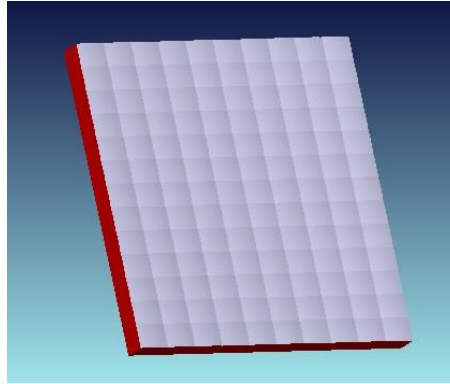


Figura 5.6. Multi-lente en simulador Zemax.

5.5 Lente de campo.

La lente de campo o lente secundaria tiene como función la de variar el tamaño de la mancha de luz a la salida del sistema, para la selección de la lente se optó por una lente convergente ya sea plano-convexa o biconvexa.

Se selecciona una lente biconvexa con el número de parte FBX12488000.1 del proveedor JML, de 50mm de diámetro, 100mm de distancia focal y de material SiO_2 , en la figura 5.7 se puede observar la lente en el simulador Zemax.



Figura 5.7. Lente de campo en simulador Zemax.

5.6 Obstructores

Para la colocación de los obstructores se realizó un diseño en el programa SolidWorks y este fue guardado con la extensión STL y adjuntado como objeto SLT, con el tipo de material absorbente, el resultado se puede observar en la figura 5.8.

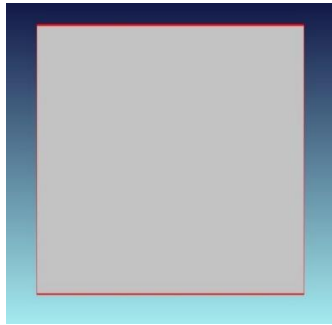


Figura 5.8. Obstructor en simulador Zemax.

5.7 Detector (SMT)

Las medidas del detector están en función del SMT que se quiere simular en este caso 35 X 35mm con una resolución de 256 X 256 pixeles.

5.8 Arreglo óptico básico con obstructores.

El arreglo básico está basado en los sistemas de iluminación Köhler, la colocación del sistema se puede describir de la siguiente manera, la lámpara se encuentra en el origen del eje óptico, a una distancia d_1 de la lámpara se encuentra la lente condensadora la cual colima la luz para hacerla incidir sobre la lente de campo que se coloca a una distancia d_2 de la lente condensadora la cual converge los rayos, definiendo así el tamaño de la mancha de luz, a una distancia d_3 se colocan los obstructores los cuales dan forma a la luz y protegen las áreas sensibles y la distancia d_4 es la distancia entre los obstructores y el detector como se aprecia en la figura 5.9 y tabla 5.1.

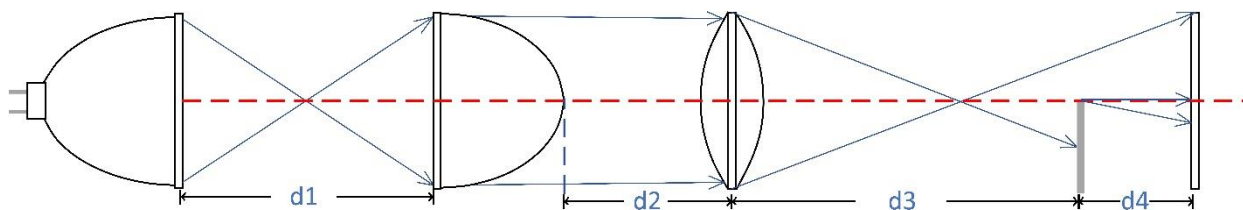


Figura 5.9. Arreglo básico FILSS con Obstructor.

Tabla 5.1. Distancias del Arreglo básico FILSS con obstrutores (mm).

	d1	d2	d3	d4
Arreglo básico	38	40	80	20

5.9 Arreglo óptico con doble matriz multi-lentes.

El arreglo de doble multi-lente está basado en los arreglos ópticos no formadores de imagen, la colocación del sistema se puede describir de la siguiente manera, la lámpara se encuentra en el origen del eje óptico, a una distancia d_1 de la lámpara se encuentra la lente condensadora la cual colima la luz para hacerla incidir sobre la lente divergente que se coloca a una distancia d_2 de la lente condensadora la cual diverge los rayos para que incidan en la primer multi-lente a una distancia d_3 , a una distancia d_4 se coloca la siguiente multi-lente los rayos que salen de este multi-lente incide en la lente de campo a una distancia d_5 la cual converge los rayos y da el tamaño de la mancha, a una distancia d_6 se encuentra el obstructor y a una distancia d_7 se coloca el detector como se muestra en la figura 5.10 y tabla 5.2.

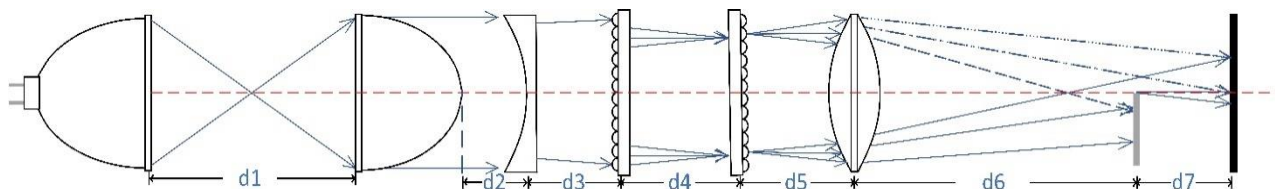


Figura 5.10. Arreglo de doble multi-lente FILSS con Obstructor.

Tabla 5.2 Distancias del Arreglo doble multi-lente FILSS con obstructores (mm).

	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7
Arreglo doble multi-lente	38	6	25.5	38.2	38.6	130	20

Capítulo 6

Resultados

Mediante la simulación con el programa Zemax se determinó la posición en la cual se colocó el obstructor y el efecto que este tiene a la salida de los sistemas, también se verificó la homogeneidad de la mancha de luz.

6.1 Arreglo básico

Para determinar la posición del obstructor se realizaron simulaciones comenzando sin el obstructor y después con el obstructor justo antes del detector y se retiró de 10 mm en 10 mm (d4 en figura 5.8) obteniendo las manchas como se observan en la figura 6.1.

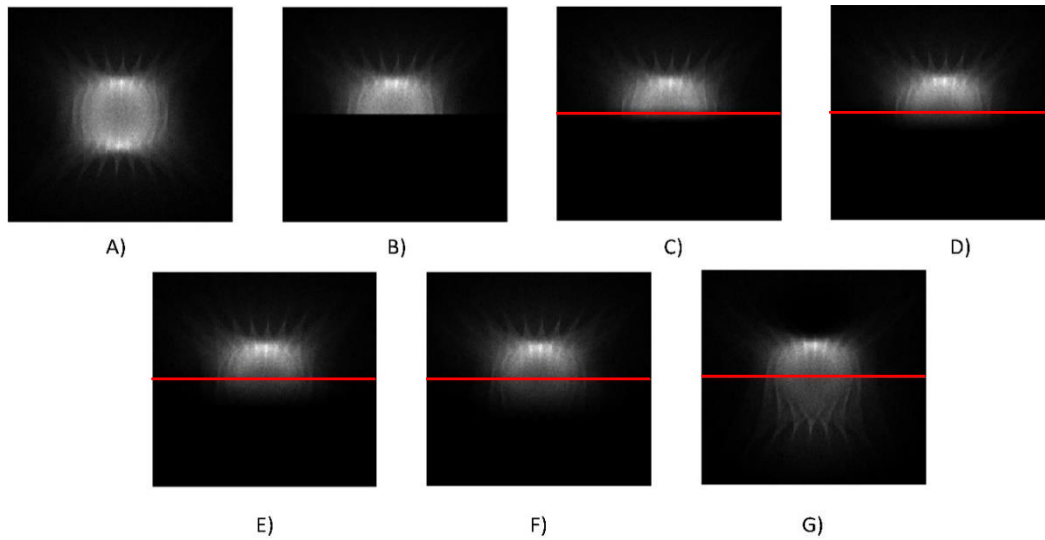


Figura 6.1. Manchas de luz sistema básico: A) Sin obstructor, B) Obstructor a 0 mm del detector, C) Obstructor a 10 mm, D) Obstructor a 20 mm, E) obstructor a 30 mm, F) Obstructor a 40 mm y G) obstructor a 70 mm.

En las imágenes se puede observar una línea roja, esta línea marca la línea donde la difracción comienza o posición 0 que representa donde se encuentra el obstructor. Para el proyecto mientras más retirado se encuentre el arreglo óptico del PCI esto sería mejor, ya que de esta forma si el PCI cuenta con elementos con una elevación alta como son disipadores de calor o elementos como son componentes de potencia, el arreglo óptico podría no colocarse en la posición adecuada. Mediante estas imágenes se seleccionó una distancia de 20 mm a 30 mm, en estas distancias aun cuando se presenta difracción esta es mínima, si se decide alejar más el obstructor no solo aumenta la intensidad de la difracción, también se ve afectada en su parte superior como se observa en la figura 6.1 G).

6.1.1. Análisis grafico lineal en ImageJ.

Al observar la figura 6.1 se puede apreciar lo que parecía una curvatura en el perfil de la difracción, para entender como se está comportando la difracción en las manchas de luz se realizó un análisis grafico lineal con la ayuda del programa ImageJ como se muestra en la figura 6.2.

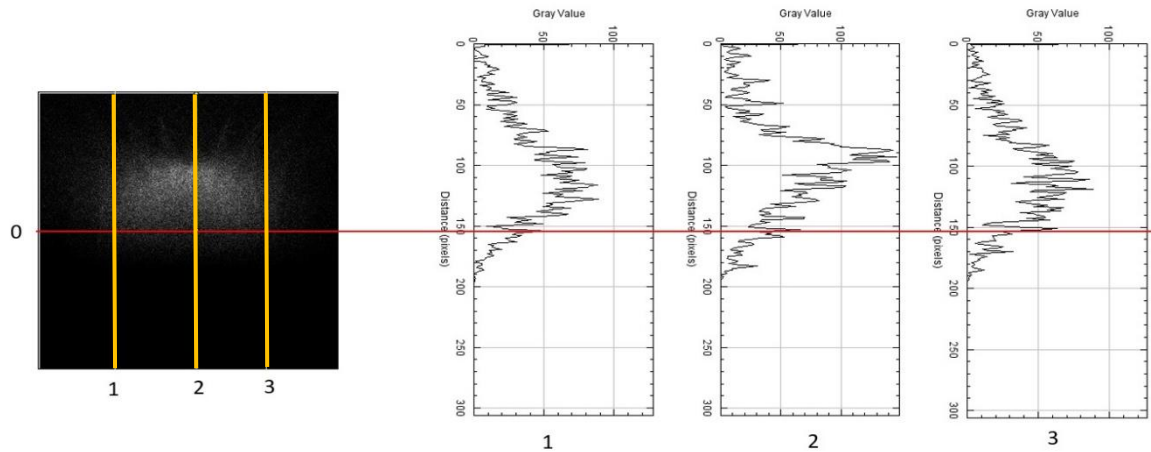


Figura 6.2. Análisis grafico lineal con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector.

En la figura 6.2 se observa una línea roja la cual representa la posición 0 donde se encuentra el filo del obstructor y las líneas amarillas, numeradas del uno al tres, es el análisis lineal realizado en ImageJ, cada una realizada en posiciones diferentes para observar cómo se comporta la luz, se puede ver que la intensidad máxima en la gráfica dos es aproximadamente el doble que en la gráfica uno y tres.

Gracias a esta graficas se aprecia que la intensidad de luz varía dependiendo de la posición donde se realice el análisis, teniendo una intensidad mínima a las orillas de la mancha y una máxima en el centro, con lo que se concluyó que la difracción tenía un comportamiento similar al gaussiano.

6.1.2. Análisis grafico de área en ImageJ.

Aun cuando el análisis lineal resolvió algunas dudas, se optó por realizar un análisis de área para tener una vista más amplia del comportamiento. En la figura 6.3 se observan los resultados de este análisis de área.

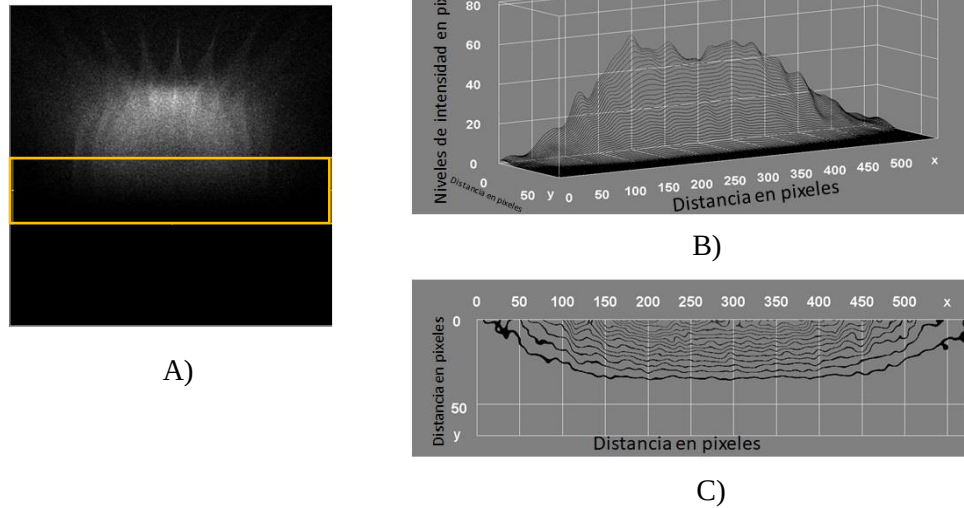


Figura 6.3. Análisis gráfico de área con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector. A) Área seleccionada en la mancha de luz, B) Vista en ángulo de la zona amarilla y C) Vista superior de la zona Amarilla.

En la figura 6.3 A) el rectángulo amarillo es el área seleccionada para el análisis la cual abarca desde la posición 0 hasta una zona donde no se detecta luz.

Si recordamos los capítulos anteriores, uno de los factores que definen la intensidad de la difracción es la intensidad original o entrante, por lo que si analizamos la mancha de luz original sin obstructores esta da una distribución similar a la distribución gaussiana como se observa en la figura 6.4.

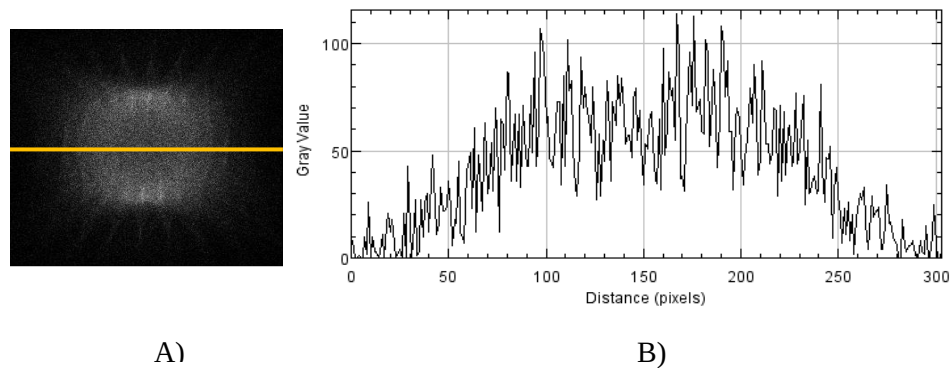


Figura 6.4. Mancha de luz sin obstructor. A) Línea donde se realiza el análisis gráfico, B) Análisis gráfico.

Si comparamos la figura 6.4 B) y 6.3 B) y C) podemos observar una relación entre el perfil gaussiano de mancha original con respecto a la intensidad en la zona de difracción, por lo que se deduce que al tener una fuente con perfil gaussiano esta dará una difracción con perfil gaussiano como se observa en la figura 6.5.

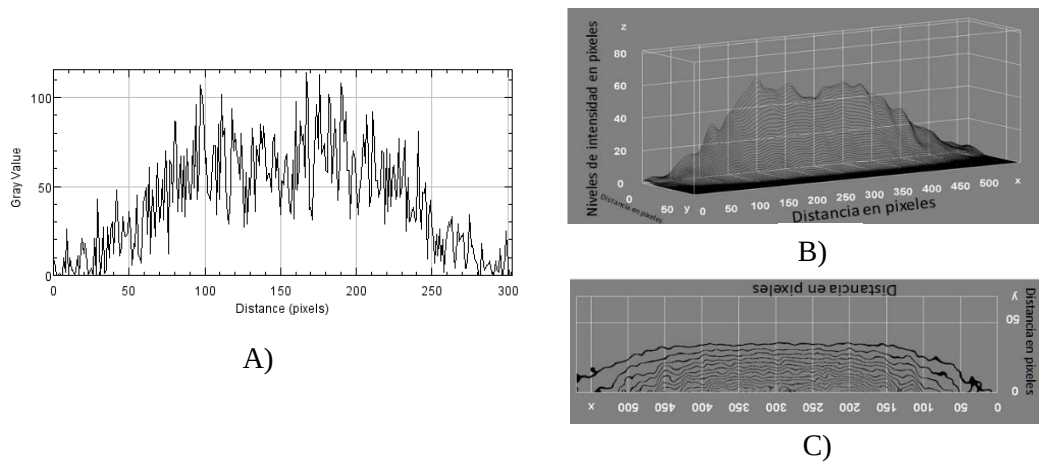


Figura 6.5. Comparación perfil de mancha de luz sin obstructores en A) contra vista de la difracción en borde recto en B) y C).

Ya que la finalidad del trabajo es conseguir áreas específicas, en forma, tamaño y distribución térmica, una fuente de luz para la cual su distribución sea gaussiana no es lo ideal para trabajar, por este motivo se optó por el arreglo de doble multi-lente la cual da una distribución idealmente plana y homogénea.

6.2 Arreglo de doble multi-lente.

Para decidir la posición de los obstructores en el sistema de doble multi-lente se realizaron múltiples simulaciones comenzando sin el obstructor y después con el obstructor justo antes del detector y fue retirando de 10mm en 10mm (d7 en figura 5.9) obteniendo las manchas como se observan en la figura 6.6.

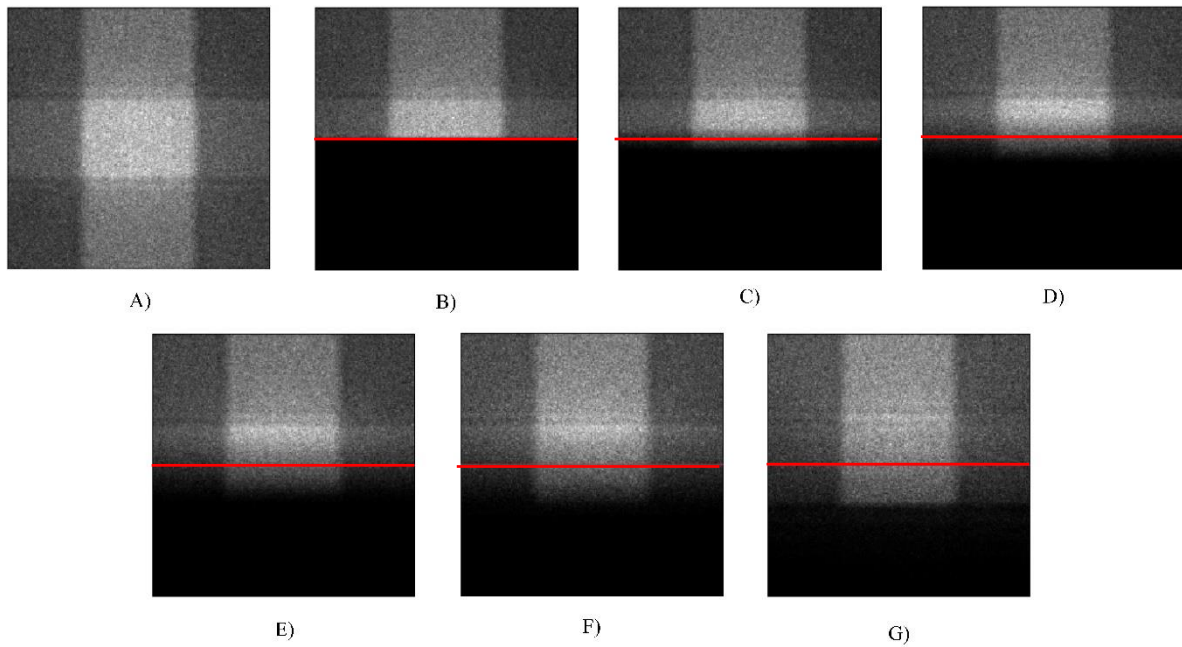


Figura 6.6. Manchas de luz sistema doble multi-lente: A) Sin obstructor, B) Obstructor en la Posición 0, C) Obstructor a 10 mm, D) Obstructor a 20 mm, E) obstructor a 30 mm, F) Obstructor a 40 mm y G) obstructor a 70 mm.

En las imágenes se puede observar una línea roja, esta línea marca la línea donde la difracción comienza o posición 0 que representa donde se encuentra el obstructor. Al igual que en el sistema básico obtener una distancia considerable entre el sistema óptico y el PCI a soldar es una de las metas buscadas, por lo que mediante estas imágenes se seleccionó una distancia de 20 mm a 30 mm.

6.2.1. Análisis grafico lineal en ImageJ.

Para entender como se está comportando la difracción con esta mancha de luz se realiza un análisis grafico lineal con la ayuda del programa ImageJ figura 6.7.

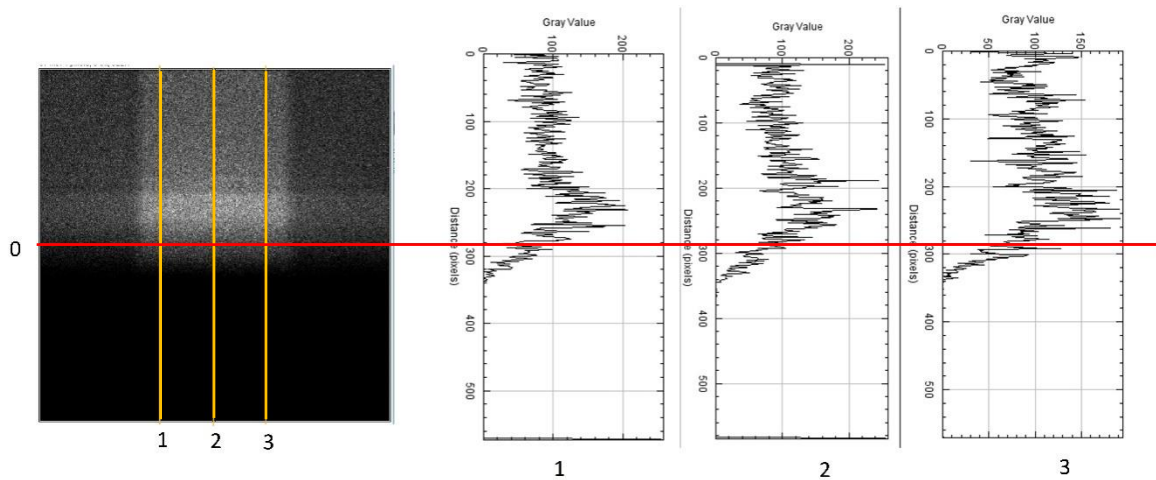


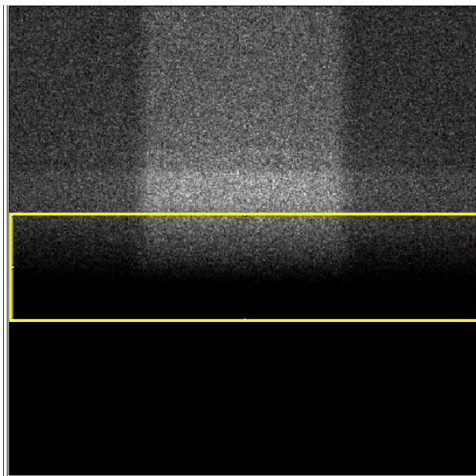
Figura 6.7. Análisis grafico lineal con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector.

En la figura 6.7 se puede observar una línea roja la cual representa la posición 0 donde se encuentra el filo de los obstructores y las líneas amarillas numeras del uno al tres es el análisis lineal realizado en ImageJ, cada una realizada en posiciones diferentes para ver cómo se comporta la luz, esto para comprobar que la mancha es homogénea y con un perfil plano, con lo cual se obtendría una difracción plana, se puede ver que la intensidad máxima en las gráficas es aproximadamente la misma.

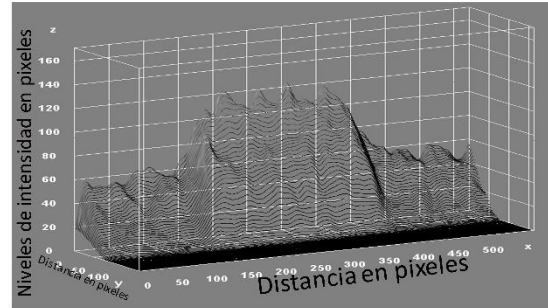
Gracias a estas gráficas se aprecia que la intensidad de luz no varía sin importar posición donde se realice el análisis, teniendo una intensidad a un mismo nivel tanto en las orillas de la mancha como en el centro.

6.2.2. Análisis grafico de área en ImageJ.

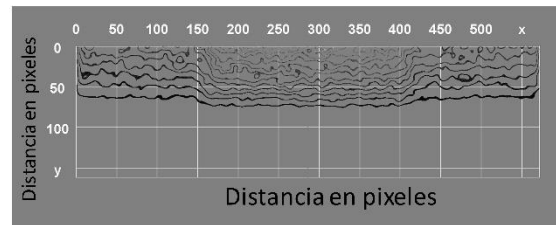
Aun cuando el análisis lineal demuestra el comportamiento que se esperaba se optó por un análisis de área para tener una vista más amplia del comportamiento. En la figura 6.8 se observan los resultados de este análisis de área.



A)



B)



C)

Figura 6.8. Análisis grafico de área con ImageJ con obstructor a 20 mm del detector. A) Área seleccionada en la mancha de luz, B) Vista en ángulo de la zona amarilla y C) Vista superior de la zona Amarilla.

En la figura 6.8 se realiza el análisis de área donde el rectángulo amarillo es el área seleccionada la cual empieza en la posición 0 hasta una zona donde no se detecte luz.

Como se puede ver en la figura 6.8 A) y C) la difracción es recta debido a que la mancha de luz original tiene una distribución plana. Una vez asegurada las condiciones ideales para el sistema se analizó en unidades fotométricas y/o radiométricas.

6.2.2.1 Análisis radiométrico

Irradiancia.

La irradiancia es una unidad de radiometría la cual está definida como el flujo por unidad de área en la que incide la luz, en otras palabras, es la radiación que incide en un área

de tamaño definido y sus unidades se dan en W/cm². Y su expresión matemática está dada por la ecuación ().

$$E = \frac{\delta\phi}{\delta a} \quad ()$$

A partir de las imágenes anteriores se decidió modificar el parámetro de resolución de 256 X 256 a 512 X 512 pixeles para obtener más información en cada imagen.

El primer paso fue la obtención de las mediciones base, en otras palabras, la irradiancia que muestra la mancha de luz sin obstructores, como se muestra en la figura 6.9.

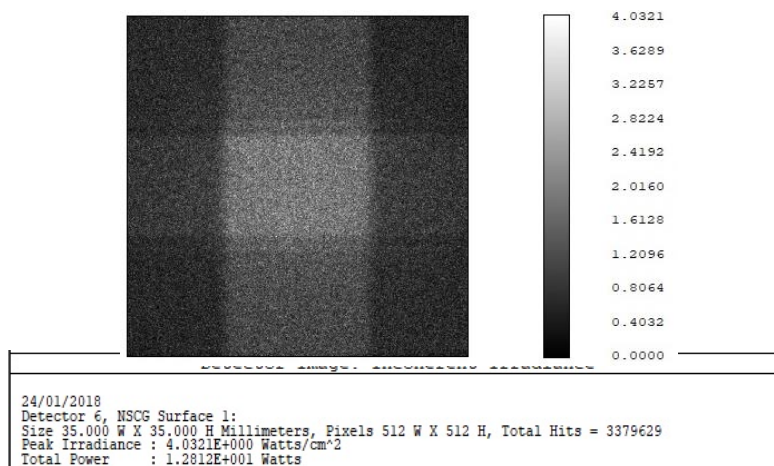


Figura 6.9. Mancha sin obstructores con mediciones.

Como se observa en la figura 6.9 tenemos un pico de irradiancia de 4.032 w/cm², una potencia total de 12.8 w y un 67.5% de los rayos inciden en el detector.

En un análisis grafico de área en 3D con ImageJ se observó la forma de la parte idealmente homogénea y su nivel en pixeles, con esto logramos calcular la irradiancia en diferentes puntos de la gráfica.

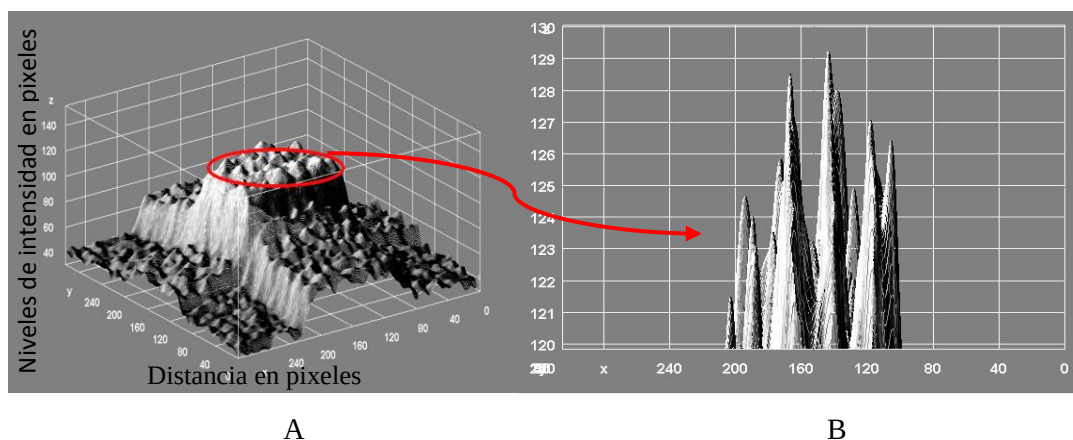


Figura 6.10. A) Mancha de luz en 3D, B) Acercamiento de la mancha de luz.

Como se muestra en la figura 6.10 la parte que se consideraba plana e idealmente homogénea no lo es, este fenómeno se estudiara más adelante, también se puede observar que el pico de irradiancia se sitúa a los 129 pixeles de altura.

A continuación, se realizará el análisis en 3D con ImageJ agregando los obstructores al sistema multi-lente.

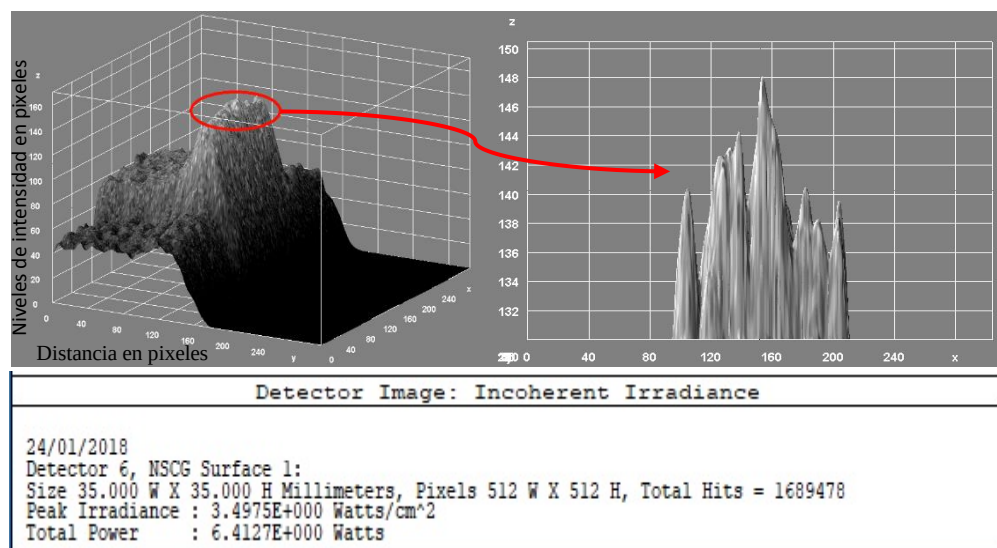


Figura 6.11. Mancha de luz con obstructores y sus datos obtenidos en Zemax.

En la figura 6.11 se observa que el pico de irradiancia se encuentra a 148 pixeles de altura con una irradiancia de 3.497 W/cm^2 . Si comparamos la gráfica 3D con la gráfica de difracción con luz no coherente podemos apreciar que estas coinciden figura 6.12.

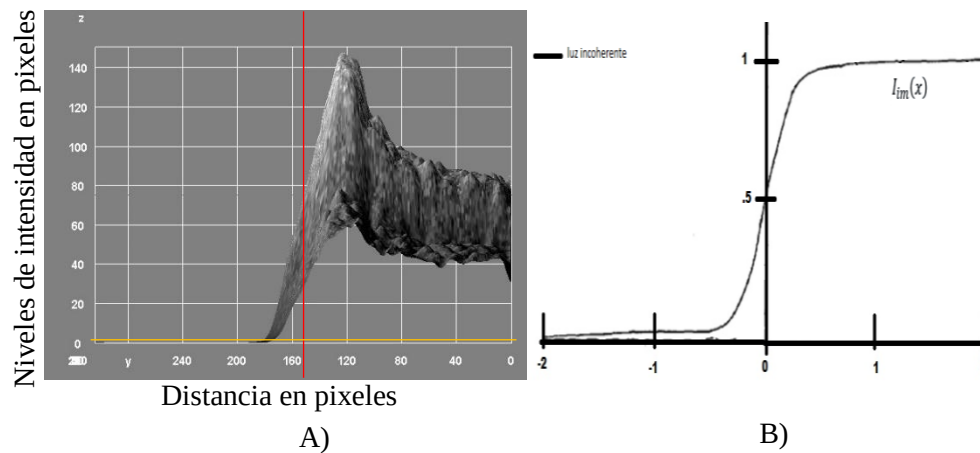


Figura 6.12. A) Vista lateral de la mancha de luz con obstructores, B) grafica de difracción con luz incoherente.

La teoría de difracción indica que la intensidad en la posición 0 es del 50% de la intensidad original, como se observó en la figura 6.12, un acercamiento a la zona central de la imagen nos dará una mejor vista para determinar el valor de la irradiancia en la posición 0, como se observa en la figura 6.13.

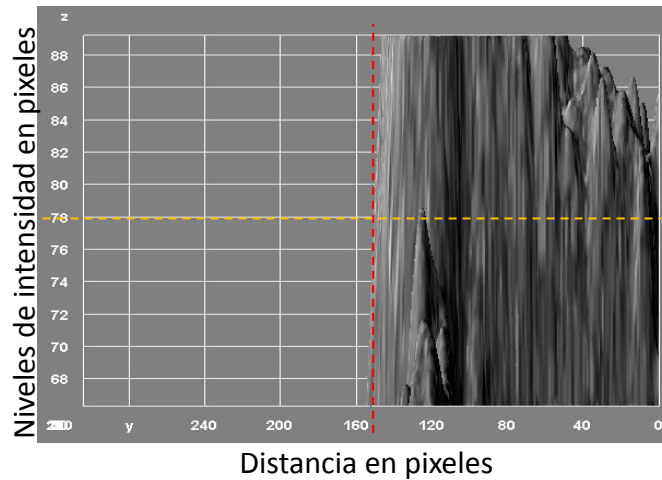


Figura 6.13. Acercamiento a la zona central de la imagen.

En la figura 6.13 se puede observar como la intensidad de luz cruza la posición 0 a los 78 pixeles de altura, teniendo el pico de irradiancia a los 148 pixeles de altura, lo cual nos indica que la irradiancia es aproximadamente un 50% de la irradiancia original. Mediante una simple regla de tres se calcula la irradiancia a los 78 pixeles.

El pico de irradiancia es de 3.49 w/cm^2

3.49 w/cm^2 ----- 148 *pixeles*

x ----- 78 *pixeles*

$$x = 1.83 \text{ w/cm}^2$$

Una vez comprobado que la irradiancia es del 50%, se requiere disminuir la intensidad de la irradiancia por lo que colocar un segundo obstructor teóricamente disminuiría la intensidad de luz que llegaría al detector, el primer obstructor disminuiría al 50% de la intensidad, el segundo 50% del ya disminuido por el primero, por lo cual tendríamos un 25% de la intensidad original y así sucesivamente. Cómo se observa en la figura.6.14.

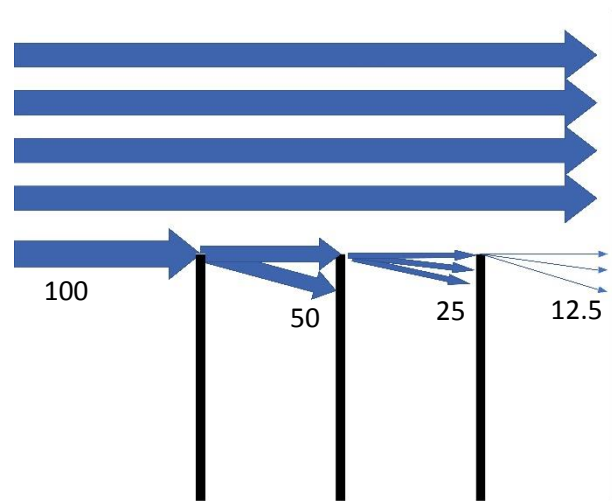


Figura 6.14. Comportamiento teórico de la difracción con múltiples obstructores.

Para comprobar lo se realizaron simulaciones en Zemax para obtener las manchas de luz y su irradiancia, así como análisis gráfico mediante el programa ImageJ, en la figura 6.15 se observan los resultados.

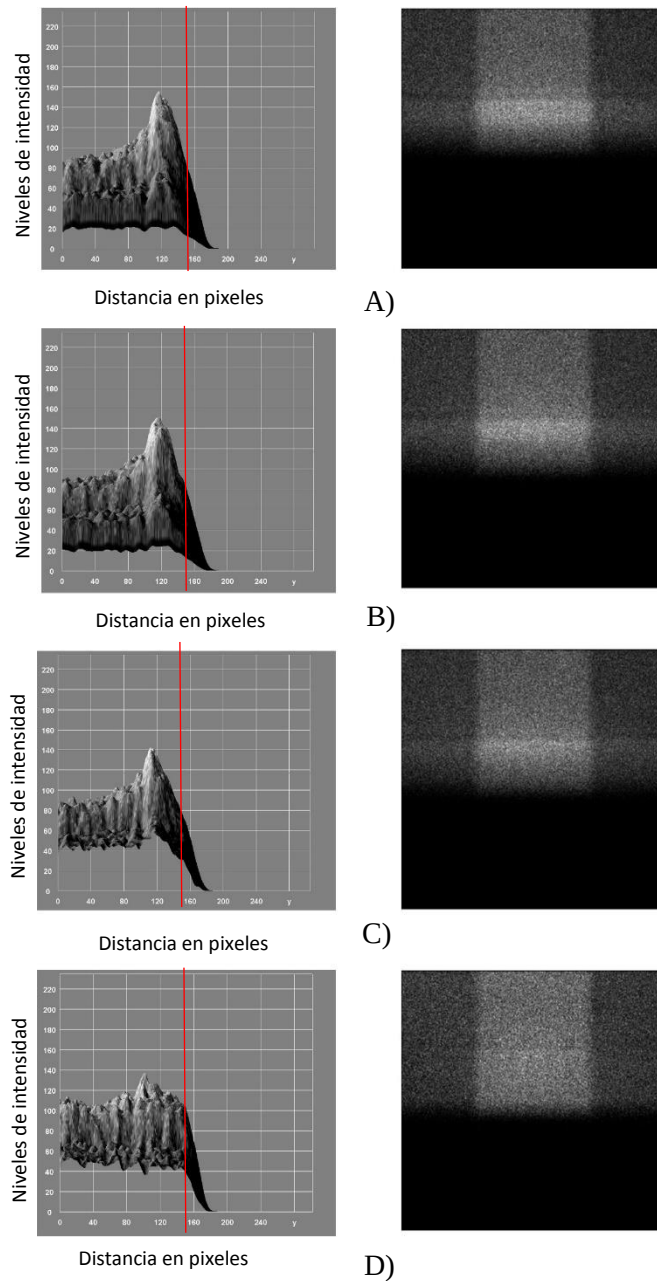


Figura 6.15. Análisis grafico 3D con múltiples obstructores: A) Un solo obstructor a una distancia de 20mm del detector, B) Dos obstructores con una separación entre ellos de 5mm, C) Dos obstructores con una separación entre ellos de 10mm, D) Dos obstructores con una separación entre ellos de 100mm.

En la figura 6.15 podemos ver como el pico de intensidad disminuye conforme separamos los obstructores, esto se puede explicar con la figura 6.16.

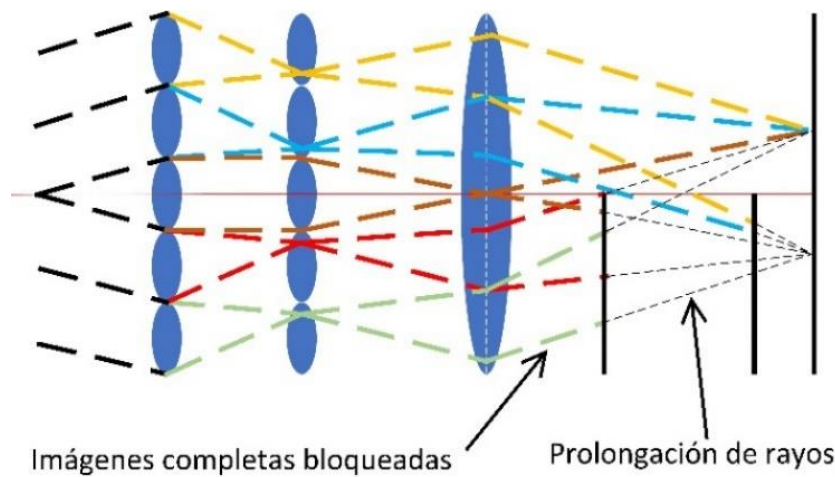


Figura 6.16. Trazo de rayos con dos obstruidores.

Mediante el trazado de rayos en la figura 6.16 se puede observar como imágenes enteras son bloqueadas por el segundo obstructor lo cual da como resultado una baja intensidad en la zona no cubierta.

6.2.2.2. Homogeneidad.

Como se observó en la figura 6.10 la mancha no es homogénea o plana, esto se debe a que la simulación realizada aporta poca información, por lo que se modificó la cantidad de rayos en las simulaciones, al contar con más rayos mayor es la cantidad de información que llega al detecto aumentado la cantidad de muestras tomadas para la construcción de la mancha de luz, para determinar la cantidad adecuada para realizar el análisis se aumentó la cantidad de rayos en las simulaciones en un rango de 2.5 millones de rayos hasta 80 millones de rayos, como se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Numero de rayos.

No de rayos (millones)	Irradiancia (W/cm ²)	Porcentaje que llegan al detector (%)
2.5	4.705	67.6
5	4.29	67.4
10	3.225	67.6
15	2.808	67.6
20	2.994	67.55
25	2.692	67.56
30	2.575	67.6
35	2.56	67.6
40	2.557	67.6
45	2.48	67.6
50	2.445	67.54
55	2.449	67.58
80	2.395	67.57

Como se observó en la tabla 6.1, la irradiancia decae conforme aumenta el número de rayos de la simulación, al analizar la tabla podemos observar como después de aumentar a 45 millones de rayos la irradiancia se mantiene casi estable, con un decaimiento mínimo, y teniendo una pérdida de rayos del 22.5%. Otro detalle que se encontró al aumentar los rayos es la aparición de unas líneas que se puede apreciar en la figura 6.17.

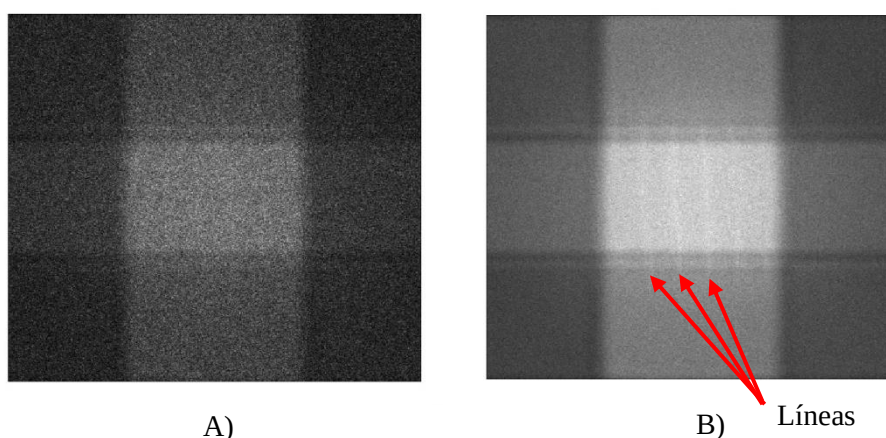


Figura 6.17. Comparación entre manchas de Luz, A) 5 millones de rayos, B) 80 millones de rayos.

6.2.2.2.1 Procedimiento para la toma de datos y porcentaje de error de la homogeneidad.

Utilizando los datos de la tabla 6.1, las imágenes obtenidas con el programa Zemax y con ayuda del programa ImageJ se analizó gráficamente las manchas de luz para determinar el porcentaje de homogeneidad de estas. Para lo cual se aplicaron los siguientes parámetros en el programa ImageJ.

Tipo de grafico Filled, Grid size 512, Smoothing 12, Perspectiva 0, Lighting .4, Escala 1, Escala z 1, Máximo rango el cual varia con respecto a la imagen y Mínimo rango que también varía con respecto a la imagen.

Para obtener el porcentaje de homogeneidad el primer paso es obtener las gráficas y adecuarlas para conseguir los datos que se requieren mediante el programa ImageJ, como se muestra en la figura 6.18.

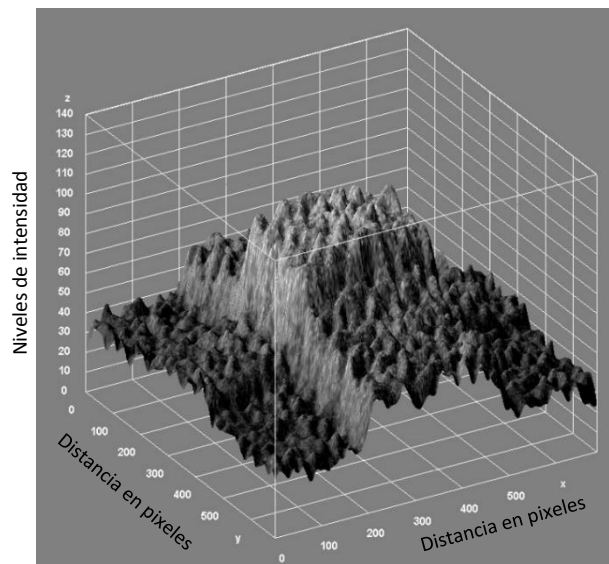


Figura 6.18. Imagen 3D de mancha de luz con 2.5 millones de rayos.

Para observar mejor la mancha de luz se requiere modificar los máximos y mínimos para tener una gráfica del área útil, se coloca en una vista superior y se comienza a mover el rango mínimo hasta descartar las zonas que no son de interés, como se observa en la figura 6.19.

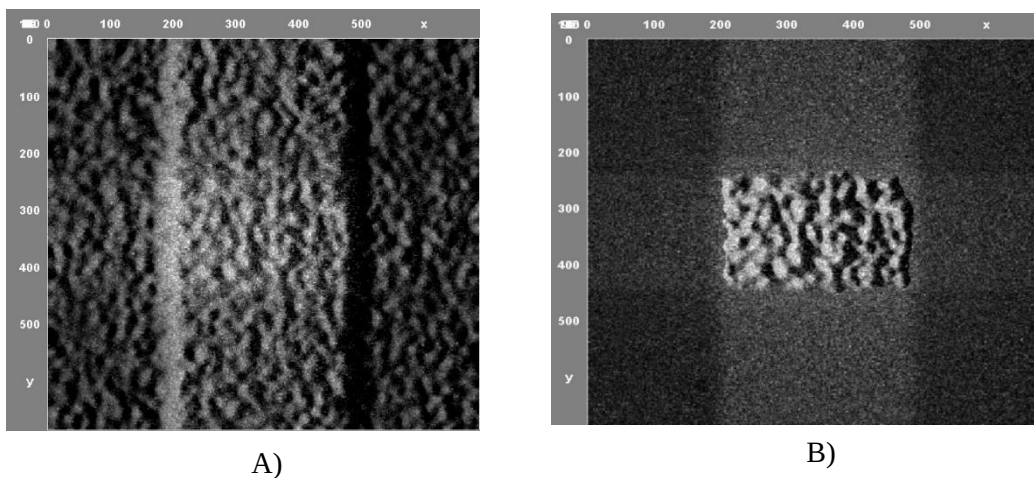


Figura 6.19. A) Rango mínimo al 0%, B) Rango mínimo al 35%.

Después se mueve el rango máximo, por lo que se requiere de una vista lateral para ver los picos máximos y acomodar la escala, en la figura 6.20 se muestra las gráficas al modificar el rango máximo.

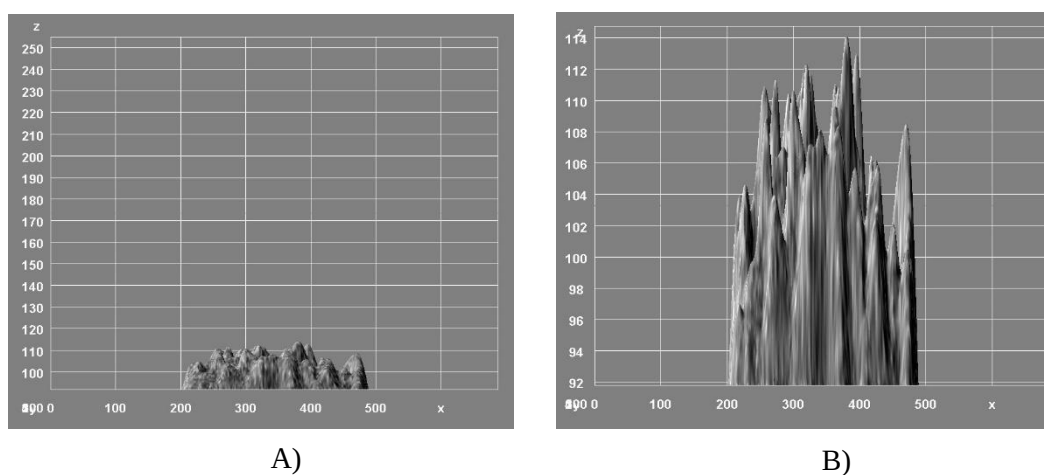


Figura 6.20. A) Rango máximo 100%, B) Rango máximo 45%.

Una vez con los rangos colocados adecuadamente se realiza una comparación de los picos máximos y los valores mínimos encontrados, como se observa en la figura 6.21.

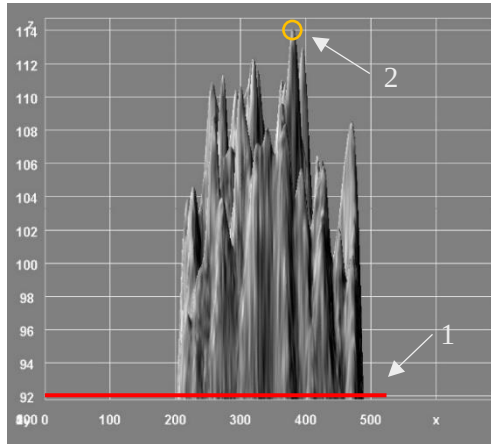


Figura 6.21. Nivel mínimo de intensidad 1 y pico máximo 2.

Como se observa el nivel mínimo se encuentra en 92 pixeles aproximadamente y el máximo 114 por lo que tenemos 22 pixeles de diferencia.

$$114 - - - - - 100\%$$

$$22 - - - - - x\%$$

Por lo que la diferencia en porcentaje es de 19.29% el cual se tomó como un porcentaje de error. Con lo que se decidió que la mancha era de baja homogeneidad.

Al terminar con el análisis de la mancha con 2.5 millones de rayos, se realizó este procedimiento para cada mancha de luz con las cantidades de rayos de la tabla 6.1, hasta llegar a los 80 millones de rayos como se ve en la figura 6.22.

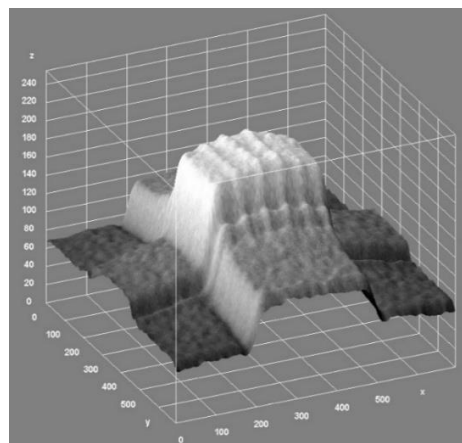


Figura 6.22. Imagen 3D de mancha de luz con 80 millones de rayos.

Como en la mancha anterior se realizan los ajustes de los rangos mínimos y máximos para la figura 6.22, obteniendo las figuras 6.23 y 6.24.

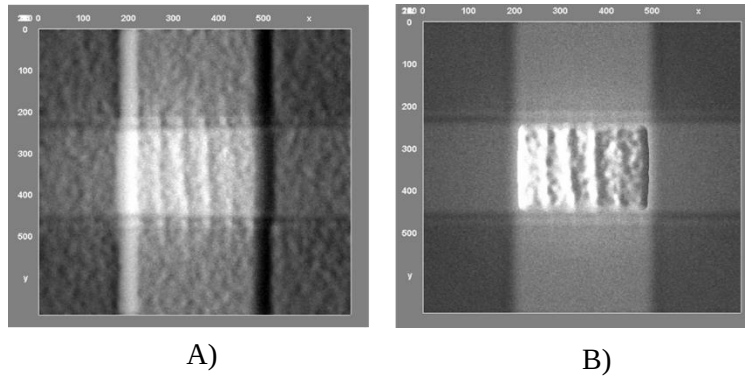


Figura 6.23. A) Rango mínimo al 0%, B) Rango mínimo al 70%.

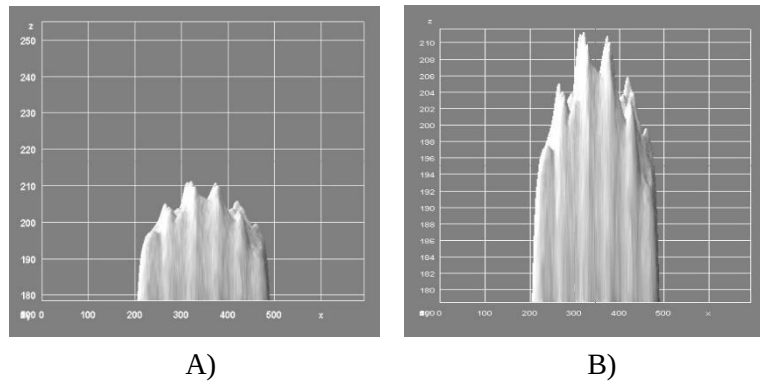


Figura 6.24. A) Rango máximo 100%, B) Rango máximo 83%

Como se observa en la figura 6.24 el nivel mínimo se encuentra en 192 pixeles aproximadamente y el máximo 211 por lo que tenemos 19 pixeles de diferencia.

$$211 - - - - - 100\%$$

$$19 - - - - - x\%$$

Con lo cual tenemos una diferencia en porcentaje es de 9% el cual podemos tomar como un porcentaje de error, mejorando el error considerablemente con respecto a la mancha anterior. A continuación, se da una comparación de las manchas de luz obtenidas al ir aumentando la cantidad de rayos.

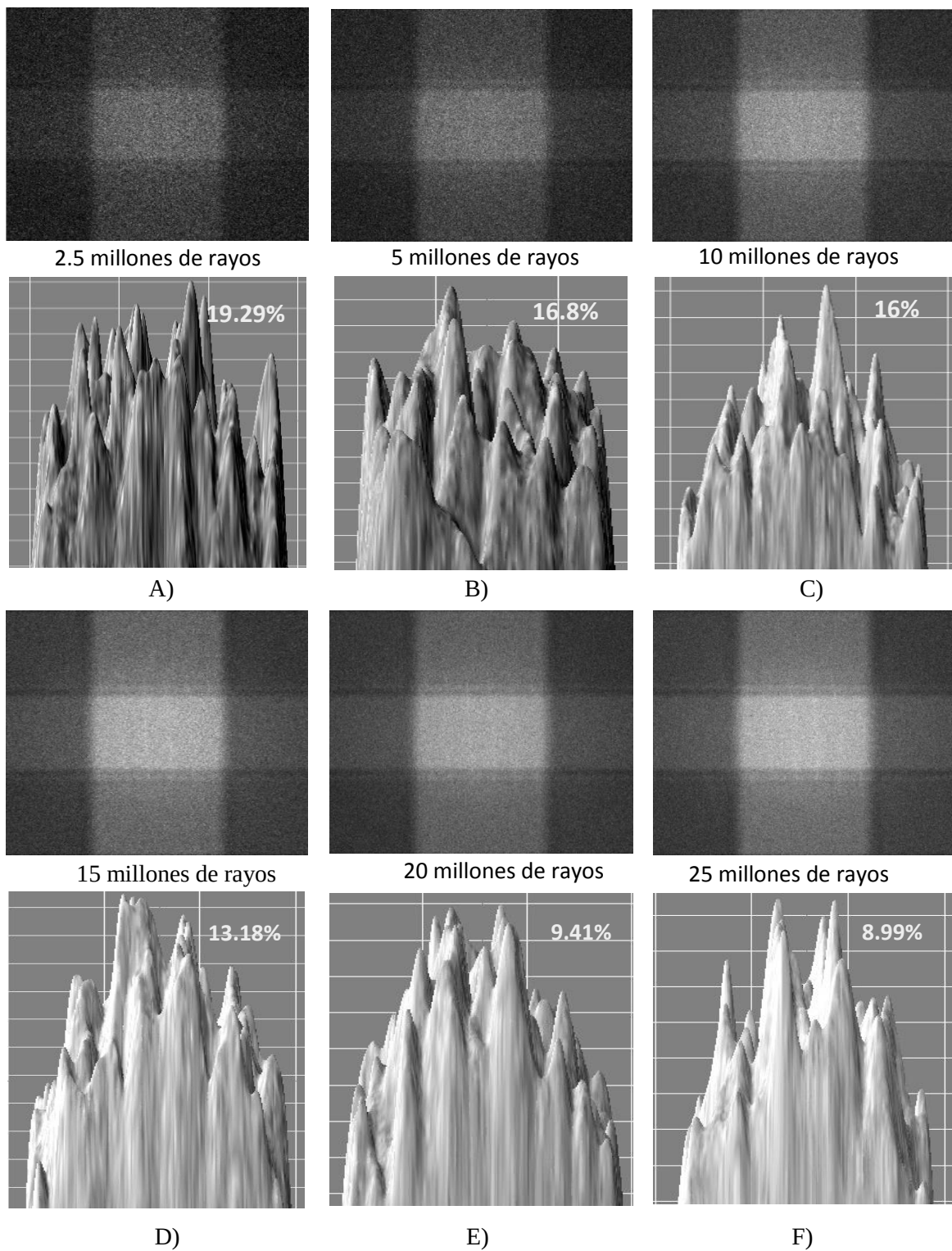


Figura 6.25. Comparación mancha de luz y su porcentaje de error, A) 2.5 millones de rayos, B) 5 millones de rayos, C) 10 millones de rayos, D) 15 millones de rayos, E) 20 millones de rayos, F) 25 millones de rayos.

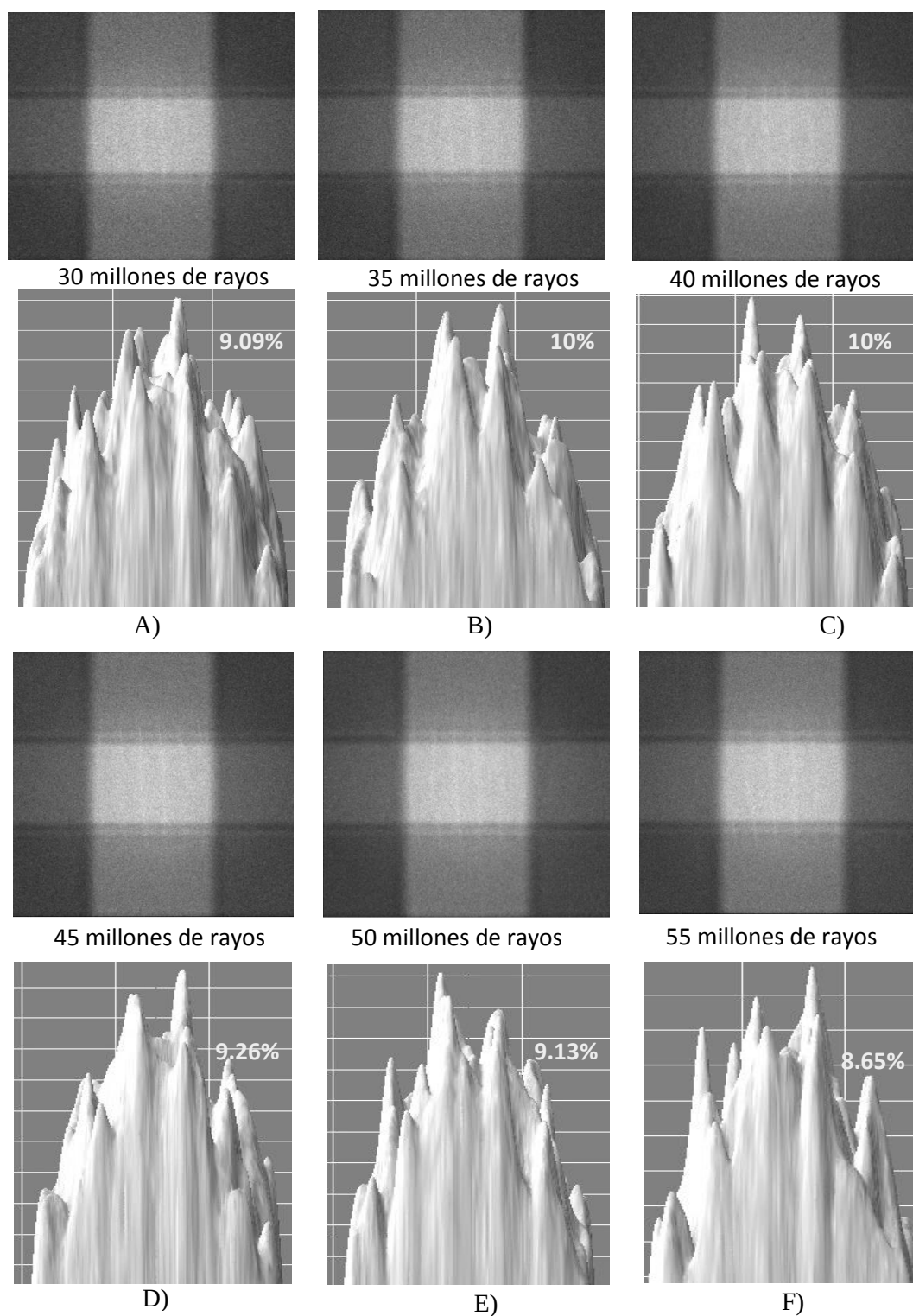


Figura 6.26. Comparación mancha de luz y su porcentaje de error, A) 30 millones de rayos, B) 35 millones de rayos, C) 40 millones de rayos, D) 45 millones de rayos, E) 50 millones de rayos, F) 55 millones de rayos.

Como se observó en las figuras 6.25 y 6.26 se aprecia como la mancha de luz tiene menos picos y la homogeneización mejora con forme se aumentan los rayos, pero a partir de la figura 6.26 D) se percibió la aparición unos picos, los cuales al aumentar los rayos forman un patrón más definido como se mira en la figura 6.23.

Ignorando los picos en la figura 6.27 podemos observar una curvatura semejante a una distribución gaussiana, por lo que estrictamente hablando nuestra mancha de luz no es plana ni homogénea por lo que se debe de hablar de un porcentaje de error.

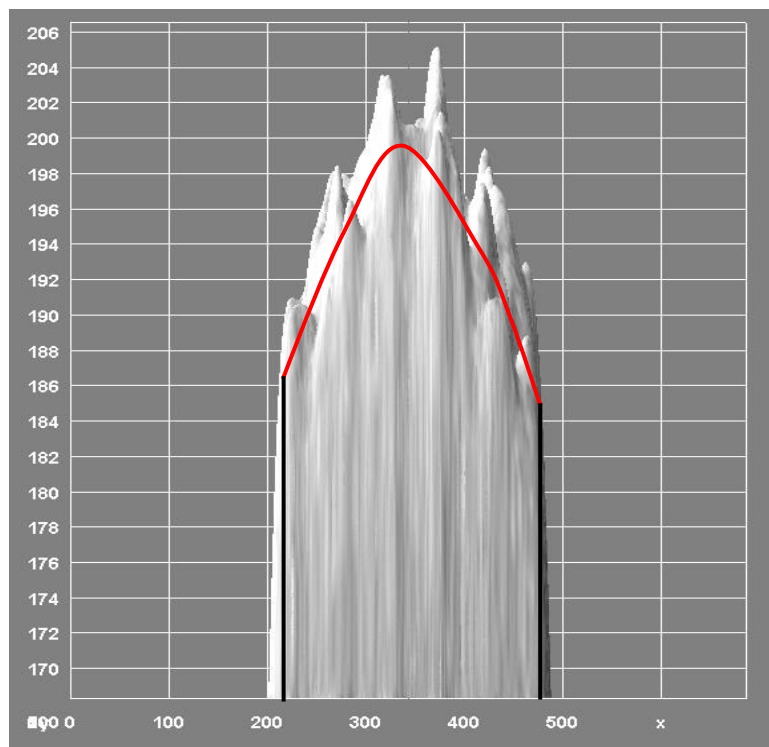


Figura 6.27. Distribución de la mancha de luz con 45 millones de rayos.

Mediante la figura 6.27 se obtuvieron una serie de datos en una tabla de Excel para encontrar el perfil de esta mancha de luz, al contar con estos datos se realizó un ajuste de la curva encontrada con la ayuda del programa MagicPlot, al agregar distribuciones gaussianas asta lograr un ajuste como se muestra en la figura 6.28.

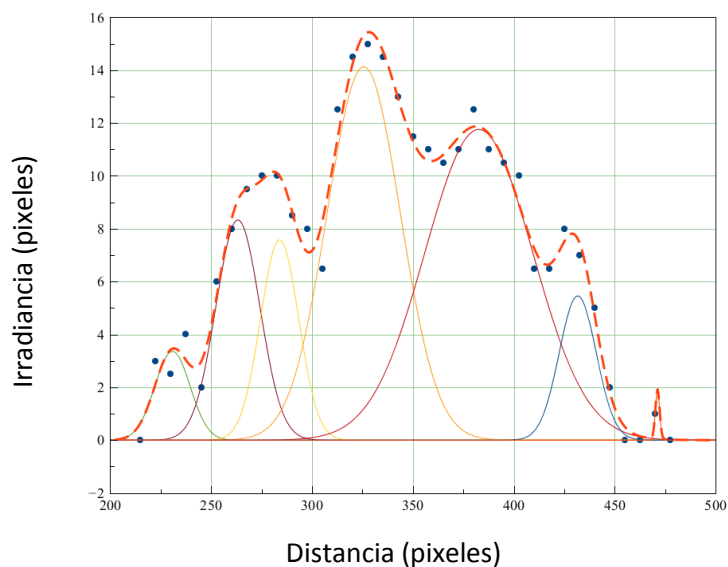


Figura 6.28. Ajuste del perfil de la mancha de luz mediante MagicPlot.

Una vez que se ajustó la gráfica manualmente, se utiliza la función del programa “Fit by sum” dando como resultado la ecuación (), la cual se ajusta un 95.23 %.

$$\begin{aligned}
 I = & \left(a * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_0)^2}{dx^2} \right)} \right) + \left(a_1 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{01})^2}{dx_1^2} \right)} \right) + \left(a_2 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{02})^2}{dx_2^2} \right)} \right) \\
 & + \left(a_3 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{03})^2}{dx_3^2} \right)} \right) + \left(a_4 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{04})^2}{dx_4^2} \right)} \right) \\
 & + \left(a_5 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{05})^2}{dx_5^2} \right)} \right) + \left(a_6 * e^{\left(-\ln(2) * \frac{(x-x_{06})^2}{dx_6^2} \right)} \right)
 \end{aligned}
 \quad ()$$

Donde

$a = 3.3617$
 $x_0 = 230.861$
 $dx = 10.3021$
 $a_1 = 8.3316$
 $x_{01} = 263.2646$
 $dx_1 = 12.8439$
 $a_2 = 7.5816$
 $x_{02} = 283.9257$
 $dx_2 = 11.1609$

$a_3 = 14.1277$
 $x_{03} = 325.6364$
 $dx_3 = 21.4354$
 $a_4 = 11.7552$
 $x_{04} = 382.6488$
 $dx_4 = 31.3509$
 $a_5 = 5.4564$
 $x_{05} = 431.6571$
 $dx_5 = 10.8022$

$a_6 = 1.8723$
 $x_{06} = 471.2181$
 $dx_6 = 1.2289$

6.3 Tamaño de la mancha de luz.

Otro de los aspectos importantes en este sistema es el tamaño de la mancha, como se puede observar en la figura 6.29 el área que abarca la mancha al colocar el obstructor es menor al área con la que se requiere trabajar.

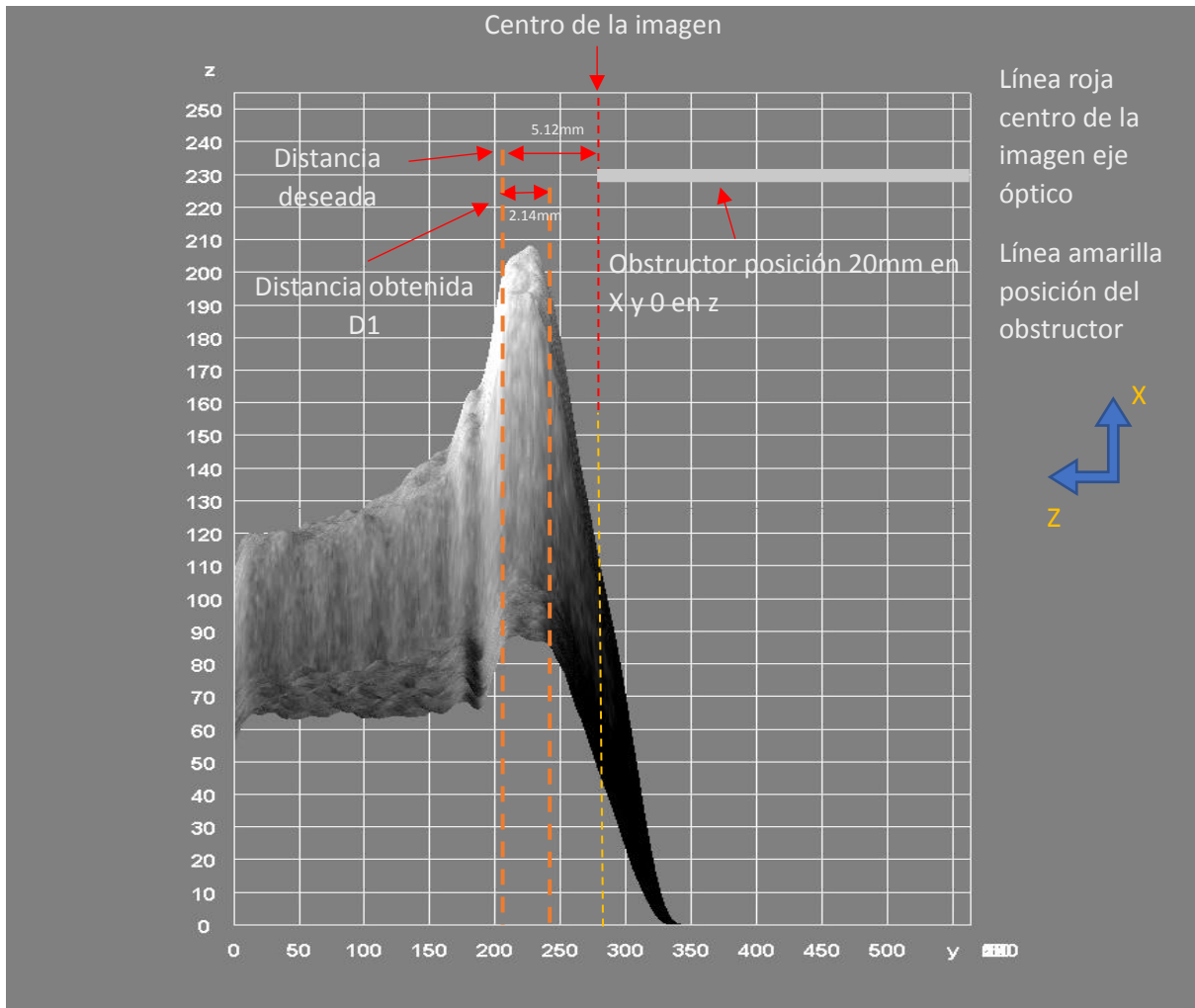


Figura 6.29. Mancha de luz con obstructor.

El área que se espera aproximadamente es de 15.37mm X 5.12 mm, mientras que el área obtenida es de 15.37mm X 2.14mm (Cada 16.28 pixeles equivale a 1 mm en el eje Z).

Para obtener una mancha de luz del tamaño esperado se requiere colocar el obstructor en la posición adecuada, por lo que se realizaron múltiples simulaciones colocando el obstructor en diferentes posiciones tanto en el eje X como en el eje Z.

6.3.1 Procedimiento para la obtención del área.

Para determinar la posición se realizaron simulaciones con el obstructor a 20mm del detector en X y moviendo -1 mm en el eje Z hasta obtener el área deseada. Para obtener los resultados de una forma rápida se realizan las simulaciones con 5 millones de rayos, como se muestra en la figura 6.30.

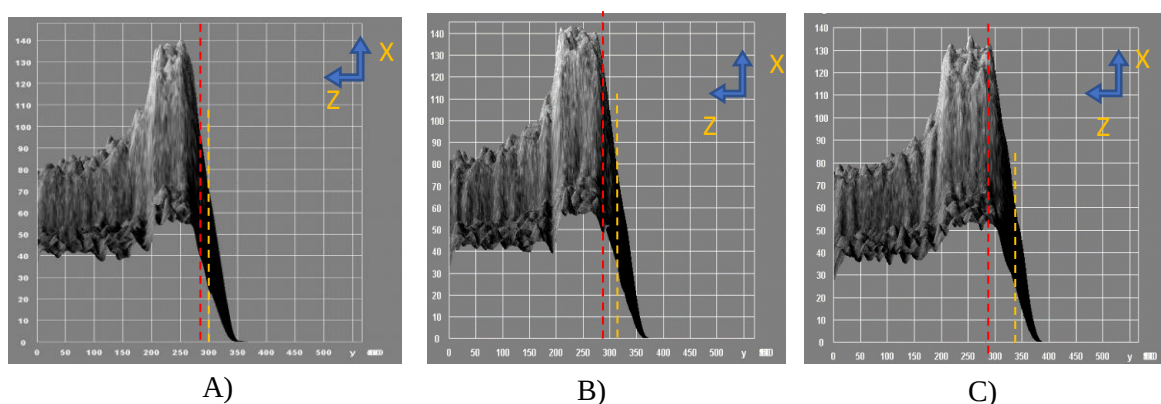
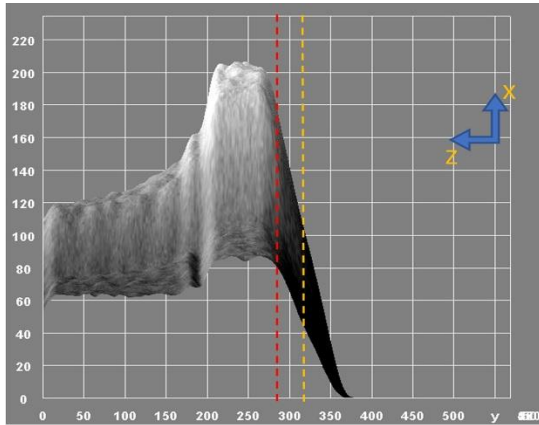
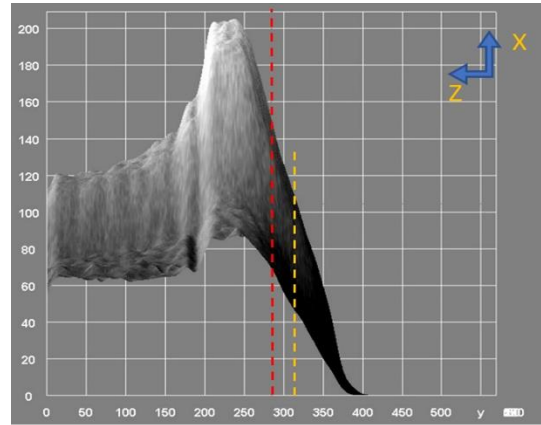


Figura 6.30. A) Posición a -1 mm en el pixel 301.28 en Z, B) Posición a -2mm en el pixel 317.56 en Z, C) Posición a -3mm en el pixel 333.84.

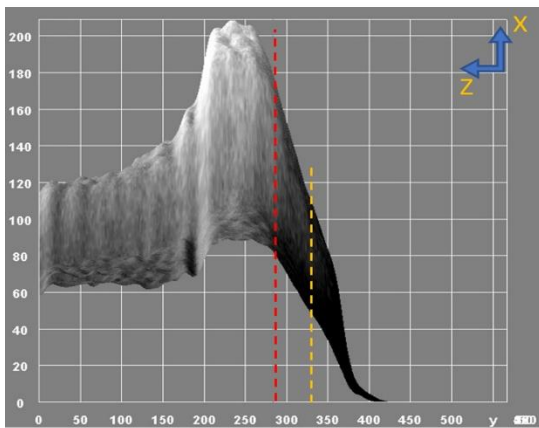
Observando la figura 6.30 se deduce que un desplazamiento de -2 mm en el eje Z es el ideal, al tener una separación entre el obstructor a 20mm, sin embargo, estas simulaciones fueron realizadas con 5 millones de rayos por lo cual no se consideran precisa, para obtener resultados confiables a continuación se realizan a diferentes separaciones en X, utilizando 45 millones de rayos.



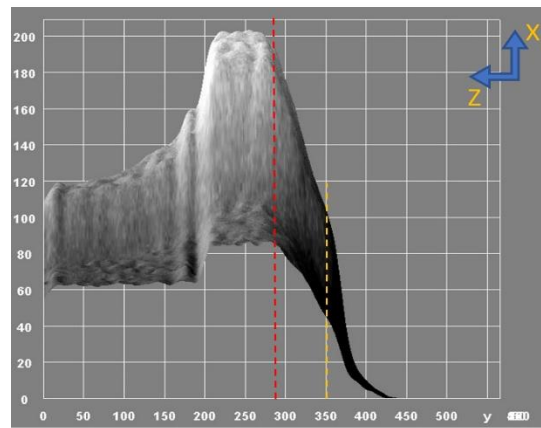
A)



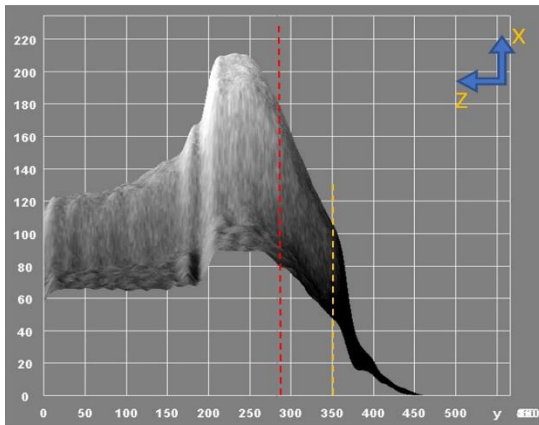
B)



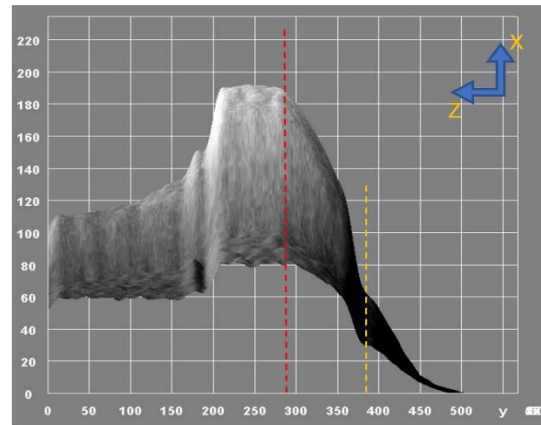
C)



D)



E)



F)

Figura 6.31. A) Obstructor posición 20mm en X y -2 mm en Z, B) Obstructor posición 30mm en X y -2 mm en Z, C) Obstructor posición 30 mm en X y -3 mm en Z, D) Obstructor posición 30mm en X y -4 mm en Z, E) Obstructor posición 40mm en X y -4 mm en Z, F) Obstructor posición 40mm en X y -6 mm en Z.

Como se puede observar en la figura 6.31, al tener el obstructor separado 20 mm del detector se requiere realizar una corrección de -2 mm en el eje Z para obtener el área de trabajo deseada, al retirar el obstructor a 30 mm se desplazan otros -2 mm en el eje Z para obtener el mismo efecto y al tener una separación 40 mm se requiere mover otros -2 mm para continuar con el área deseada, por lo que se llegó a una hipótesis, en la cual por cada milímetro que se desplacen los obstructores en el eje X se requiere de un desplazamiento de -0.2 mm en el eje Z, ya que su comportamiento era muy cercano a un comportamiento lineal, para comprobar esta hipótesis se realizaron simulaciones en las cuales se desplazaba el obstructor milímetro a milímetro en el eje X, con su corrección de -0.2 mm en el eje Z.

Al realizar estas simulaciones se observó como estos movimientos de -0.2 mm del obstructor mantiene el área casi constante en el rango de 20 mm a 24 mm, sin embargo, a la distancia de 25 mm cambia y se mantiene constante hasta los 32 mm, repitiendo este comportamiento en diferentes rangos de distancias. En la tabla 6.2 se pueden observar los resultados obtenidos de la simulación de una forma detallada. Otro aspecto que se observó es la modificación de la pendiente de la intensidad de la difracción, la cual al tener una separación de 20 mm del obstructor al detector esta tiene una caída abrupta, con una pendiente de -2.15, pero al separar el obstructor a 40 mm la pendiente cambia a -0.923, como se puede observar en la figura 6.32.

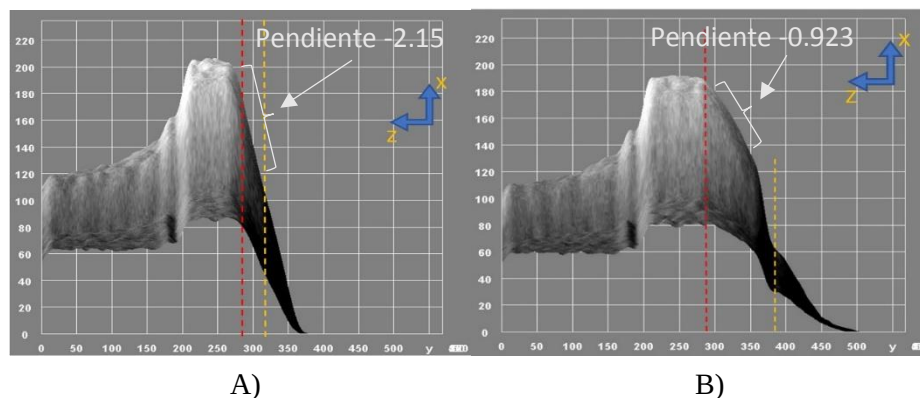


Figura 6.32. Comparación de las pendientes A) Separación de 20 mm con pendiente de -2.15, B) separación de 40 mm con pendiente de -0.923

Tabla 6.2. Distancia obtenida dependiendo de la posición en X y Z (mm).

Posición X	Posición Z	D1 (Figura 6.28)	Pendiente	Irradiancia
20	-2	4.05	-2.15	2.446
21	-2.2	3.93	-1.954	2.446
22	-2.4	3.94	-2.048	2.451
23	-2.6	3.94	-1.89	2.398
24	-2.8	4.05	-1.755	2.564
25	-3	4.23	-1.638	2.429
26	-3.2	4.42	-1.593	2.445
27	-3.4	4.29	-1.445	2.424
28	-3.6	4.29	-1.365	2.515
29	-3.8	4.29	-1.445	2.47
30	-4	4.29	-1.382	2.439
31	-4.2	4.42	-1.463	2.476
32	-4.4	4.29	-1.308	2.507
33	-4.6	4.66	-1.335	2.466
34	-4.8	4.66	-1.216	2.424
35	-5	4.66	-1.103	2.549
36	-5.2	4.79	-1.25	2.46
37	-5.4	4.79	-1.077	2.418
38	-5.6	4.85	-1.015	2.396
39	-5.8	5.28	-1	2.425
40	-6	5.22	-0.923	2.504

Una vez obtenidos los datos que se presentaron la tabla 6.2 se ajustó un modelo matemático que describiera los resultados de la distancia D1, el modelo matemático que se selecciono se utiliza en bioquímica y es utilizado para la Inhibición competitiva, al ser nuestros resultados el movimiento en dos direcciones se requería un modelo que tomara dos variables, el modelo de Inhibición competitiva se describe en la ecuación ().

$$I = \frac{ax}{b\left(1+\frac{z}{c}\right)+x} \quad ()$$

Donde

$$a = 7.264769$$

$$b = 18.55477$$

$$c = 135407.0015$$

Donde a, b y c fueron obtenidas con el programa Excel mediante la función “solver” encontrando un ajuste de 97.43%.

El cambio del pendiente encontrado en los resultados de la tabla 6.2 puede ser explicado con apoyo de la figura 6.34, la cual se presenta a continuación.

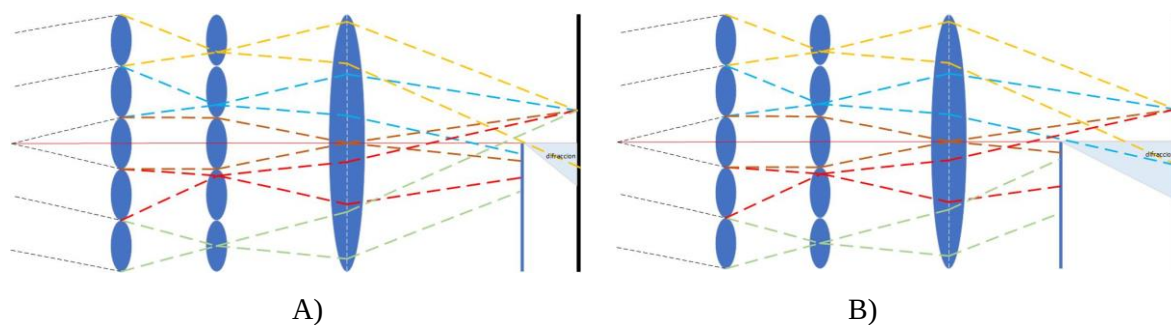


Figura 6.32. Zonas de difracción y trazo de rayos, A) representación de la separación del obstructor y el detector de 20 mm, B) representación de la separación del obstructor y el detector de 40 mm

Como se puede observar en la figura 6.32 al separar el obstructor, el área de difracción aumenta y algunos rayos que eran bloqueados por el obstructor logran llegar hasta el detector con lo que la intensidad en la zona de difracción se ve modificada, lo cual genera este cambio en la pendiente.

Capítulo 7

Conclusiones

Las conclusiones obtenidas de la presente tesis son presentadas a continuación.

Debido a la tendencia de la miniaturización y alta densidad de CI en un PCI se debe de tener un mayor control tanto de la temperatura como de la forma de la mancha de luz en los sistemas de retrabajo.

Se realizó un análisis teórico y simulado sobre dos arreglos ópticos FILSS a los cuales se les agregó un obstructor. La principal característica que se buscó de estos sistemas, es conseguir una mancha de luz de área definida, homogénea y plana, la cual abarque el área del componente a soldar.

Una de las mejoras que se observa en el sistema FILSS con obstructores con respecto a los sistemas convencionales de retrabajo es su número de elementos y la distribución de mancha de luz, ya que estos sistemas utilizan 8 elementos ópticos y con una distribución de mancha de luz circular, con perfil gaussiano, mientras que en el arreglo propuesto solo requiere de 6 elementos ópticos, sin tomar en cuenta la fuente de luz, y con una distribución de mancha casi plana y homogénea y con la forma que se desee.

Mediante la simulación con el software Zemax y el análisis gráfico con el software ImageJ se logró observar que las manchas obtenidas para el sistema óptico de doble multi-lente no eran planas ni homogéneas, esto mejoró al modificar los parámetros de simulación, aumentando la resolución y la cantidad de rayos para realizar un procesamiento de una mayor cantidad de datos. Una vez con estas modificaciones se observó que la irradiancia decaía casi un 50% y se mantenía casi constante al ir aumentando la cantidad de rayos, con lo que concluimos que las simulaciones iniciales tenían muy poca información para considerarse una simulación válida. Sin embargo, se encontró que la mancha de luz no era plana u homogénea, aun con el aumento de la cantidad de rayos, al realizar un análisis de las manchas se encontró que la mancha de luz tiene picos de irradiancia en distintas partes de la mancha y con una distribución semejante a la gaussiana, por lo que se debe considerar que esta tiene un porcentaje de error del 9%, con respecto a su nivel más bajo y su pico más alto.

Una vez obtenidas las manchas de luz, con los parámetros de resolución y cantidad de rayos adecuados, se obtuvieron las distribuciones de luz deseadas mediante una configuración de los arreglos, colocando el obstructor y simulando su comportamiento.

Al realizar el análisis gráfico se pudo observar como la mancha de luz incidía en zonas ocultas por los obstructores, llegando a la conclusión de que se generaba un efecto de difracción en borde recto con luz incoherente.

Para la disminución del fenómeno de difracción se propuso la colocación de múltiples obstructores, ya que en la teoría de difracción al colocar un obstáculo la intensidad de la luz en la posición 0 es del 50%, con 2 obtendríamos un 25% de la intensidad original y así sucesivamente, pero debido al comportamiento de las multi-lentes la intensidad en la zona de trabajo decaía, ya que el segundo obstructor bloquea rayos que inciden en la zona de trabajo, por lo que se descarto la idea del multi-obstructor.

Además de esta difracción se pudo observar como el área de mayor irradiancia de la mancha de luz no abarcaba el área a ser soldada, encontrando que aproximadamente es un 50% menor al área requerida, mediante el reacomodo de los obstructores se pudo observar que a por cada mm que se alejaba el obstructor del detector en el eje óptico, después de los 20mm de separación, este requería un ajuste en el eje Z de -0.2 mm aproximadamente, que si bien no mantenía el área constante si se aproximaban al área requerida.

Sin embargo, estos reacomodos causan un fenómeno a la zona donde incide la luz difractada, la cual afecta a la pendiente de la difracción, al colocar el obstructor con una separación de 20 mm del detector la difracción tiene una caída abrupta, con una pendiente de -2.15 , al colocar el obstructor a una separación de 40 mm la caída es menos pronunciada, con una pendiente de -0.923 .

Por lo que una colocación del obstructor entre 20 mm y 30 mm en el eje óptico con su correspondiente posición en el eje Z se considerarse adecuada para la tarea que se requiere realizar.

Trabajo a futuro.

Lista de Productos derivados de la tesis

Bibliografía

- [1] R. Strauss, SMT soldering handbook (Newnes 1998) Cap. 1
- [2] N.C. lee, Reflow soldering processes and troubleshooting: SMT, BGA, CSP and Flip chip technologies (Newnes 2002) Cap. 1,4.
- [3] Orozco Roldan Francisco Ramón, López Gálvez Cristóbal, "Soldadura en atmosfera natural", Ediciones Paraninfo, S.A., pp. 128-129.
- [4] E. Bradley, C. Handwerker, J. Bath, R. Parker, and R. Gedney, Lead-Free Electronics, JohnWiley & Sons Inc., 2007, Cap. 1,5 y 10.
- [5] J. Bath, Lead-Free Soldering (Springer, 2007), Cap. 3 y 5.
- [6] K. J. Puttlitz, K. A. Stalter, "Handbook of lead-free solder technology for Microelectronics Assemblies", Marcel Dekker, Inc., ISBN: 0-8247-4870-0, 2004, Part I.
- [7] Katsuaki Suganuma, "Lead-Free soldering in Electronics", Marcel Dekker, Inc., ISBN:0-8247-4102-1, 2004, Cap. 1- 3.
- [8] E. P. Leng, M. Ding, W. T. Ling, N. Amin, A. I. M. Y. Lee, and A. S. M. A. Haseeb, "A study of SnAgNiCo vs Sn3.8AgO. 7Cu C5 lead free solder alloy on mechanical strength of BGA solder joint," Proceedings of IEEE on Electronics Packaging Technology Conference, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Singapore, (2008), 588-594.
- [9] T. Novak and F. Steiner, "Influence of intermetallic compounds growth on properties of lead-free solder joints," Proceedings of IEEE on International Spring Seminar on Electronics Technology, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Bad Aussee, 2012), 213-217.
- [10] A. Raj and T. Latha, VLSI Design (PHI, 2008), pp. 1-4.
- [11] C. Chun-Chi, Y. Li, H. Li, y C. Wang, "Fine pitch BGA solder joint split in SMT process," Proceedings of IEEE on International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Taipei, 2009), 602-605.
- [12] T. Kangasvieri, J. Halme, J. Vahakangas, y M. Lahti, "Broadband BGA-Via transitions for reliable RF/microwave LTCC-SiP module packaging," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 18(1), 34-36, (2008).

- [13] L. Nie, M. Osterman, F. Song, J. Lo, R. Lee, y M. Pecht, "Solder ball attachment assessment of reballed plastic ball grid array packages," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 901-908 (2009).
- [14] P. L. Tu, Y. C. Chan, K. C. Hung, and J. K. L. Lai, "Comparative study of micro-BGA reliability under bending stress, "IEEE transactions on Advanced Packaging, (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 750-756 (2000).
- [15] J. Gao, Y. Wu, y H. Ding, "Micro-BGA package reliability and optimization of reflow soldering profile," Proceedings of IEEE International Conference on Asian Green Electronics, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, China, 2005), 135-139.
- [16] Y. L. Tzeng, E. Chen, J. Y. Lai, Y. P. Wang, and C. S. Hsiao, "Stress and thermal characteristic analyses for advanced FCBGA packages," Proceedings of IEEE on International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, (Institute of Electncal and Electronics Engineers, Taiwan, 2006), 1-4.
- [17] S. L. Kanuparthi, J. E. Galloway, y S. McCain, "Impact of heatsink attach loading on FCBGA package thermal performance, "Proceedings of IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, San Diego, Ca., 2012), 216-223.
- [18] B.Y. Jung, J. Y. Gim, J. D. Kim, C. H. Lee, M. Jimares, N. Islam, y R. Darveaux, "Study of FCMBGA with low CTE core substrate," Proceedings of IEEE on Electronic Components and Technology Conference, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, San Diego, Ca., 2009), 301-304.
- [19] H. G. Sy, P. Arulvanan, y P. A. Collier, "Rework and reliability of QFP and BGA lead-free assemblies" Proceedings of Conference on Electronics Packaging Technology, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Singapore, 2002), 194-199.
- [20] K. Dusek, M. Novak, y A. Rudajevova, "Study of the components self alignment in surface mount technology", Proceedings of IEEE on Seminar on Electronics Technology, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Bad Aussee, 2012),197-200.
- [21] M. Pecht, Soldering Process and Equipment (John Wiley & Sons Inc., 1993), Cap.4.
- [22] N. Heilmann, "A comparison of vapor phase, infrared and hot gas soldering," Proceedings of IEEE Electronic Manufacturing Technology Symposium, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Neuilly sur Seine, 1988), 70-72.

- [23] K. E. Bahr, A. V. Sedrick Jr, Focused Convection Reflow Soldering Method and Apparatus, número de patente: 4,771,929, (1988)
- [24] Sakuyama, S. Uchida, H. Watanabe, I. Natori, K. Sato, T., "Reflow Soldering Using Selective Infrared Radiation", Electronic Manufacturing Technology Symposium, 1995, Proceedings of 1995 Japan International, 18th IEEE/CPMT International, pp. 393 - 396, ISBN:0-7803-3622-4
- [25] R. N. Cox, Reflow Technology Handbook (Research Inc., 1992), Cap. 1.
- [26] R. H. Gibbs y D. J. Lowrie, Infra-red Rework Station, número de patente: 4,843,216 (1989)
- [27] C. Anguiano, M. Félix, A. Medel, D. Salazar, and H. Márquez, "Heating capacity analysis of a focused infrared light soldering system," Proceedings of Conference on IEEE Industrial Electronics Society, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Melbourne, 2011), 2136-2140.
- [28] M. Félix, C. Anguiano, A. Medel, M. Bravo, D. Salazar, H. Márquez, y J. Chacon, "Infrared thermography of integrated circuits heated by focused IR light soldering system", Conference of Latin America Optics and Photonics, (Optical Society of America, 2012), paper LTC4.3.
- [29] C. Anguiano, M. Félix, A. Medel, M. Bravo, D. Salazar, H. Márquez, "Study of heating capacity of focused IR light soldering systems", Optics Express, Vol. 21 Issue 20, pp.23851-23865 (2013).
- [30] C. Anguiano, Tesis "Estudio Teórico-experimental de Sistemas Ópticos para Aplicaciones de Soldadura por luz infrarroja enfocada de Dispositivos SMT", Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California (2014).
- [31] D. Jiménez, tesis "Diseño de dispositivos Optoelectrónicos Integrados: Métodos numéricos de simulación de la propagación de ondas electromagnéticas", Universidad Autónoma de Barcelona, cap 1, (2000).
- [32] S.E. Miller, "Integrated Optics: An Introduction", The Bell System Technical Journal, vol 48, pp. 2059-2068, (1969).
- [33] O.E. Morales, "Modelado teórico y experimental de la transmisión de una señal FSK utilizando la técnica de modulación de coherencia luminosa", Universidad de las Américas Puebla, (2007).

- [34] A.J. Smith, D.E. Jaramillo y J. Osorio, “Revisión del efecto Kerr magneto óptico” *Revista Mexicana de Física E* 55 (1), 61–69, (2009).
- [35] L.R. Villarreal, tesis “Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas”, Universidad Autónoma de Nevo León, cap. 1 (1997).
- [36] E. Hecht, “Óptica” tercera edición, Universidad Adelphi. pp. 123. ISBN: 84-7829-025-7 (2000).
- [37] M. Llopis, “Solución de encapsulado para chips fotónicos en Silicio con múltiples conexiones ópticas y eléctricas”, Universidad Politécnica de Valencia, cap. 1, pp. 8 (2011).
- [38] L. Zimmermann, H. Schröder, P. Dumon, W. Bogaerts, and T. Tekin, “Epixpack - advanced smart packaging solutions for silicon photonics,” in *Proc. 14th Eur. Conf. Integr. Opt. (ECIO)*, Eindhoven, The Netherlands, paper WeB2, pp. 33–36, Jun. 11–13, 2008.
- [39] L. Zimmermann, T. Tekin, H. Schroeder, P. Dumon, and W. Bogaerts. “How to bring nanophotonics to application– silicon photonics packaging” *IEEE LEOS Newsletter*, 2008, pp. 4–14.
- [40] C. Kopp, S. Bernabé, B.B. Bakir, J.M. Fideli, R. Orobitchouk, F. Schrank, H. Porte, L. Zimmermann, T. Tekin, “Silicon Photonic Circuits: On-CMOS Integration, Fiber Optical Coupling, and Packaging”. Grenoble (France), 2010, vol. 17, no. 3, pp. 498–509.
- [41] D. Vermeulen, S. Selvaraja, P. Verheyen, G. Lepage, W. Bogaerts, P. Absil, D. Van Thourhout, and G. Roelkens, "High-efficiency fiber-to-chip grating couplers realized using an advanced CMOS-compatible Silicon-On-Insulator platform," *Opt. Express* 18, 18278-18283 (2010).
- [42] Sing H. Lee and Y.C. Lee, "Optoelectronic Packaging for Optical Interconnects," *Optics & Photonics News* 17(1), 40-45 (2006)
- [43] T. Tekin, "Review of Packaging of Optoelectronic, Photonic, and MEMS Components," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 17, no. 3, pp. 704-719, May-June 2011. doi: 10.1109/JSTQE.2011.2113171
- [44] S. Bernabé, C. Kopp, L. Lombard, and J.-M. Fedeli, “Microelectroniclike packaging for silicon photonics: a 10 Gbps multi-chip-module optical receiver based on Ge-on-Si photodiode,” presented at ESTC, Berlin, Germany, 2010.
- [45] P. De Dobbelaere, B. Analui, E. Balmater, D. Guckenberger, M. Harrison, R. Koumans, D. Kucharski, Y. Liang, G. Masini, A. Mekis, S. Mirsaidi, A. Narasimha, M. Peterson, T. Pinguet, D. Rines, V. Sadagopan, S. Sahni, T. J. Sleboda, Y. Wang, B. Welch, J. Witzens, J.

Yao, S. Abdalla, S. Gloeckner, and G. Capellini, “Demonstration of first WDM CMOS photonics transceiver with monolithically integrated photo-detectors,” presented at ECOC 2008, Brussels, Belgium, Paper, Tu.3.C.1.

[46] B. Jalali and S. Fathpour, “Silicon photonics,” *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 24, no. 12, pp. 4600–4615, Dec. 2006.

[47] M. P. Li, J. Martinez, D. Vaugham, White Paper “Transferring High-Speed Data over Long Distances”, Avago technologies, Altera (Intel), WP-01177-1.0 (2012).

[48] Hoja de datos de diferentes productos de la compañía Avago technologies.

[49] E. F. Mateo, Tesis “Dispositivos ópticos integrados no lineales biestables, lógicos y de enrutado por acoplamiento modal transversal para redes totalmente ópticas”, Universidad de Santiago de Compostela, cap. 1, pp. 16-34, (2005).

[50] U. Fisher, T. Zinke, P. Peterman, “Integrated Optical Waveguide Switches in SOI”, *Proceedings of the IEEE, International SOI conference*, 141 (1995).

[51] R. Chávez, I. Zaldívar, C. Reyes, A. Diaz, “Fabricación de guías de onda ópticas en silicio utilizando óxido de silicio y nitruro de silicio”, *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, Superficies y Vacío* 18(4), 21-23, (2005).

[52] J. R. Sendra, curso de comunicaciones “Amplificación óptica y óptica integrada” ópticas Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, cap. 8, (1999).

[53] R. Clavero, Tesis “Flip-Flop ópticos basados en Interferómetros Mach-Zehnder Activos con Realimentación”, Universidad Politécnica de Valencia, cap. 2, pp.17-38 (2007).

[54] F. I. Condori, N. S. Condori, “Multiplexacion y Demultiplexacion Opticas”, Universidad de Aquino Bolivia Facultad de ciencias y tecnología (2016).

[55] D. A. Buelvas, I. D. Téllez, E. Amado “Redes Ópticas DWDM: Diseño e Implementación”, *Revista Visión Electrónica* año 4. No.1 pp. 70-80 (2010).

[56] S. Bahaa and T. Malvin, “Fundamentals of Photonics”, John Wiley & Sons Inc., Cap. 1 (1991).

[57] E. Hecht, *Optics*, Addison Wesley, 4. Edición, Cap. 5 pp. 141 (2002).

[58] W. Smith, *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, Cap.3, 5, 10, 11 y 12 (2000).

- [59] ELI, “Manual de Iluminación Eficiente”, libro electrónico, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – Argentina, cap. 5, pp. 7-12 (2002).
- [60] E. Hecht, “Óptica” tercera edición, Universidad Adelphi. cap. 7,9-12. ISBN: 84-7829-025-7 (2000).
- [61] B. Y. Martínez, “Modulación de coherencia óptica con dispositivos electro-ópticos con aplicaciones en detección de campos eléctricos”, cap. 2 (2012).
- [62] M. Aguilar, M. Gamonal, C. Vallejos, “Difracción por un borde recto” practica número 5 del laboratorio de Ondas y Óptica, Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile (2016).
- [63] E. Santamaria, Tesis “Análisis del Interferómetro filo de la navaja sin haz colimado”, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, apéndice C (2015).
- [64] R. Ganz, G. Beck, “Difracción de la luz en un filo”, Revista de la Unión Matemática Argentina, Volumen XIV, Número 5, pp.425-443 (1950), <http://inmabb.criba.edu.ar/revuma/revuma.php?p=toc/vol14>.
- [65] P. S. Considine, “Effects of Coherence on Imaging Systems” Journal of the Optical Society of America, volumen 56, Number 8, pp. 1001-1009 (1966).
- [66] M. N. Wernick, G. M. Morris, “Effect of spatial coherence on knife-edge measurements of detector modulation transfer function”, Applied Optics, Vol. 33, No 25, pp. 5906-5913 (1994).
- [67] B.M. Watrasiewicz, “Theoretical Calculations of Images of Straight Edges in Partially Coherent Illumination”, Optica Acta: International Journal of Optics, 12:4, 391-400, DOI: 10.1080/713817950 (1965).
- [68] J. W. Goodman, “Introduction to Fourier Optics”, cap. 6.5, pp. 154-160, ISBN 0-07-024254-2 (1996).
- [69] J. P. Holman, “Transferencia de calor”, cap. 1, pp. 17-40, ISBN 0-07-0229618-9 (1999).
- [70] J. E. Andocilla, A. A. Carrera, Tesis “Modelación matemática y simulación de la ecuación diferencial de transferencia de calor de una aleta rectangular de área constante y longitud “L” con simulink”, Universidad Politécnica Salesiana, cap. 2, pp. 15-20 (2015).
- [71] F. I. Mendoza, Tesis “Análisis numérico del calor conjugado en una superficie extendida”, Universidad Nacional Autónoma de México, cap. 2 (2013).
- [72] X. Molero “Del ENIAC, hasta los andares” Departament d’Informàtica de Sistemes i Computadors Universitat Politècnica de València, 2013.

[73] Xavier Molero: “ENIAC: una máquina y un tiempo por redescubrir”. Actas de las XIX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2013, pp. 241–248, Castellón, julio de 2013.

[74] M. Llopis, “Solución de encapsulado para chips fotónicos en Silicio con múltiples conexiones ópticas y eléctricas”, Universidad Politécnica de Valencia, cap. 4.3, (2011).