



# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION EN FISICA.

## **“TRANSMISION DE INFORMACION MULTICANALIZADA UTILIZANDO REJILLAS DE DIFRACCION Y MODULACION ACUSTO OPTICA”.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO EN TECNOLOGIA ELECTRONICA.**

DIRIGIDO POR:

DR. ALEJANDRO GARCIA JUAREZ.

ASESORADO POR:

M.C MARIA DEL ROCIO GOMEZ COLIN.

PRESENTA:

ANGEL GUILLERMO RIOS LARA.

HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

OCTUBRE 2012.

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# **Dedicatoria.**

**A MIS PADRES POR SER EL PILAR NECESARIO PARA CONCLUIR ESTE**  
**TRABAJO.**

# **Agradecimientos.**

Mis agradecimientos serian especialmente para mi familia en especial mis padres que me apoyaron en todo momento para la realización de mi tesis y también a mis dos asesores que me apoyaron en todo momento al realizar mi tesis y a todos los profesores también les quiero agradecer su atención prestada durante mi etapa escolar.

Al Dr. Alejandro que a lo largo de mi investigación me apoyo en observaciones y aclarándome las dudas que salían durante la investigación, al Dr. Roberto que sin duda formo parte de esta investigación y lo cual a lo largo del proyecto también colaboro conmigo, y a la M.C Rocío ya que ella me apoyó en todo momento.

# Índice General.

## Contenido.

### Capítulo 1

#### Introducción general.

1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo general.....	3
1.3 Objetivos particulares.....	3
1.4 Organización de la tesis.....	3

### Capítulo 2

#### Sistemas de comunicaciones ópticas.

2.1 Introducción.....	4
2.2 Sistemas de comunicaciones ópticas.....	4
2.3 Arquitectura de los sistemas de comunicaciones ópticas.....	6
2.3.1 Sistemas analógicos.....	6
2.3.2 Sistemas digitales.....	9
2.4 Técnicas de Multicanalización.....	11
2.4.1 Multicanalización por división de tiempo.....	11
2.4.2 Multicanalización por división en longitud de onda.....	12
Referencias.....	15

### Capítulo 3

#### Dispositivos optoelectrónicos y esquemas de modulación.

3.1 Introducción.....	16
3.2 Láser.....	16
3.2.1 Proceso de bombeado de un láser.....	18
3.3 Foto detectores.....	21

3.4 Modulador acusto óptico.....	24
3.5 Modulación externa de luz.....	26
Referencias.....	28

## **Capítulo 4**

### **Rejillas de difracción.**

4.1 Introducción.....	29
4.2 Definición de rejillas de difracción.....	30
4.2.1 Difracción.....	30
4.3 Patrones de difracción.....	34
4.3.1 Características comunes de los patrones de difracción.....	35
Referencias.....	38

## **Capítulo 5**

### **Arreglo experimental para la transmisión multicanalizada de audio utilizando rejillas de difracción y modulación acusto óptica.**

5.1 Introducción.....	39
5.2 Esquema experimental para la transmisión de audio.....	39
5.3 Resultados experimentales.....	41
5.4 Conclusiones.....	47

## **Capítulo 6**

<b>Conclusiones generales y aplicaciones a futuro.....</b>	<b>49</b>
--	-----------

# Índice de Figuras.

## **Figura 2.1**

Diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones ópticas.....5

## **Figura 2.2**

Sistemas de comunicaciones ópticas analógico.....7

## **Figura 2.3**

Sistemas de comunicaciones ópticas digitales.....10

## **Figura 2.4**

Multicanalización en el dominio del tiempo.....11

## **Figura 2.5**

Diagrama para la multicanalización de WDM.....13

## **Figura 3.1**

Láser óptico de gas.....16

## **Figura 3.2**

Diagrama del láser semiconductor.....17

## **Figura 3.3**

Láser de neón gas de color rojo utilizado en la investigación.....19

## **Figura 3.4**

Componentes básicos de un láser.....20

## **Figura 3.5**

Imagen de las longitudes de onda del láser.....21

### **Figura 3.6**

Fotodetectores. Foto conductivo, Foto voltaico.....23

### **Figura 3.7**

Esquema básico de un dispositivo fotodetector.....24

### **Figura 3.8**

Modulación de pequeña señal de un láser.....27

### **Figura 3.9**

Esquema de modulación externa.....27

### **Figura 4.1**

Imagen de una rejilla de difracción.....30

### **Figura 4.2**

Imagen de difracción a través de una abertura pequeña.....31

### **Fig. 4.3**

Figura de un obstáculo en difracción, la geometría del frente resultante se modifica, fig. 1 (A, B), Interferencia destructiva y constructiva (C).....32

### **Figura 4.4**

Figuras de difracción.....32

### **Figura 4.5**

Discos con apertura circular.....33

### **Figura 4.6**

Rejilla de difracción.....34

**Figura 4.7**

Diagrama de difracción.....35

**Figura 4.8**

Tres tipos diferentes de rejillas de difracción con sus respectivas longitudes de onda.....37

**Figura 5.1**

Arreglo experimental para la transmisión multicanalizada de información.....40

**Figura 5.2**

Imagen del arreglo experimental construido en el laboratorio.....41

**Figura 5.3**

Imagen obtenida del osciloscopio la cual esta modulada por el generador de funciones.....42

**Figura 5.4**

Es el espectro de frecuencia AM.....42

**Figura 5.5**

Espectro de potencia del driver del modulador acusto-óptico.....43

**Figura 5.6**

Señal pre modulada AM, señal de modulación del driver acusto-óptico.....43

**Figura 5.7**

Señales temporales extendidas en el tiempo pre modulación am (señal superior), modulación del driver acusto-óptico (señal inferior).....44

**Figura 5.8**

Patrón de difracción del láser helio-neón.....45

**Figura 5.9**

Patrón de difracción a la salida de la rejilla de Bragg de 600 líneas/ mm.....45

**Figura 5.10**

Señal de audio recibida (superior) y transmitida (inferior).....46

# Capítulo 1

## Introducción General.

### 1.1 Introducción.

La electrónica es una rama de la Física, en donde se estudian conceptos teóricos y experimentales, los cuales no son excluyentes. Dentro de las ramas de la Física teórico-experimental encontramos también a la óptica. La óptica es la parte de la física que se encarga del estudio de la luz y su interacción con la materia. Desde el punto de vista académico y de investigación, la óptica podría clasificarse para su estudio en dos grandes grupos, la óptica básica y la fotónica. La óptica básica se encarga de estudiar los fenómenos fundamentales, como la propagación de la luz de un medio a otro, la polarización, la difracción, y la coherencia de la luz, etc.

A nivel mundial, el reciente desarrollo y crecimiento de la óptica ha tenido como consecuencia novedosas aplicaciones en las actividades cotidianas del ser humano: Escáner en los supermercados, maquinas copiadoras, discos compactos, hologramas, cámaras digitales, proyectores de cristal líquido son sólo algunas de las tecnologías a las que actualmente nos hemos venido acostumbrando, y que desde el punto de vista de las aplicaciones en la óptica, se pueden separar en cuatro grandes áreas en las cuales inciden las investigaciones que actualmente se realizan en muchas universidades del mundo: Instrumentación óptica, comunicaciones ópticas, metrología óptica. Sin embargo, y como soporte de estos tres, debe de mencionarse un área más de investigación, la óptica de frontera.

En instrumentación óptica se incluye el estudio y diseño de elementos, y sistemas ópticos que se utilizan principalmente para coleccionar imágenes. Como ejemplo de ello podemos citar: lentes, prismas, espejos, microscopios, telescopios, etc. En comunicaciones ópticas se utiliza a la luz como portadora de información y se usan sistemas ópticos para la transmisión y recepción de señales. Los temas relacionados con esta área de aplicaciones son: cristales especiales, fibras ópticas, fotodetectores, fuentes de luz (láseres),

procesamiento de señales, holografía, óptica no lineal, entre otros. Una aplicación importante de la óptica en comunicaciones, es el empleo de fibra óptica para enviar información a través de lo que conocemos como "internet".

En la óptica de frontera se investigan fenómenos relacionados con radiación luminosa de alta potencia, la rápida detección y transmisión de información generada con luz, nuevos materiales ópticos, fuentes de radiación y detección luminosa. Los temas relacionados son: coherencia, óptica cuántica, fibras fotónicas, óptica no lineal, etc. Las aplicaciones derivadas de estos estudios se reflejan en la aparición de nuevos tipos de láseres o bien en el perfeccionamiento de los ya existentes. Estas investigaciones también permiten el empleo de nuevos materiales para aplicaciones diversas como en las comunicaciones y sensores ópticos.

Por otra parte la fusión entre las aplicaciones de la Óptica y de la Electrónica ha dado lugar a la Optoelectrónica, esta línea de investigación pertenece al campo de la fotónica, la cual se encarga de estudiar la aplicación de los dispositivos electrónicos que interactúan con la luz, la cual incluye formas de radiación como los rayos X, gama, ultravioletas e infrarrojos. La Optoelectrónica se emplea en áreas tan diversas como la medicina, sectores industriales y las comunicaciones ópticas.

Por ejemplo en aplicaciones médicas se utilizan los biosensores optoelectrónicos para el análisis de redes neuronales biológicas, en sectores industriales está el desarrollo de tecnología optoelectrónica integrada, donde se incluye la fabricación de microprocesadores y espectrómetros MEMS ópticos y en las comunicaciones ópticas se está trabajando en el diseño, planeación y optimización de redes ópticas para resolver problemas de seguridad, protocolos de comunicación y ruteadores en redes amplias.

En este trabajo de tesis, describiremos un sistema experimental que permite transmitir de manera multicanalizada una señal de audio. El sistema ubicado en el área de la optoelectrónica está compuesto por un laser He-Ne de 632 nm, un modulador acusto-óptico, una rejilla de difracción y dos fotodetectores.

## **1.2 Objetivo General.**

El objetivo de esta tesis es transmitir información de audio en forma multicanalizada a través del espacio libre usando rejillas de difracción, y modulación acusto óptica.

## **1.3 Objetivos Particulares.**

Analizar los sistemas de comunicaciones ópticas.

Caracterización del modulador acusto óptico.

Caracterización de las rejillas de difracción.

Análisis del esquema experimental propuesto.

## **1.4 Organización de la tesis.**

En el segundo capítulo de esta investigación se describen los sistemas de comunicaciones ópticas así como las diferentes técnicas de multicanalización utilizadas para el envío de audio, así como los sistemas analógicos y digitales. En el tercer capítulo se describen los dispositivos optoelectronicos utilizados en este trabajo de investigación.

Así como sus características, sus definiciones y su función dentro de esta investigación, también se mostrará el tipo de modulación que se llevo a cabo para esta investigación de tesis. En el cuarto capítulo se estudian las rejillas de difracción su definición, los patrones de difracción, y el tipo de rejilla que se utilizó en esta investigación. En el quinto capítulo se muestra detalladamente el esquema que se instrumento, y los resultados experimentales. El sexto y último capítulo se presentan las conclusiones de este trabajo así como sus posibles aplicaciones futuras.

# Capítulo 2

## Sistemas de comunicaciones ópticas.

### 2.1 Introducción.

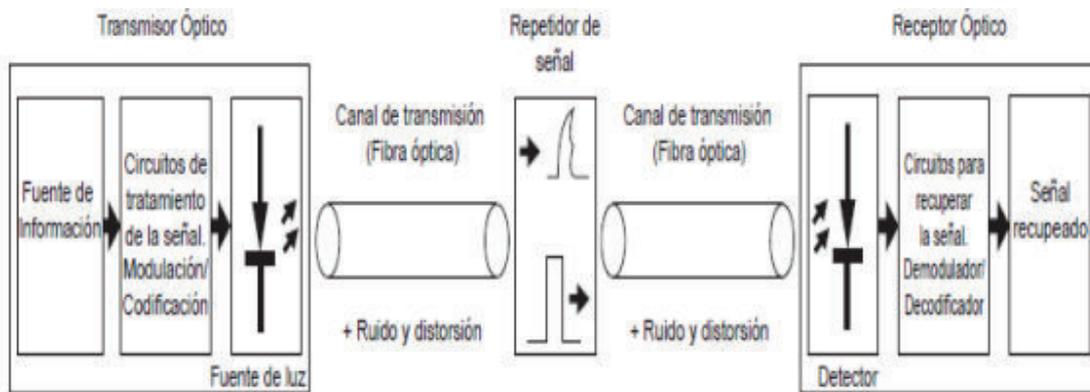
En este capítulo se describen los diferentes elementos que conforman un sistema de transmisión óptica, ya que son elementos ópticos que se utilizan para transmitir una señal de un lugar a otro, ya sea audio, datos o video. Se mencionaran los elementos necesarios para llevar a cabo la transmisión de información, así como también sus características y propiedad de los sistemas ópticos, y los sistemas analógicos y digitales utilizados en esta investigación y los sistemas de multicanalización y sus características.

### 2.2 Sistemas de comunicaciones ópticas.

Un sistema de comunicaciones ópticas está constituido fundamentalmente por un transmisor óptico, un canal de transmisión de fibra óptica y un receptor. Si el sistema es utilizado para comunicar puntos separados por grandes distancias, es necesario incluir repetidores de señal, dependiendo de las pérdidas en el canal a lo largo de la distancia de enlace.

La figura 2.1 muestra un esquema de bloques de un sistema de comunicaciones ópticas. El transmisor óptico incluye la fuente de información analógica o digital, el circuito modulador y la fuente óptica. El canal introduce ruido y distorsión. El repetidor recibe la señal atenuada y distorsionada y la regenera a la salida. El receptor incluye el fotodetector y circuitos asociados para recuperar la señal original (demoduladores, decodificadores filtros etc.). [1]

El objetivo de todo sistema de comunicaciones es la transmisión de la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, lo que implica que la investigación en este campo se concentre más en los sistemas de comunicaciones de alta velocidad.



**Figura 2.1** Diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones ópticas.

Las señales de banda base (banda original de frecuencias) que generan las diferentes fuentes de información por lo general no se prestan para la transmisión directa a través de un canal dado. Por esta razón, a menudo se deben modificar considerablemente para facilitar su transmisión. Este proceso de modificación se conoce como modulación y fundamentalmente consiste en hacer variar algún parámetro de la señal portadora de alta frecuencia en función de la señal de banda base. [1]

El desarrollo de sistemas de comunicaciones ópticas de alta velocidad puede explicarse por la evolución de cuatro generaciones de tecnología.

La primera generación entró en operación a mediados de la década de los 70, utilizaba fibras ópticas multimodo y operaba con luz en longitudes de onda alrededor de 0.85  $\mu\text{m}$ .

Esta primera generación, fue ampliamente utilizada debido al alto potencial de transmisión de información que mostraron los primeros sistemas ópticos. La segunda generación entró en operación alrededor de 1982 y continúa funcionando, ésta utiliza longitudes de onda de 1.3  $\mu\text{m}$ . Este cambio permitió una distancia de transmisión más grande, y por tanto, la eliminación de muchos repetidores en el trayecto de la señal. Estos sistemas operan con fibras ópticas monomodo. La tercera generación, está disponible desde 1985, también utiliza fibras ópticas monomodo, sólo que a longitudes de onda cercana a 1.55  $\mu\text{m}$ .

La atenuación en las fibras de silicio es mínima a esa longitud de onda. Finalmente, la cuarta generación utiliza técnicas ópticas coherentes. Todas estas generaciones emplean,

para mejorar su rendimiento, técnicas de multicanalización y componentes en tecnología de óptica integrada. [2]

### **2.3 Arquitectura de los sistemas de comunicaciones ópticas.**

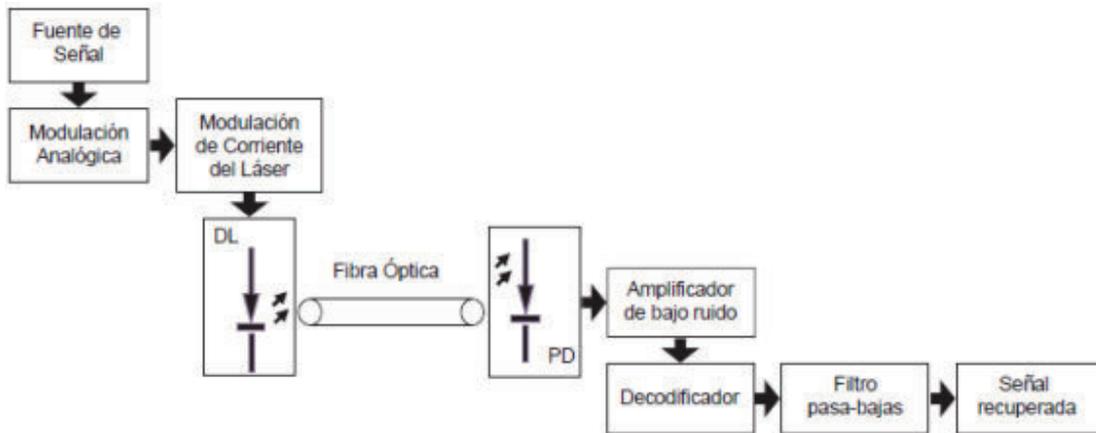
Hasta la tercera generación, todos los sistemas de comunicaciones ópticas utilizan modulación de intensidad de la fuente luminosa, de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora analógica o digital, y la recepción de la señal se realiza detectando estas variaciones de forma directa. A continuación se describen brevemente los sistemas de comunicaciones ópticas, analógicos y digitales. [2]

#### **2.3.1 Sistemas analógicos.**

En la figura 2.2 se muestra un sistema analógico de comunicaciones ópticas. La señal de entrada es una función continua del tiempo y puede ser de audio, video o variaciones continuas de algún proceso físico (presión, temperatura etc.). Las señales de audio y video generalmente modulan una portadora de RF en amplitud (AM), frecuencia (FM) o fase (PM).

Estas señales modulan la intensidad luminosa de la fuente, ya sea de manera directa, haciendo variar la corriente a través del diodo láser, o bien, utilizando moduladores externos.

En el extremo receptor la señal se detecta, amplifica y demodula. El filtro pasabajas permite seleccionar únicamente las frecuencias útiles de la señal. [2]. En un sistema de comunicaciones analógico, el objetivo es transmitir una señal sin distorsión significativa, esto quiere decir que la forma de la señal, a la salida del sistema, debe permanecer como una réplica de la señal original.



**Figura 2.2** Sistemas de comunicaciones ópticas analógico.

Las principales ventajas de un sistema de comunicaciones ópticas analógico son: Requieren ancho de banda menor que los sistemas digitales.

Son una alternativa de bajo costo cuando las distancias del enlace son cortas, y la banda de la señal a transmitir no excede los límites por atenuación y dispersión.

Hay dos inconvenientes en la transmisión de señales analógicas: el ruido y la dispersión en la fibra que limita el ancho de banda de la transmisión.

A causa de la atenuación en la fibra, la señal que se recibe es débil y podría no ser discernible del ruido.

En este caso la amplificación es inútil ya que el ruido añadido a la señal se amplifica también. [2]

A causa de la dispersión en la fibra, el ancho de banda de transmisión está limitado y las señales de alta frecuencia se atenúan más que las de baja frecuencia, lo que resulta en distorsión de la señal. Una señal analógica con distorsión elevada puede ocasionar la pérdida total de la información. [2]

Los dos efectos son acumulativos al aumentar la longitud  $L$  del enlace de fibra. La potencia óptica que se detecta decae de manera exponencial al aumentar  $L$ , mientras que el ancho de banda de la fibra, limitado por dispersión, es inversamente proporcional a  $L$ .

Para alcanzar el máximo rendimiento del enlace se deben asegurar dos condiciones: La atenuación en la fibra debe ser lo suficientemente pequeña, de manera que la potencia óptica detectada sea mayor que la sensibilidad del detector.

El ancho de banda de la fibra, limitado por dispersión, debe ser mayor que el ancho de banda de la señal.

El parámetro más importante en la evaluación del desempeño de un sistema de comunicaciones ópticas analógico, es la relación señal a ruido en la detección (SNR, signal to noise ratio).

La SNR se define como la relación entre la potencia promedio de la señal detectada y la potencia total de las fuentes de ruido, como se muestra en la ecuación 2.1, matemáticamente se expresa como:

$$SNR = \frac{R^2 P^2}{2e(I + I_d)\Delta f} + \left(\frac{4K_b T}{R_l}\right) \Delta f \quad 2.1$$

Donde:

$p$  es la potencia promedio que incide en el detector.

$R$  es la responsividad del detector.

$I$  es la corriente promedio generada por el detector.

$I_d$  es la corriente de oscuridad del detector.

$\Delta f$  Es el ancho de banda de detección, es decir, el ancho de banda sobre el cual debe considerarse el ruido.

$T$  es la temperatura absoluta, normalmente 300 K.

$K_b$  es la constante de Boltzmann, cuyo valor es  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K.

$e$  es la carga del electrón,  $1.6 \times 10^{-19}$  C.

$R_l$  es una resistencia de carga en serie con el fotodetector.

Un sistema de comunicaciones analógico debe diseñarse de manera que se tenga la mejor relación señal a ruido.

Otro aspecto importante es que, tanto la fuente luminosa, como el detector, deben presentar alta linealidad, con la finalidad de que puedan utilizarse factores de modulaciones grandes, y por tanto, una potencia óptica mayor (la potencia óptica transmitida es proporcional al cuadrado del índice de modulación).

Esto se consigue generalmente utilizando diodos láser que presentan alta linealidad y potencias de emisión relativamente elevadas.

Una manera de limitar la influencia de la no linealidad de los dispositivos utilizados, es emplear la modulación de subportadoras eléctricas, en amplitud, duración y posición de pulsos.

Esto permite que la transmisión se asemeje a una comunicación digital, ya que se transmiten pulsos que pueden ser regenerados a la salida del sistema. [3]

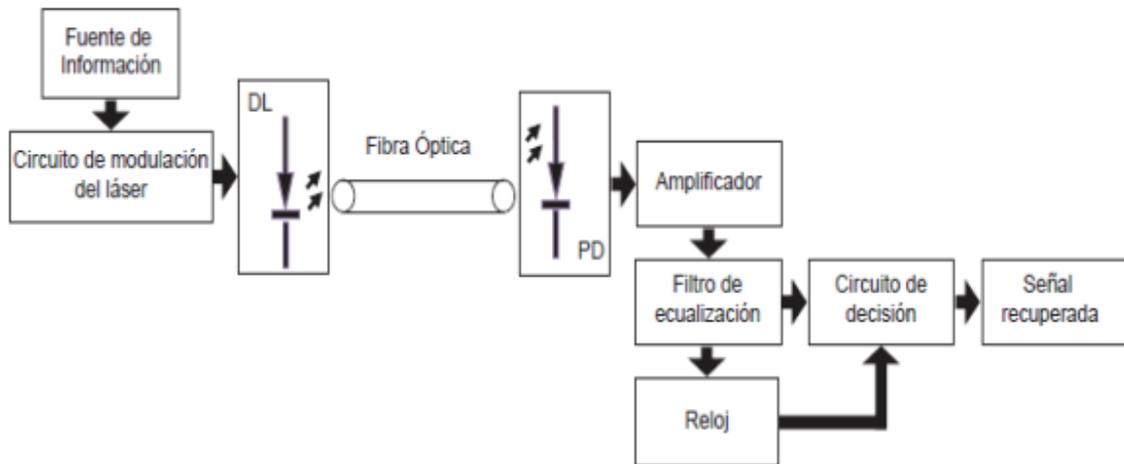
Como ejemplo de sistemas de comunicaciones ópticas analógicas, se puede mencionar a las actuales redes de distribución de televisión por cable, en las que al sustituir el cable coaxial por fibra óptica se ha logrado minimizar el número de repetidores en el trayecto de la señal. [3]

### **2.3.2 Sistemas digitales.**

En la figura 2.3 se muestra un esquema de transmisión digital vía fibra óptica. La, fuente de información debe estar en algún formato de señal digital, NRZ, RZ, HDB etc.

Las señales digitales se obtienen mediante el muestreo, cuantificación y codificación de señales analógicas, o bien, son señales de naturaleza discreta, como los datos de computadora.

El circuito de modulación del láser realiza la conversión de voltaje a corriente para modular la intensidad luminosa, de acuerdo con las variaciones de la señal. [3]



**Figura 2.3** Sistemas de comunicaciones ópticas digitales.

En el extremo receptor, la señal se detecta y amplifica, normalmente se requiere el filtro de ecualización para regenerar los pulsos recibidos; de ésta señal se extrae el reloj, que se utiliza en el circuito de decisión para determinar el nivel correspondiente a cada pulso sincronizado.

Actualmente los sistemas de comunicación digital son los de mayor desarrollo, y esta tendencia es generalizada, tanto para sistemas de fibra óptica, como para sistemas de RF. Las principales ventajas que ofrecen las técnicas digitales son, entre otras: Una mayor calidad de transmisión.

En el caso particular de los sistemas de fibra se puede tener un volumen de transmisión de información mucho mayor.

Una señal digital sólo puede tener un número finito de valores (normalmente dos), con lo cual la posibilidad de que se añada ruido y distorsión a lo largo de la transmisión es mucho menor que en las señales analógicas que tienen un número infinito de valores y en las que el ruido puede modificar el contenido de la señal original. En el caso digital, sólo es importante discernir el nivel y la temporización de los pulsos recibidos, la forma de éstos no resulta tan importante. [3]

Se preserva la intimidad de la comunicación con el uso de codificación criptográfica. Entre los escasos inconvenientes de la transmisión digital, se pueden mencionar: La necesidad de un mayor ancho de banda.

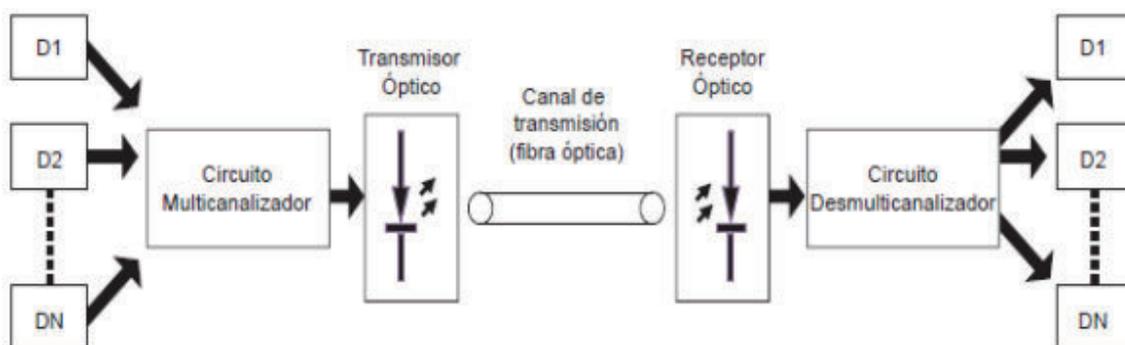
La necesidad de sincronización de pulsos, lo cual requiere de circuito complejos y, por tanto de una elevación en el costo de instalación de un sistema digital.

## 2.4 Técnicas de Multicanalización.

Desde los inicios de los sistemas de comunicaciones ópticas se han aplicado técnicas de multicanalización para mejorar el rendimiento de dichos sistemas. El interés fundamental es aumentar el volumen de transmisión de información, de manera que se aproveche de mejor manera la capacidad del canal, actualmente, la fibra óptica es el medio más adecuado para transmitir señales a frecuencias elevadas. A continuación se describen los esquemas multicanal más utilizado. [4]

### 2.4.1 Multicanalización por división de tiempo.

Los sistemas de comunicaciones ópticas pueden utilizar técnicas similares a las utilizadas con sistemas electrónicos. Una sola fibra puede transmitir muchas señales digitales multicanalizadas temporalmente, cada canal puede transmitir sus datos en un instante de tiempo previamente asignado. La asignación de tiempos para cada señal sirve en la recepción para identificar la fuente que envía el mensaje. La multicanalización temporal TDM (Time Division Multiplexing) puede hacerse bit por bit o bien en forma de paquetes que incluyen códigos de señalización y de identificación de fuente. El esquema típico de este tipo de multicanalización se muestra en la figura 2.4, y es básicamente el mismo que para sistemas eléctricos, solo que se agregan los bloques del transmisor y receptor ópticos. [4]



**Figura 2.4** Multicanalización en el dominio del tiempo.

Las transmisiones digitales de varias fuentes  $D_1, D_2, \dots, D_N$  se intercalan en tiempos predeterminados, el proceso es en realidad un simple interruptor, que va conmutando cíclicamente, este interruptor tiene  $N$  entradas y una salida. El tiempo que toma transmitir una señal en cada canal se llama tiempo de trama.

Los sistemas TDM tienen el mérito de ser los primeros en ofrecer una gran capacidad de transmisión de información digital, por lo que se adoptaron también para ser utilizados en enlaces de fibra óptica. Sin embargo, dado el desarrollo de nuevos dispositivos de óptica integrada, es probable que los sistemas TDM sean sustituidos, al menos para la transmisión por fibra, por sistemas WDM, los cuales se tratan en la siguiente sección.

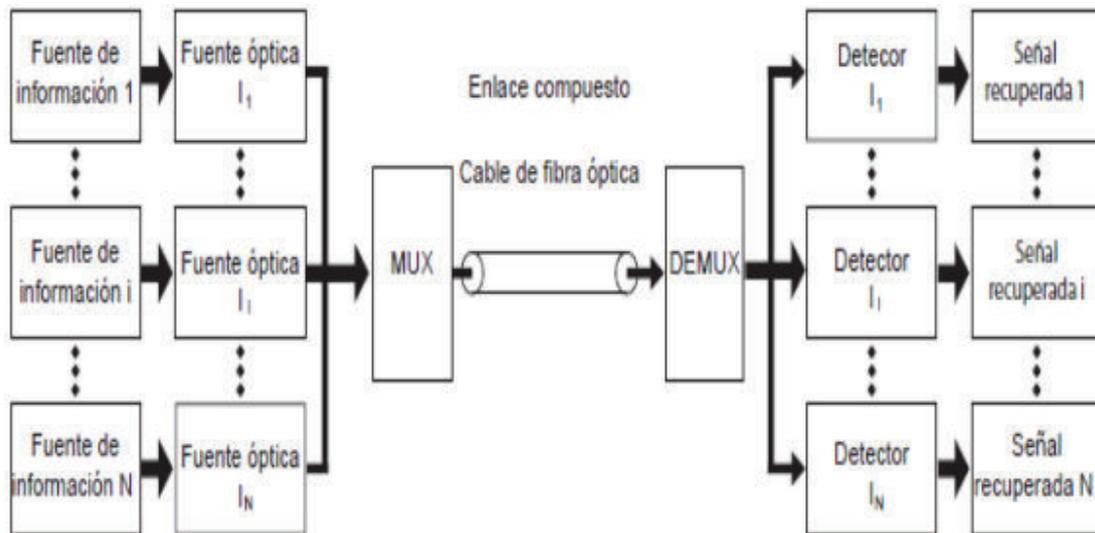
Aunque los sistemas de multicanalización por división de tiempo son todavía ampliamente utilizados, tienen limitaciones serias en cuanto a la máxima velocidad de transmisión que pueden alcanzar, ya que ésta depende de los circuitos electrónicos encargados de realizar el proceso de inserción o extracción de una señal cualquiera de toda la trama digital.

En la actualidad, los sistemas TDM comerciales de mayor capacidad de información, son los correspondientes a la Jerarquía Digital Síncrona, operando a un régimen binario de 2.5 Gb/s, aunque se están desarrollando sistemas para operar a 10 GB/s. [4]

#### **2.4.2 Multicanalización por división en longitud de onda.**

La multicanalización por división en longitud de onda (WDM por sus siglas en inglés Wavelength Division Multiplexing), consiste en la transmisión de dos o más flujos de información simultáneos sobre una misma fibra, en el mismo sentido u opuesto, y utilizando distinta longitud de onda en cada caso. La figura 2.5 muestra este tipo de multicanalización.

Las señales provienen de fuentes de luz con diferentes longitudes de onda. El multicanalizador y el desmulticanalizador son acopladores ópticos y los detectores son independientes, uno para cada longitud de onda.[4]



**Figura 2.5** Diagrama para la multicanalización de WDM.

Una multicanalización de este tipo presenta las siguientes ventajas, derivadas de su propia concepción:

Si la transmisión de flujos ocurre en el mismo sentido, aumenta la capacidad de enlace, multiplicando el valor inicial por el número de longitudes de onda multicanalizadas. La ventaja no se refiere sólo al tráfico cursado, sino al aprovechamiento de la misma infraestructura para soportarlo. Por ejemplo, cuando se trató la multicanalización por división de tiempo, se mencionó que los sistemas actuales trabajan a un régimen máximo de 2.5 Gb/s, un sistema WDM de 10 canales amplía este rendimiento a 25 Gb/s.

Las limitaciones por dispersión cromática en la fibra se aplican a la máxima velocidad por portadora (longitud de onda), y no a la velocidad total del sistema. Con referencia al ejemplo del apartado anterior, si la dispersión empieza a degradar la transmisión después de una cierta distancia y trabajando a 2.5 Gb/s, para un enlace de cuatro portadoras, la degradación será aproximadamente la misma, dada la cercanía entre longitudes de onda, aunque la velocidad de transmisión real es de 10 Gb/s. [4]

El formato de modulación de las señales multicanalizadas no necesita ser el mismo. Si se aplica a flujos de información en sentidos opuestos, aumenta la flexibilidad del sistema.

Los inconvenientes actualmente existentes para la utilización de la WDM son:

Pérdidas intrínsecas a los elementos ópticos selectivos de filtrado, por absorción o reflexión.

Pérdidas de acoplamiento entre la fibra y el elemento de filtrado.

Degradación de la sensibilidad del receptor a causa de la diafonía óptica entre canales, causada sobre todo por superposición de los espectros de las fuentes usadas (ancho espectral no exactamente monocromático y variaciones en la longitud de onda central debidas a la temperatura).

Dada la superioridad en el rendimiento de un sistema WDM, con respecto a uno TDM, el uso de esta técnica se va extendiendo cada vez más. Además, se puede realizar la conversión de sistemas TDM a WDM con relativa facilidad, ya que puede utilizarse parte de la infraestructura instalada para los sistemas TDM. [4]

## **Referencias.**

- [1] Keiser G. Optical Fiber Communications (Segunda edición), Mc. Graw Hill, Singapur, 1991.
- [2] Haykin S. Sistemas de comunicación. Limusa-Wiley, México, 2002.
- [3] Láminas delgadas y recubrimientos-Preparación, propiedad y aplicaciones. Consejo superior de investigaciones científicas. José M. Abella. España, 1993.
- [4] Singh J. Optoelectronics and introduction to materials and devices. Mc Graw Hill, Singapur, 1996.

# Capitulo3

## Dispositivos optoelectrónicos.

### 3.1 Introducción.

En este capítulo se estudiarán los dispositivos utilizados en esta tesis. Fueron muy importantes el laser y los fotodetectores al momento de la realización ya que los sistemas optoelectronicos están siendo explorados con mayor frecuencia hoy en día. Por mencionar un ejemplo, la mayoría de los walkman disponen de un de un dispositivo rojo a la salida del walkman (LED) que nos avisa, que las pilas se han agotado y que deben cambiarse. Las pantallas de cristal liquido, los sistemas modernos de comunicaciones mediante fibra óptica. Se darán las definiciones y características de los dispositivos optoelectronicos utilizados tales como el laser y fotodetector.

### 3.2 Laser.

El laser He-Ne (Helio-Neón) el cual fue utilizado en esta investigación es el primer gas laser. Se forma de un tubo de descarga largo y estrecho, lleno con una mezcla de 90% de He y 10% de los gases Ne. [1]

La fuente de energía o la bomba del laser es proporcionada por una descarga de alta tensión que pasa a través del gas entre los electrodos (ánodo y cátodo) dentro del tubo como a continuación se muestra en la figura 3.1:

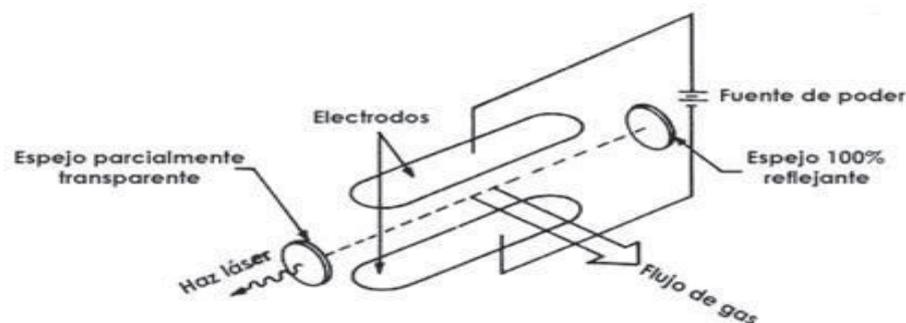
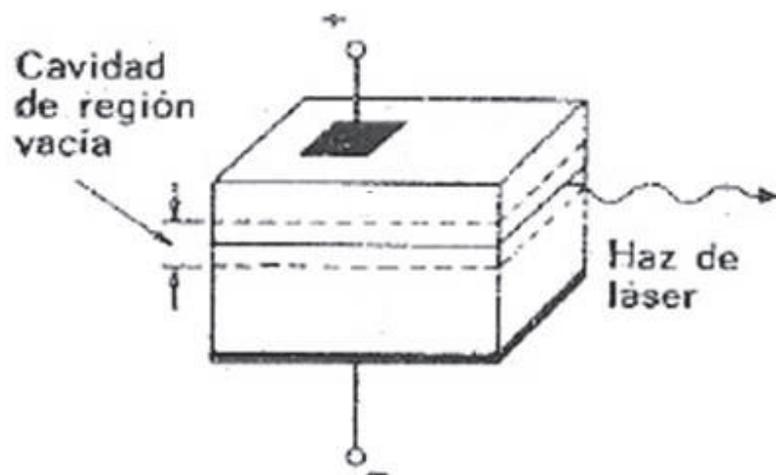


Figura 3.1 Laser óptico de gas.

Un semiconductor es un material de estado sólido cristalino o amorfo, cuya conductividad eléctrica está típicamente entre los valores de un metal y un aislador, y puede variar con la temperatura, o impurezas del material o por iluminación. Los dispositivos semiconductores, compuestos con materiales como el arseniuro de galio son importantes en el área de la fotónica [1]. Actualmente, la mayoría de los láseres semiconductores están basados en InGaAsP/InP como se muestra en la figura 3.2.

También se conocen a estos láseres de inyección debido a que el procedimiento de bombeo más usado consiste en la inyección de portadores de carga en la unión pm.



**Figura 3.2** Diagrama del laser semiconductor.

Los láseres semiconductores son similares a los láseres de gas helio neón, ya que la radiación emitida es monocromática y produce un haz de luz direccional.

La cavidad óptica del laser generalmente consta del laser de dos espejos cóncavos o planos, y una para espejo cóncavo, una que tiene muy alta reflectancia (típicamente 99.9%) y el espejo acoplador de salida permitiendo aproximadamente 1% de transmisión.

Los láseres comerciales HeNe son dispositivos relativamente pequeños, entre los láseres de gas, que tienen longitudes de cavidad entre 15 cm a 50 cm (pero a veces hasta aproximadamente 1 metro para alcanzar las más altas potencias), y niveles de potencia óptica de salida de 0.5 a 50 mw. [1]

La longitud del laser rojo HeNe tiene una longitud de onda de 632.9 nm, o alrededor de 632.816 nm en el aire.

El laser rojo HeNe tiene muchos usos industriales y científicos. Son ampliamente utilizados en demostraciones de laboratorio en el campo de la óptica y tiene la facilidad de operación en comparación con otros láseres que producen haces de calidad similar en términos de coherencia espacial.

Las principales propiedades del rayo laser son:

**Monocromaticidad:** El haz emitido por el sistema presenta una longitud de onda con una dispersión o ancho de banda de banda muy reducido.

**Intensidad:** El rayo laser presenta una intensidad mayor que la de cualquier otra fuente de luz. Por intensidad se considera aquí la energía emitida por unidad de tiempo por unidad de área.

**Estrechez:** Además de tener un ancho angular del haz muy pequeño, este presenta una reducida divergencia (muy pequeños incrementos en la sección transversal del haz); esto determina su alto grado de direccionalidad. [1]

### **3.2.1 Proceso de bombeado de un laser.**

El proceso de bombeado se da de la siguiente forma:

En primer lugar, los electrones producidos en la descarga eléctrica colisionan con los átomos de helio, cediendo parte de su energía para producir en el helio transiciones hacia niveles de energía meta estable. Para este caso, se presentan dos niveles disponibles y se da transferencia de energía por resonancia, pues los átomos de helio y neón pueden interactuar. Esto ocurre si la diferencia de energía  $\Delta E$  entre el estado excitado de He y el estado de energía que adquiere el neón es pequeño, ya que la probabilidad de que se produzca esta transferencia depende de la cantidad de  $\exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$ .

Si He es el átomo de helio que ha sido excitado por la descarga eléctrica y Ne es el átomo de neón sin excitar como se muestra en la ecuación 3.1, una vez se produce la colisión entre el helio y el neón, el helio pierde la energía absorbida a costa de la excitación del neón Ne.

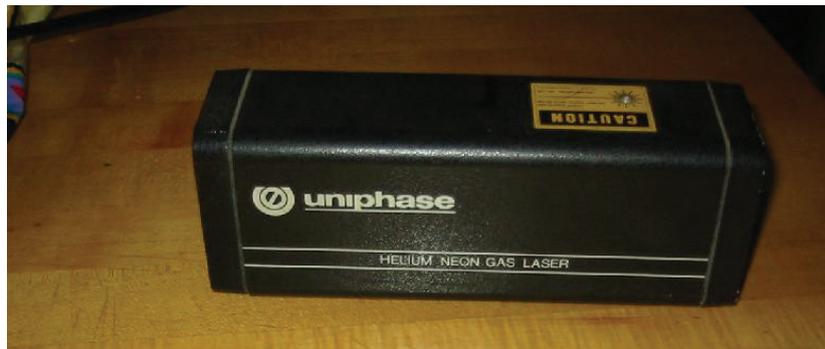


Las aplicaciones más sorprendentes hasta ahora han ocurrido en los instrumentos científicos, como son, fuentes de luz para interferómetros y fuentes de alta energía para la investigación de las interacciones entre los fotones y la materia.

En general la definición de laser es amplificación de luz por emisión estimulada de radiación, es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente de un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados.[2]

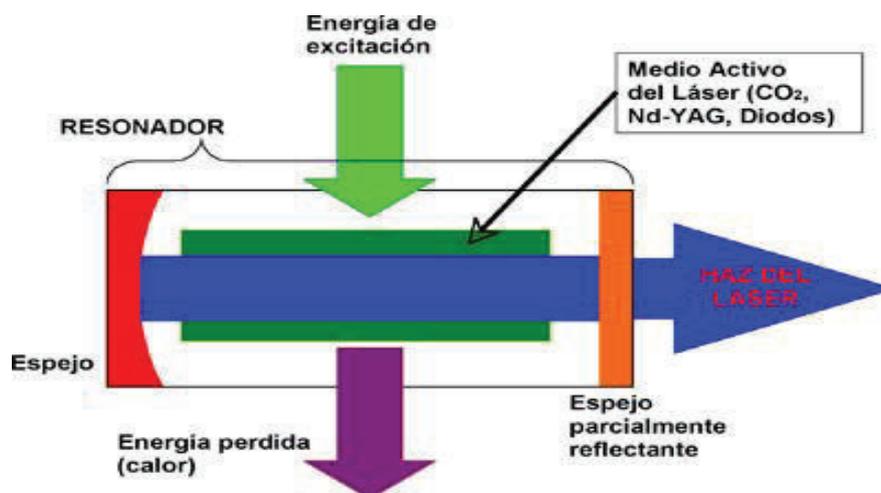
Los mínimos anchos de frecuencia que corresponden a láser de gas son mediciones de corta duración basadas en la operación con una sola frecuencia.

El laser de neón-gas que utilizamos maneja una longitud de onda de 633 nm y genera 1 mw tal como se muestra en la figura 3.3.



**Figura 3.3** Laser de neón gas de color rojo utilizado en la investigación.

En muchas aplicaciones, los beneficios de los láseres se deben a sus propiedades físicas, como la coherencia, la monocromaticidad y la capacidad de alcanzar potencias extremadamente altas. A modo de ejemplo, un haz muy coherente puede enfocarse por debajo de su límite de difracción que, a longitudes visibles, corresponde solo a unos pocos nanómetros tal como se muestra en la figura 3.4. Esta propiedad permite al laser grabar gigabytes de información en las microscópicas cavidades de un CD, DVD o Blu-ray. También permite a un laser de media onda o baja potencia alcanzar intensidades muy altas y usarlo para cortar, quemar o incluso sublimar materiales. [2]



**Figura 3.4** Componentes básicos de un laser.

Como se explicó anteriormente el laser helio-neón es un tipo de laser de gas que utiliza como medio activo una mezcla gaseosa de helio y neón.

Los láseres de helio-neón emiten una longitud de onda de 633 nm, y por lo tanto, en luz visible de color rojo. Un laser generalmente se utiliza en aplicaciones industriales y científicas y en laboratorios docentes. [2]

Los láseres de helio-neón emiten potencias ópticas entre 1 mw y 100 mw. La longitud de onda es aproximadamente de 632nm.

La imagen de la figura 3.5 muestra las longitudes de onda de los diferentes tipos de láseres, el laser de helio-neón se encuentra en la franja del rojo oscuro el cual tiene una longitud de onda de 633nm. [2]

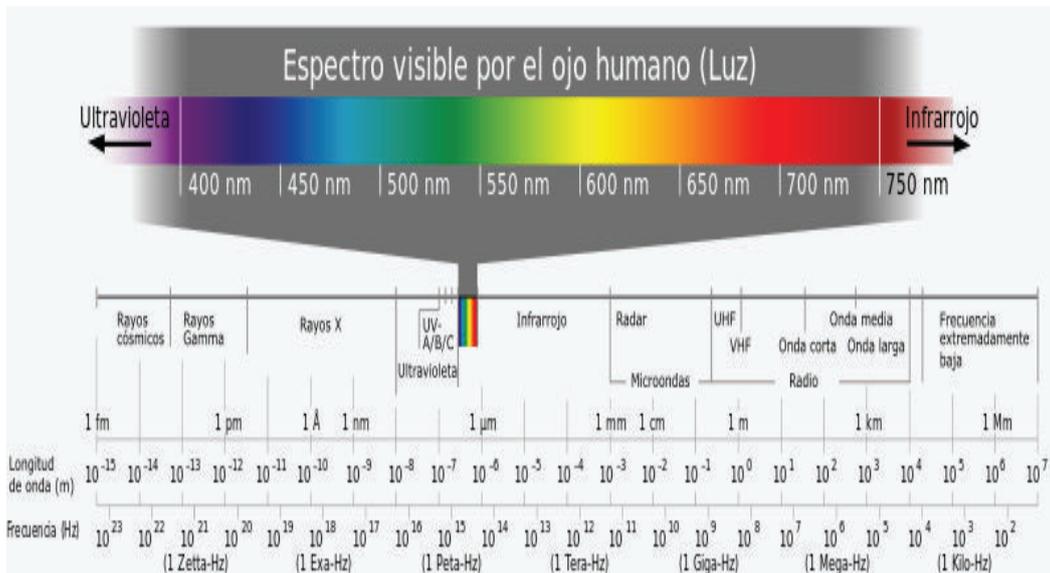


Figura 3.5 Imagen de las longitudes de onda del laser.

### 3.3 Fotodetectores.

El papel principal de un fotodetector, es la conversión de una señal óptica en una señal eléctrica. Los requerimientos que debe llenar un fotodetector son alta sensibilidad, respuesta rápida, bajo ruido, bajo costo y alta fiabilidad. Los fotodetectores normalmente empleados en esquemas de recepción son estructuras semiconductoras tipo *p-i-n* o fotodiodos de avalancha (APD). [2]

El mecanismo fundamental en el proceso de fotodetección es la absorción óptica. La absorción de fotones en un material semiconductor, da lugar a la generación de pares electrón hueco, lo que equivale a generar una corriente proporcional al número de fotones absorbidos. [2]

En el ámbito de los sistemas electrónicos, dicha magnitud medible consiste en una corriente o tensión. Dependiendo del mecanismo subyacente a su funcionamiento, los fotodetectores se clasifican en dos grupos:

Detectores térmicos: El material del que se hallan fabricados es calentado por la radiación absorbida, y este calentamiento provoca un cambio en el comportamiento del material, como, por ejemplo, modificar su conductividad. Los bolómetros pertenecen a este grupo de

detectores. A causa de su reducida velocidad de respuesta, las aplicaciones de los detectores térmicos en comunicaciones ópticas y otras áreas de la fotónica son muy limitadas.

Detectores fotoeléctricos: La absorción de fotones resulta en una transición de los electrones presentes en el material hacia niveles de energía superior, donde son susceptibles de ser transportados por un campo eléctrico, generando una corriente. Algunos detectores que basan su operación en ese fenómeno, conocido como foto efecto, son las células fotoeléctricas, los fotoconductores, los fotodiodos y los fototransistores. [3]

Las cualidades básicas que un fotodetector debe reunir con el fin de ser apto para su aplicación en los sistemas de comunicaciones ópticas son:

Elevada sensibilidad.

Capacidad de absorción de radiación a las longitudes de onda de interés (por ejemplo, en las ventanas de transmisión de las fibras.)

Alta velocidad de respuesta.

Comportamiento lineal.

Tensión de alimentación moderada y, a ser posible, compatible con los valores propios de los restantes circuitos de comunicaciones.

Tamaño reducido, adaptado al tamaño de las fibras y otros elementos del sistema.

Estabilidad frente a cambios en las condiciones ambientales y fiabilidad.

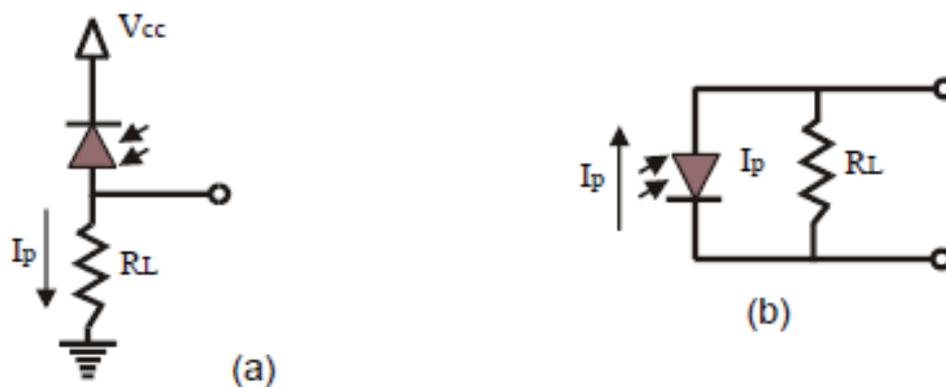
Los detectores de luz semiconductores se basan en la colección en un circuito eléctrico externo de los portadores de carga generados por los fotones absorbidos dentro del material. En semiconductores no dopados la anchura de la banda prohibida determina la máxima longitud de onda detectable. [3]

Los fotodetectores pueden ser clasificados en *foto conductivos* y *fotovoltáicos*.

Foto conductivo. Cuando la luz incide en el fotodetector, figura 3.6 a, una señal de corriente fluirá a través de la carga. La corriente generada viene de dos fuentes: la corriente

foto inducida y la corriente inversa de saturación, la cual será constante para un voltaje de polarización fijo y sin cambios en la temperatura  $L R$

Fotovoltaico. Otra forma de uso de un fotodetector es en modo fotovoltaico figura 3.6 b. En esta configuración no se utiliza voltaje de polarización, y la fotocorriente generada es similar a la de una foto celda cuando es iluminada. Los fotodetectores fotovoltaicos tienen su principal aplicación en sistemas de baja frecuencia y circuitos de bajo ruido. [3]



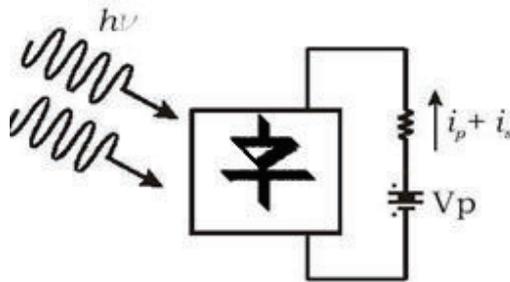
**Figura 3.6** Fotodetectores. Foto conductivo (a), Foto voltaico (b).

La importancia del uso de los fotodetectores en esta tesis es muy importante ya que gracias a ellos se recibe una señal óptica y la transforman en señal eléctrica. La definición básica de un foto detector radica en su funcionamiento como transductor (el cual es capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida.) de luz que proporciona una señal eléctrica como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la superficie sensora. [3]

Existen dos tipos fundamentales de detectores de luz, los térmicos y los fotónicos que operan con mecanismos de transducción diferentes.

Los detectores térmicos absorben (detectan) la energía de los fotones incidentes en forma de calor con lo que se produce un incremento en la temperatura del elemento sensor que implica también un cambio en sus propiedades eléctricas como por ejemplo la resistencia.

El cambio en esta propiedad eléctrica en función del flujo radiante recibido es lo que permite su medida a través de un circuito exterior.



**Figura 3.7** Esquema básico de un dispositivo fotodetector.

### 3.4 Modulador acusto óptico.

Un modulador acústico-óptico (MAO), es un dispositivo que puede utilizarse para controlar la dirección de alimentación, la frecuencia de un haz de láser con una señal de accionamiento eléctrico. Se basa en el efecto acústico-óptico, es decir, la modificación del índice de refracción por la presión oscilante mecánico de una onda sonora.

Los materiales más comunes para los moduladores acústico-ópticos son dispositivos como por ejemplo el telurio dióxido, cuarzo cristalino. Existen criterios múltiples para la elección del material, incluyendo los coeficientes elasto-óptica, la gama transparencia, el umbral de daño óptico, y el tamaño requerido. También se pueden usar diferentes tipos de ondas acústicas. Estos conducen a las eficiencias más altas de difracción, que sin embargo dependen de la polarización del haz óptico.

La polarización independiente de operación se obtiene cuando se utiliza ondas acústicas de corte (con el movimiento acústico en la dirección del haz de láser), que sin embargo hacen que la difracción sea menos eficiente. [4]

Hay también dispositivos ópticos integrados que contienen uno o más acústico-ópticos moduladores en un chip. Esto es posible, por ejemplo, con la óptica integrada en niobato de litio ( $\text{LiNbO}_3$ ), ya que este material es piezoeléctrico, de modo que una onda acústica de superficie puede ser generada por medio de electrodos metálicos sobre la superficie del

chip. Tales dispositivos se pueden utilizar de muchas maneras, por ejemplo, como filtros ópticos o conmutadores ópticos.

Un modulador acusto-óptico tiene muchas aplicaciones tales como:

Un modulador acusto-óptico se puede utilizar como un selector de pulso para reducir la tasa de repetición de impulsos de un tren de impulsos, por ejemplo, con el fin de permitir la amplificación posterior de impulsos a altas energías de impulsos .

En las impresoras láser y otros dispositivos, un modulador acusto-óptico puede ser utilizado para la modulación de energía de un rayo láser. La modulación puede ser continua o digital (on / off).

Un modulador acusto-óptico puede cambiar la frecuencia de un rayo láser, por ejemplo, en varios esquemas de medición, o en los láseres que son en modo bloqueado a través de frecuencia desplazada de realimentación óptica. [4]

Varios aspectos pueden ser esenciales para la selección de un modulador acusto-óptico tales como son:

La *potencia* requerida de RF (Radio Frecuencia) influye tanto en la demanda de energía eléctrica y los problemas de enfriamiento.

El tiempo de conmutación es crítico para algunas aplicaciones.

Para desplazadores de frecuencia, el dispositivo a menudo tiene que ser utilizado en una amplia gama de frecuencias de RF.

### 3.5 Modulación externa de luz.

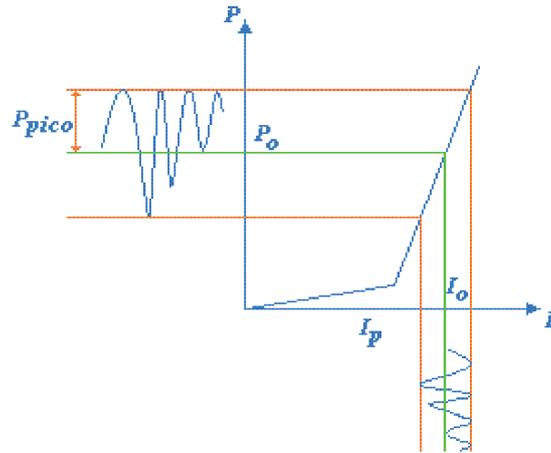
El objetivo de la modulación acusto-óptica, es su aplicación a la realización de un modulador óptico.

La modulación de la radiación electromagnética, la podemos realizar variando la potencia de la onda acústica aplicada al material. Si realizamos una modulación de la potencia acústica, esta se traducirá en una modulación del valor del coeficiente de transmisión, y por tanto en una modulación de la intensidad de la radiación electromagnética. [4]

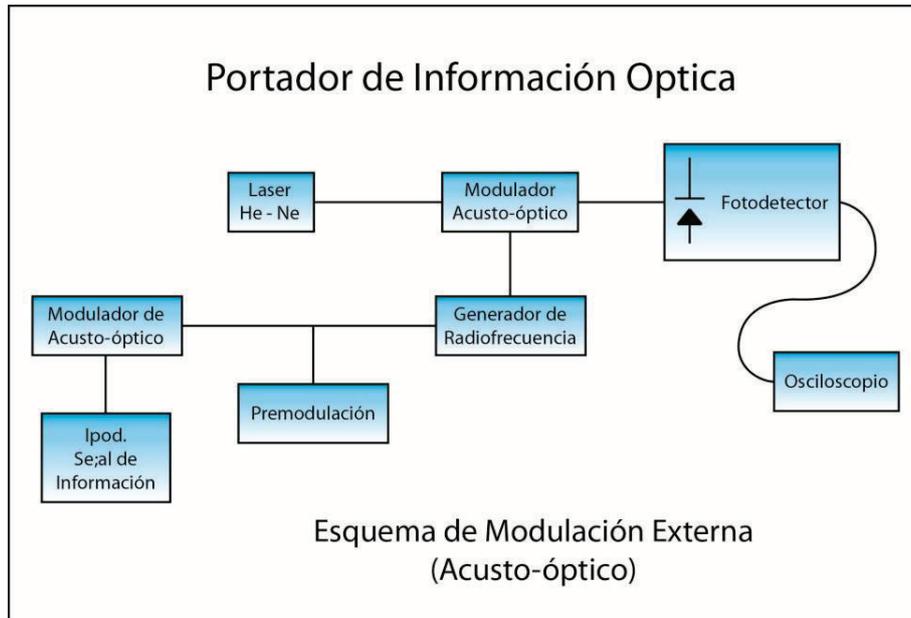
Esta modulación se basa en que el índice de refracción de ciertos materiales varía con las tensiones mecánicas a que están sometidos, lo que se conoce como efecto foto-elástico o acusto-óptico. Si a estos materiales se les aplica una onda elástica (acústica), se produce un cambio de índice de refracción que depende de la potencia de la onda acústica, y de los parámetros característicos del medio (coeficientes elástico-óptico). No obstante, el efecto foto-elástico es bastante pequeño ya que da lugar a variaciones de índice de refracción de tan solo  $\Delta n \approx 10^{-4}$  en materiales como el  $\text{LiNbO}_3$  que tiene un coeficiente elasto-optico elevado. Las variaciones locales de índice provocadas por las ondas elásticas en su propagación en el medio son no obstante suficientes para dar lugar a la formación de redes de difracción transitorias o permanentes que pueden alcanzar eficiencias muy elevadas.

La modulación se hace acoplando el material foto-elástico con un transductor piezoeléctrico que produce las ondas acústicas. Se genera por tanto una modulación periódica del índice de refracción del medio, es decir zonas de índice de refracción mayor alternadas con zonas de índice menor, correspondiendo estas últimas aproximadamente al índice de refracción del material sin excitar. [4]

En la siguiente figura 3.8 se muestra una modulación que se emplea en sistemas analógicos el cual consiste en amplificar el laser con pequeñas variaciones de corriente alrededor de un valor de polarización de forma que se produzca la emisión de una potencia óptica que varía de la misma forma que la corriente aplicada. En la imagen 3.9 se puede observar el esquema de modulación externa planteado así como los respectivos nombres de los dispositivos utilizados posteriormente.



**Figura 3.8** Modulación de pequeña señal de un laser.



**Figura 3.9** Esquema de modulación externa.

## **Referencias.**

[1] Mike Hickey, Rob Marsland. "Generating Microwaves with Diode Lasers". 1994.

[2] "Laser fabrication and machining of materials". Narendra Sandip P. University of California. 1995.

[3] "Fundamentals of Photonics" Editores Arthur Guenther Leno S. Pedrotti William T. University of Central Florida Orlando, Florida.

[4] Laser: Technology and Applications. Samuel L. Marshall. Editorial McGraw-Hill Book Company, New York. 1972.

# Capítulo 4

## Rejillas de difracción.

### 4.1 Introducción.

En este capítulo se estudiarán las rejillas de difracción así como se mencionará el papel que juega dentro de la óptica, también se muestra una imagen correspondiente de una rejilla de difracción, posteriormente se analizará el fenómeno de difracción, su definición y sus características, en el último sub capítulo se mostrará el patrón de difracción de tres rejillas con diferentes frecuencias, las cuales son iluminadas con las longitudes de onda de 633 nm, 532 y 457 nm así como se analizará la separación de los órdenes difractados.

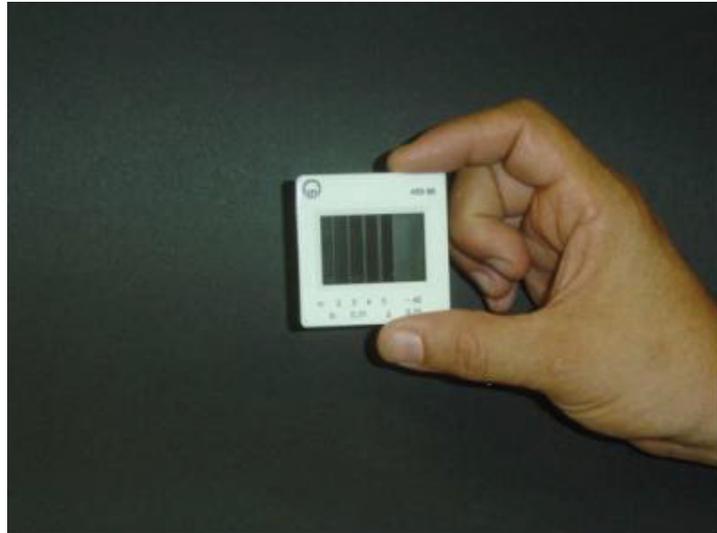
### 4.2 Definición de rejillas de difracción.

La rejilla de difracción, es un elemento difractivo útil para analizar fuentes luminosas, y está compuesto de un gran número de rendijas paralelas igualmente espaciadas. Una rejilla de difracción es solamente una pantalla que difracta la luz por medio de una gran cantidad de rendijas paralelas equidistantes. Podemos estudiar las rejillas de difracción aplicando la integral de Kirchhoff directamente y obtener todas sus propiedades. Sin embargo se puede obtener más visión física del problema si comenzamos desde los principios elementales.

Las primeras rejillas de difracción se fabricaban con hebras de alambre. Sus efectos parecían a lo que se puede apreciar cuando se ve una tela a través de una pluma cercana al ojo. Las mejores rejillas tienen una gran cantidad de líneas o ranuras finas, sobre superficies de vidrio o metal. [1]

En la óptica, la rejilla de difracción es un componente óptico con un patrón regular, que divide la luz en varias partes que viajan en diversas direcciones para posteriormente interferir en un punto. Con un patrón fino de líneas negras se forma una rejilla simple de baja frecuencia.

Los principios de las rejillas de difracción fueron descubiertos por James Gregory. La primera rejilla de difracción artificial fue hecha alrededor de 1785 por el inventor David Rittenhouse. [1]

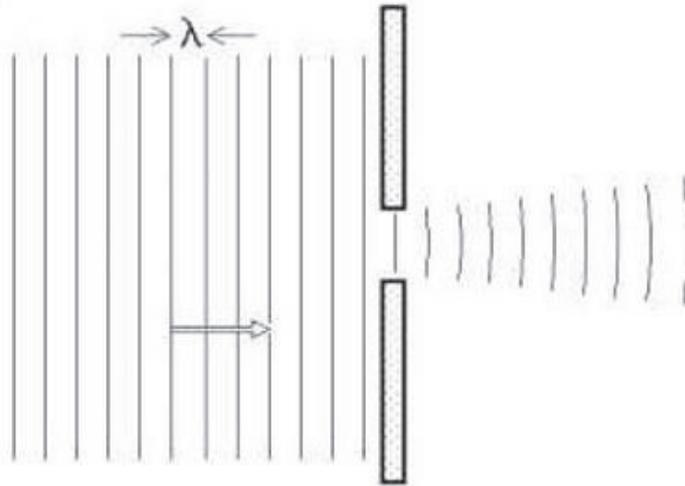


**Figura 4.1** Imagen de una rejilla de difracción.

#### **4.2.1 Difracción.**

La difracción es un fenómeno que se produce cuando un frente de onda queda cortado por un obstáculo o una abertura que se interpone en su camino. La difracción también consiste en que una onda puede rodear un obstáculo o propagarse a través de una pequeña abertura. Aunque este fenómeno es general, su magnitud depende de la relación que existe entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo o abertura como puede observarse en la figura 4.2.

Es por ello un fenómeno observable en el mundo de las ondas mecánicas y electromagnéticas. Además también surge cuando en un frente de onda, que se propaga sin perturbación, se produce en alguna región una variación en amplitud o en la fase respecto al resto de la onda, por otra parte, si en lugar de utilizar luz monocromática se emplea luz blanca, se produce dispersión cromática y las franjas aparecen coloreadas. [1]

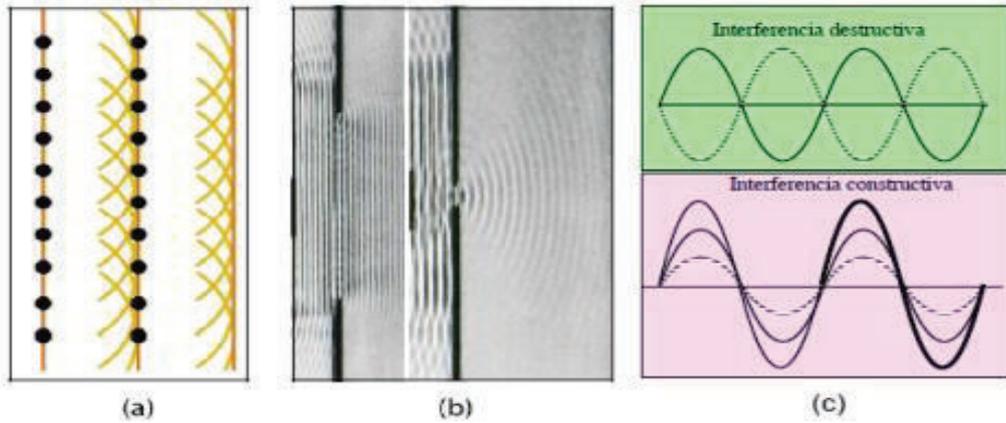


**Figura 4.2** Imagen de difracción a través de una abertura pequeña.

Así pues, podemos concluir inicialmente manifestando que los fenómenos de difracción son consecuencia natural del carácter ondulatorio de la luz.

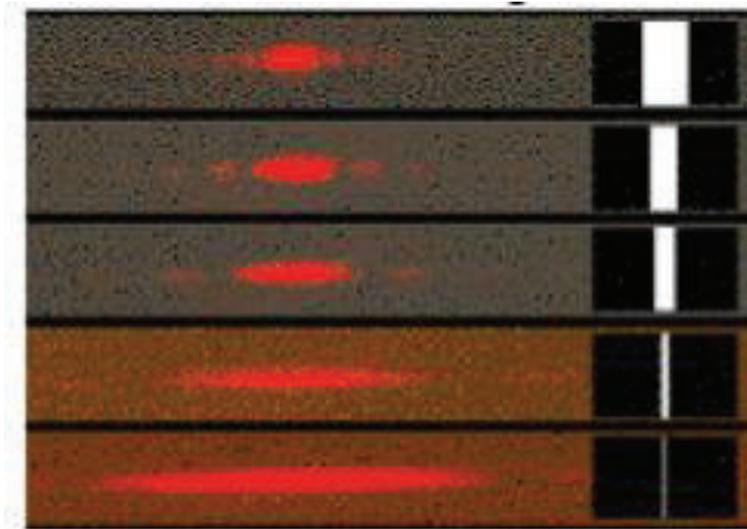
La difracción también se puede considerar como un fenómeno característico de las ondas (y de las partículas cuando manifiestan su carácter ondulatorio) que se da siempre que el frente de onda se encuentra un obstáculo en sus propagación. Este fenómeno se manifiesta claramente cuando las dimensiones del obstáculo se acercan a las de la longitud de onda de la perturbación como se muestra en la figura 4.3 (a, b). La difracción se puede entender fácilmente a partir del principio de Huygens, en el que se considera que cada punto del frente de ondas se puede tratar como un emisor puntual. La modificación del frente de ondas dependerá de los puntos del espacio donde la interferencia de las distintas ondas (todas de la misma frecuencia) sea constructiva o destructiva como se puede mostrar en la figura 4.3 (c).

De esta forma, en ausencia de obstáculos las interferencias de las distintas ondas emitidas reconstruyen el frente con la misma geometría.



**Fig. 4.3** Figura de un obstáculo en difracción, la geometría del frente resultante se modifica, fig. 1 (A, B), Interferencia destructiva y constructiva (C).

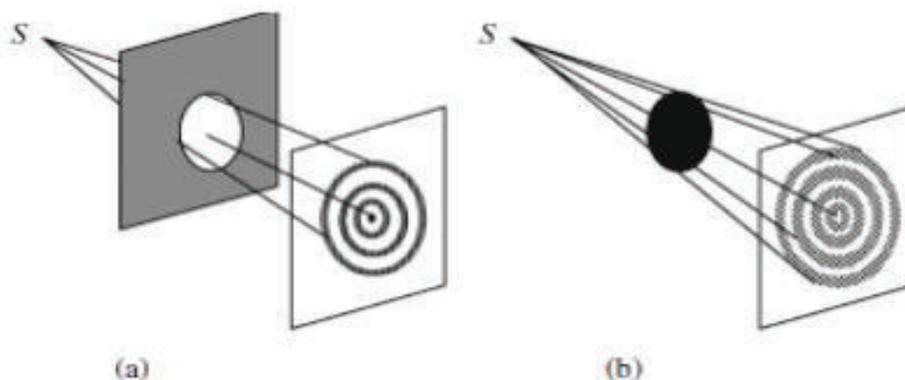
Si se considera una onda luminosa plana y se coloca en su camino una rendija, se observa que al colocar una pantalla al otro lado de la rendija pero cerca de ella, tenemos una imagen reconocible de la rendija. [2] Conforme se aleja la pantalla la imagen va deformándose hasta que para grandes distancias ya no se parece en nada a la rendija inicial, observándose en su lugar una serie de manchas como las representadas en la figura (4.4).



**Figura 4.4** Patrones de difracción para diferentes tamaños de aberturas.

Cuando las ondas emitidas respectivamente en el borde y en el centro de la rendija llegan al punto de la pantalla tal que la diferencia de camino óptico a los dos puntos es  $\lambda/2$  interferirán destructivamente, es decir: cuando  $\lambda/2 = a/2 \sin \theta$ .

De esta forma, todas las interferencias son destructivas en el mismo punto y se producirá el primer mínimo de intensidad con la condición:  $a \sin \theta = \lambda$ . Según la geometría de los obstáculos o la distancia hasta la pantalla de observación, el fenómeno de la difracción se manifiesta de formas distintas, aunque siempre se observan (para el caso de la luz) estructuras de regiones luminosas y oscuras. La geometría y tamaño de las figuras de difracción siempre vienen determinados por las dimensiones típicas de la onda (longitud de onda  $\lambda$ ) y por las dimensiones típicas del obstáculo. Así este fenómeno se utiliza habitualmente tanto para analizar las características de una onda (cuando no se conocen), como para la determinación de distancias (pequeñas), como podría ser en nuestro caso las dimensiones de las rendijas, o en el caso de la difracción con rayos X (o partículas como electrones y neutrones) las dimensiones típicas de la estructura de la materia (distancias interatómicas). [2] En la figura 4.5 se puede observar que es lo que pasa cuando a una objeto cuadrado se le pone un disco circular blanco y un disco circular oscuro al momento que se le inyecta una onda de luz.

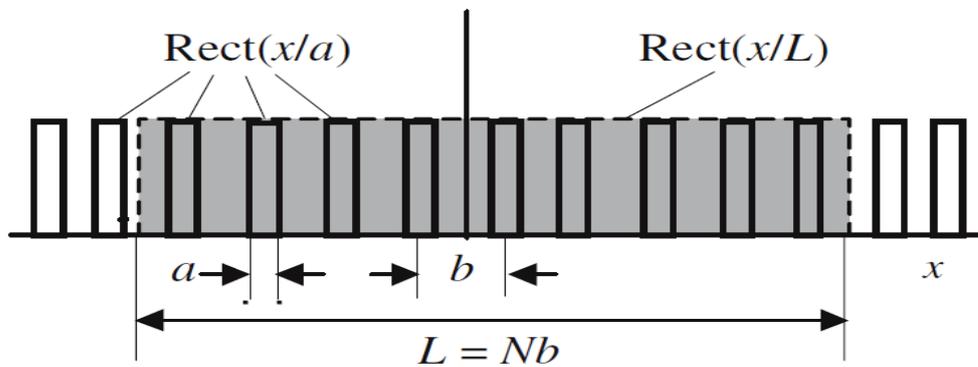


**Figura 4.5** (a) Apertura circular. (b) Disco opaco.

### 4.3 Patrones de difracción.

La difracción ocurre cuando las ondas pasan por pequeñas aberturas, alrededor de obstáculos o por bordes afilados. Cuando se coloca un objeto opaco entre una fuente puntual y una pantalla, no existen fronteras definidas en la pantalla entre una región sombreada y una región iluminada. La región iluminada arriba de la sombra del objeto contiene franjas de luces brillantes y oscuras alternándose. [4]

En esta sección presentamos resultados experimentales del patrón de difracción de tres diferentes rejillas (100, 300 y 600 líneas por mm). Las rejillas utilizadas en el experimento son como la ilustrada en la figura 4.6.

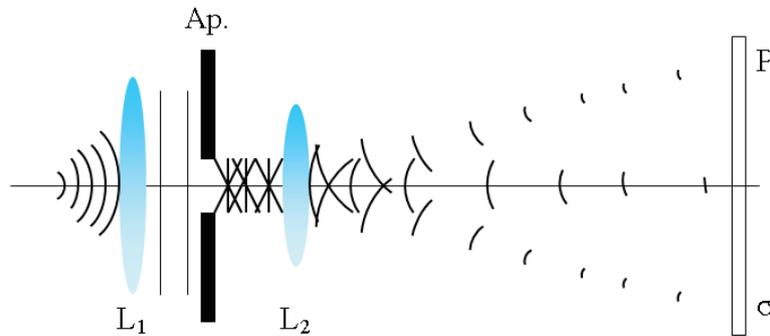


**Figura 4.6** Rejilla de difracción.

Cuando la rejilla es iluminada por una onda plana monocromática, se obtiene que el patrón de difracción corresponde a la transformada de Fourier de la rejilla y está dada por la ecuación 4.1.

$$FT \left[ \left( \text{Comb} \frac{x}{b} \text{Rect} \frac{x}{a} \right) \text{Rect} \frac{x}{Nb} \right] = \left[ \left( \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_n(kbu) \right) \text{sinc} \frac{kau}{2} \right] \text{sinc} \frac{kNbu}{2} \quad 4.1$$

Los elementos que debemos de tener en cuenta para un patrón de difracción que se obtiene al iluminar una rendija con luz, consiste en una serie de máximos y mínimos de intensidad de luz que podemos representar en un diagrama de difracción como podremos observar en la figura 4.7. [4]



**Figura 4.7** Diagrama de difracción.

#### **4.3.1 Características de los patrones de difracción.**

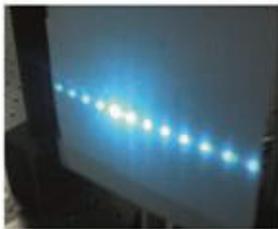
Varias observaciones cualitativas se pueden hacer de la difracción en general: El espaciamiento angular de las características en el patrón de difracción es inversamente proporcional a las dimensiones del objeto que causa la difracción.

Los ángulos de la difracción son invariantes bajo escalamiento; es decir, dependen solamente del cociente de la longitud de onda al tamaño del objeto de difracción. [5]

En las siguientes tres figuras se analizarán tres diferentes longitudes de onda usadas para iluminar tres rejillas con diferentes frecuencias, en la parte inferior de cada imagen se especifica la longitud de onda de cada imagen y se puede observar que utilizando una rejilla de difracción de 100 líneas/mm los ordenes se notan muy juntos y cuando utilizamos una rejilla de difracción de 300 líneas /mm se nota un poco mas separados los puntos y cuando utilizamos una rejilla de difracción de 600 líneas/mm se nota demasiada la separación de los ordenes difractados.

En las siguientes 3 imágenes (figura 4.8) se observan el patrón de difracción producido al iluminar las rejillas de 100,300 y 600 líneas/mm respectivamente con un laser de 457 nm y vemos como se separan los ordenes difractados dependiendo del número de rendijas que tengamos en cada una de las rejillas de difracción, como lo podemos observar en la figura del inciso (a) al momento de que se ilumina la rejilla de difracción de 100 líneas los ordenes están más juntos, utiliza la rejilla de difracción de 100 líneas están más juntos los puntos, y al momento de usar la rejilla de 300 líneas vemos como se separan mas los órdenes y al momento de utilizar la rejilla de difracción de 600 líneas vemos como casi se salen de la hoja de papel que eso nos indica que la separación de los ordenes depende de la frecuencia de la rejilla es decir al incrementar el número de líneas por milímetro se incrementa la separación de los órdenes.

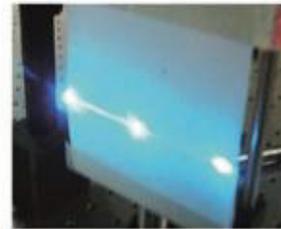
Utilizando otra longitud de onda (532nm) e iluminando cada una de las rejillas mencionadas anteriormente podemos observar en la figura 4.8 como la separación de los órdenes es mayor que cuando iluminamos con el láser azul (457nm), pero si utilizamos una longitud de onda de 633nm la separación de los ordenes se incrementa considerablemente de esto podemos concluir que la separación de los ordenes se incrementa al incrementar la frecuencia de la rejilla o al incrementar la longitud de onda con que se ilumina la rejilla.



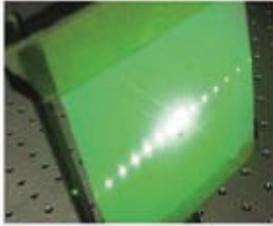
a. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 100 líneas/mm,  $\lambda=457\text{nm}$



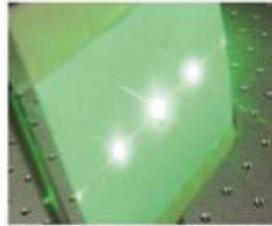
b. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 300 líneas/mm,  $\lambda=457\text{nm}$



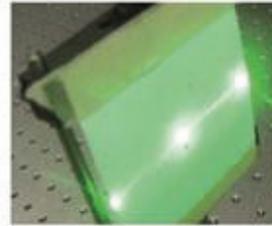
c. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 600 líneas/mm,  $\lambda=457\text{nm}$



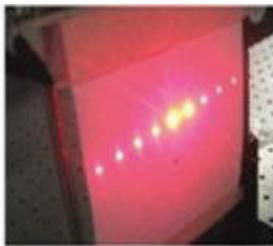
a. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 100 líneas/mm,  $\lambda=532\text{nm}$



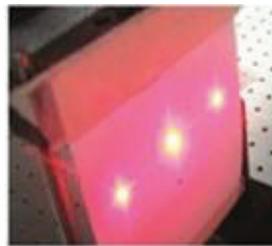
b. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 300 líneas/mm,  $\lambda=532\text{nm}$



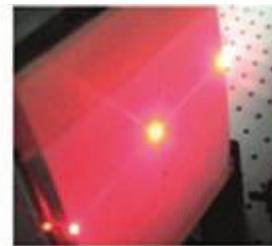
c. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 600 líneas/mm,  $\lambda=532\text{nm}$



a. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 100 líneas/mm,  $\lambda=633\text{nm}$



b. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 300 líneas/mm,  $\lambda=633\text{nm}$



c. Patrón de difracción para una rejilla de difracción 600 líneas/mm,  $\lambda=633\text{nm}$

**Figura 4.8** Patrón de difracción producido por tres rejillas al ser iluminada con tres longitudes diferentes.

## Referencias.

- [1] <http://fisica.usach.cl/~iolivare/difraccion.pdf>
- [2] J. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", (McGraw-Hill, San Francisco, 1968).
- [3] J.D Gaskill "Linear systems, Fourier transforms and optics", (Wiley, EUA, 1978).
- [4] Física quinta edición. Wilson Buffa. Pearson Educación, México, 2003.
- [5] Fundamentos de óptica ondulatoria. José Rodríguez García. José M. Virgos Rovira. Universidad de Oviedo, 1995.

## Capítulo 5

# Arreglo experimental para la transmisión de datos utilizando rejillas de difracción y modulación acusto óptica.

### 5.1 Introducción.

En este capítulo se describen los resultados experimentales relacionados con los aspectos de pre modulación amplitud modulada (AM), y la interacción de esta pre modulación con el controlador del modulador acusto óptico, se describen también los espectros de frecuencia obtenidos en el proceso de pre modulación y modulación acusto-óptica, se mostrarán resultados experimentales de los espectros de difracción a la salida del modulador acusto-óptico en combinación con las rejillas de difracción.

También se presentarán las imágenes de los patrones de difracción obtenidas utilizando las rejillas de difracción propuestas en este trabajo de tesis.

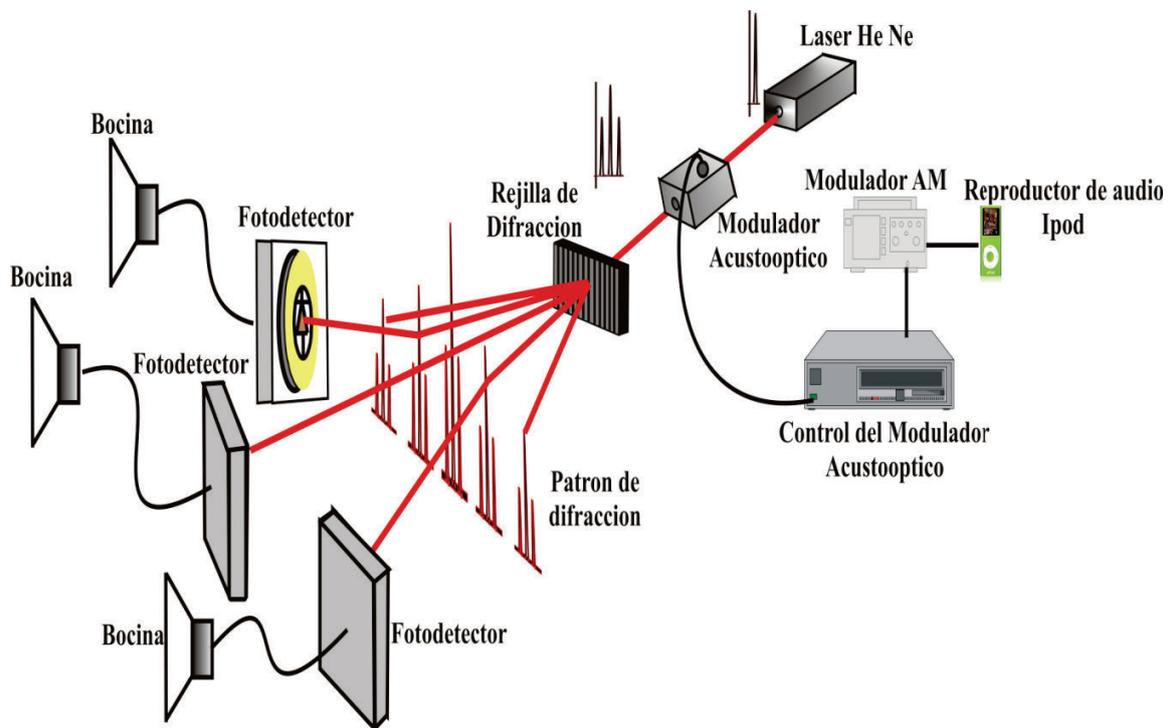
### 5.2 Esquema experimental de la transmisión de datos.

El sistema experimental como se ilustra en la figura 5.1 permite la transmisión multicanalizada de información (audio). Aquí utilizamos un laser He-Ne como portadora óptica, esta señal se aplica a un modulador acustóptico. En este dispositivo se realiza la mezcla de la señal de audio con la señal óptica. La señal de audio previamente pre modulada en AM se mezcla con el controlador del modulador acustoóptico permitiendo modular una señal de radiofrecuencia de 70MHz. La señal resultante de este controlador se aplica al modulador acustoóptico logrando que a la salida de este dispositivo se desvíe la longitud de onda del laser helio neón correspondientemente con la señal de radio frecuencia.

El espectro que se genera es similar al de una señal modulada en amplitud. Posteriormente la señal de modulación óptica incide en una rejilla de difracción de 600 líneas/mm, se

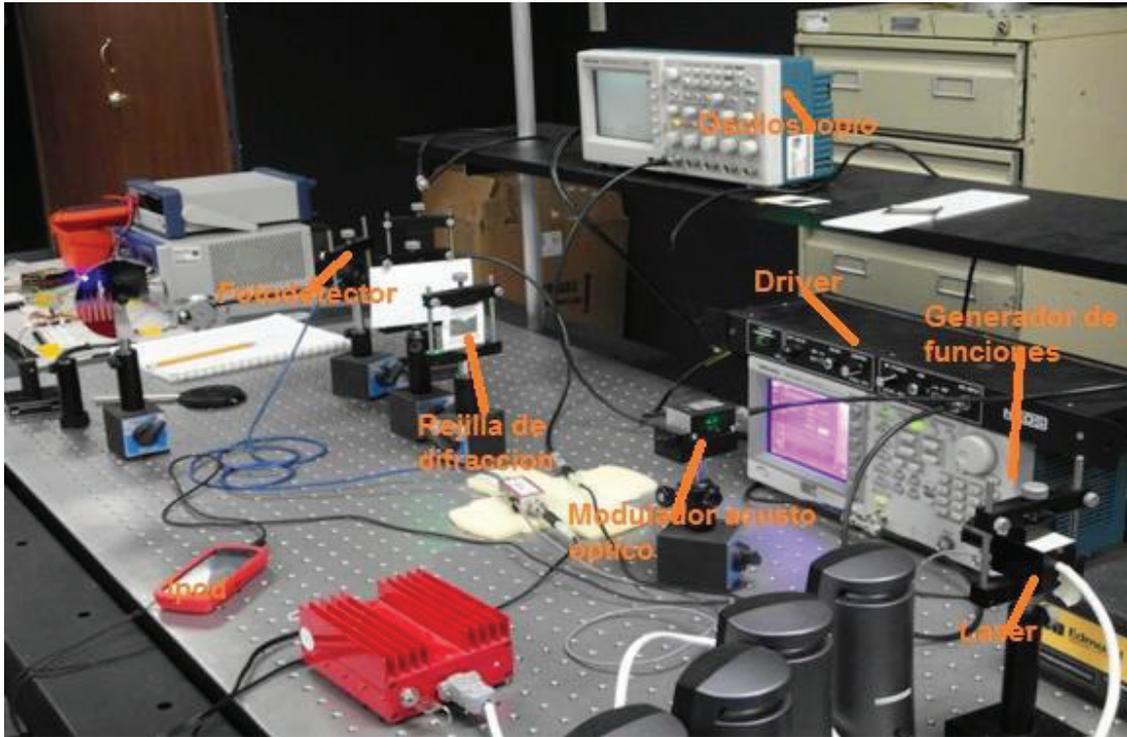
puede observar que el patrón de difracción resultante presenta réplicas del espectro del modulador acustoóptico. Aprovechamos esta característica para transmitir señales de información multicanalizadas. La recuperación de las señales se realiza a través de un proceso de fotodetección directa.

En la figura 5.1 se observa el esquema experimental utilizado en este trabajo de tesis así como los nombres de los dispositivos utilizados.



**Figura 5.1** Arreglo experimental para la transmisión multicanalizada de información.

En la figura 5.2, se muestra una fotografía del sistema experimental propuesto. En este caso se realizaron pruebas con las rejillas de difracción de 100, 300,600 líneas/mm. Además se utilizó un laser de color verde (532 nm) en el proceso de modulación acusto óptica.

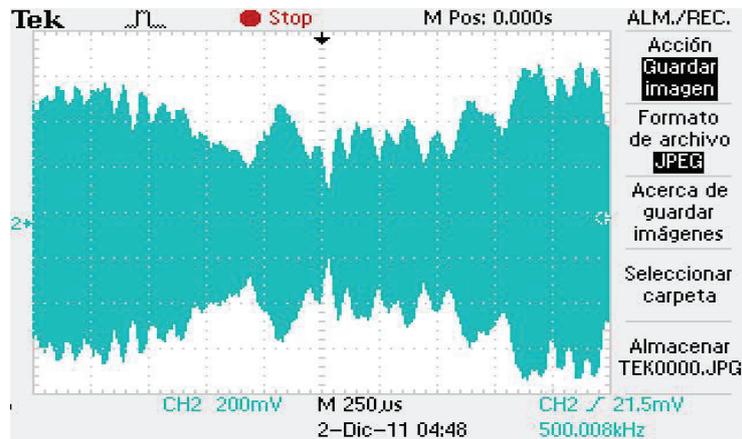


**Figura 5.2** Imagen del arreglo experimental construido en el laboratorio.

### **5.3 Resultados experimentales de la transmisión de audio.**

En la figura 5.3, se muestra el resultado de la modulación que genera el controlador del modulador acústico-óptico cuando es excitado por una señal que es pre modulada en amplitud y el cual contiene información de audio.

Esta señal pre modulada es ubicada a una frecuencia central de 500 KHz, su espectro de potencia se ilustra en la figura 5.4.



**Figura 5.3** Imagen obtenida del osciloscopio la cual esta modulada por el generador de funciones.

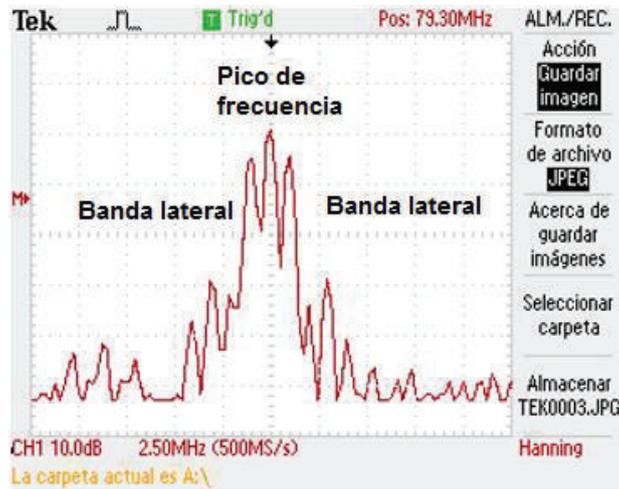
De la figura 5.4 se observa claramente que la portadora de información se ubica en 500 KHz y los picos adyacentes a esta señal representan la señal de información de audio que en este caso son las bandas laterales.



**Figura 5.4** Es el espectro de frecuencia AM.

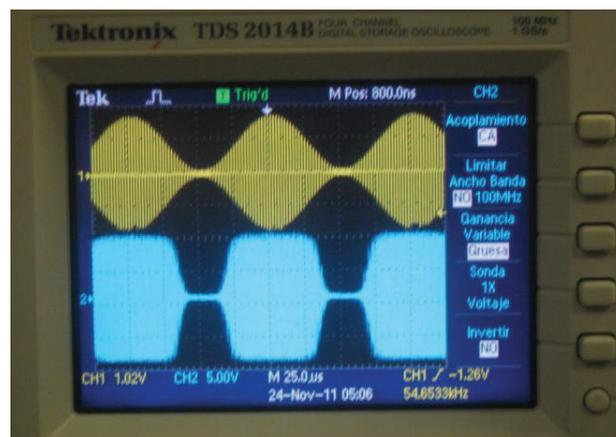
En la siguiente figura 5.5 de pre modulación AM se aplica al driver del modulador acusto-óptico se obtiene una señal resultante dinámica en la banda de 70 MHz, el cual es inyectado al modulador acusto-óptico con el objetivo de modular la intensidad del laser helio neón. El espectro de esta señal figura 5.5, se puede observar claramente que la información y la

señal pre modulada fueron incorporadas correctamente a la frecuencia de 79.30 MHz correspondiente a la frecuencia de operación del controlador del modulador acusto-óptico.



**Figura 5.5** Espectro de potencia del driver del modulador acusto-óptico.

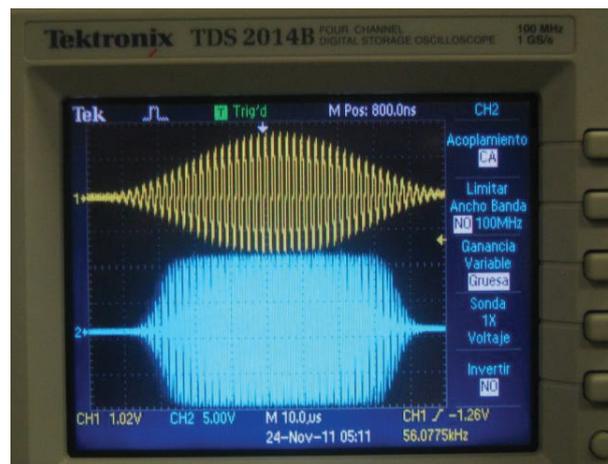
En la figura 5.6 se observan las señales temporales correspondientes a la pre modulación AM señal superior y la señal temporal del modulador acusto-óptico cuando fue excitado con un tono de baja frecuencia en la sección de pre modulación señal (inferior y superior) de la figura 5.6.



**Figura 5.6** Señal pre modulada AM, señal de modulación del driver acusto-óptico.

En la figura 5.7 se observan las mismas señales de la imagen anterior solo que en este caso hemos variado la escala del tiempo del osciloscopio con el objetivo de ilustrar que el paquete pre modulado está impreso varias veces en la señal de salida del controlador.

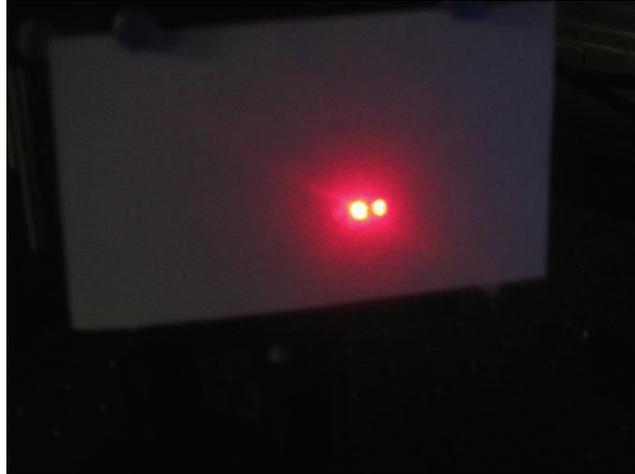
Esta señal modulará la intensidad del laser Helio-neón garantizando que la información de audio se propague a través del pulso luminoso.



**Figura 5.7** Señales temporales extendidas en el tiempo pre modulación am (señal superior), modulación del driver acusto-óptico (señal inferior).

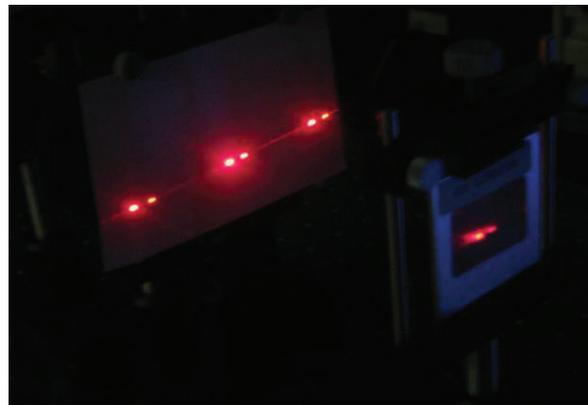
En la figura 5.8 se ilustra el espectro de difracción del haz de luz que sale del modulador acusto-óptico, cuando este es excitado por la señal proveniente del driver.

De esta figura se observa claramente que el espectro está compuesto por dos puntos brillantes que corresponden a un proceso de modulación de amplitud de banda lateral única esto se logró , debido a que el modulador acusto-óptico tiene un mecanismo que permite seleccionar las bandas laterales .



**Figura 5.8** Patrón de difracción a la salida del modulador.

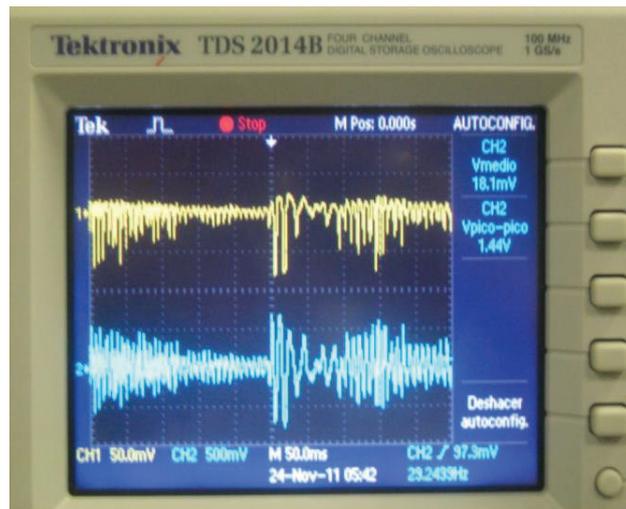
En la figura 5.9 se ilustra el patrón de difracción a la salida de la rejilla de difracción de 600 líneas/mm, de esta figura es posible observar que el patrón de difracción contiene replicas del patrón de difracción del modulador acusto óptico, esta característica permite incrementar la capacidad de información del sistema experimental propuesto, se aprovecha esta característica para transmitir audio en formato multicanalizado.



**Figura 5.9** Patrón de difracción a la salida de la rejilla de Bragg de 600 líneas/ mm.

En la figura 5.10 se observan las señales de información enviada (superior) y recibida (inferior).

Cuando se realiza un análisis cualitativo del proceso de transmisión y recepción, se garantiza que nuestro sistema experimental propuesto permite transmitir y recuperar las señales de audio con buena calidad.



**Figura 5.10** Señal de audio recibida (superior) y transmitida (inferior).

#### **5.4 Conclusiones.**

Se logró transmitir y recibir satisfactoriamente una señal de audio de forma multicanalizada mediante un sistema optoelectrónico que utiliza modulación acustoóptica y rejillas de difracción. Logramos concluir que para tener una eficiente recuperación de la señal de audio, la posición de los fotodetectores debe estar relacionada con el ángulo de los órdenes de difracción de la rejilla.

Observamos la rejilla de difracción que se utiliza para obtener puntos menos o más separado. Y esto se debe al periodo de la rejilla, es decir mientras más líneas por milímetros (mm) tenga una rejilla de difracción mas será la separación de los puntos de difracción.

# Capítulo 6

## Conclusiones generales.

### 6.1 Conclusiones generales y posibles aplicaciones en un futuro.

Este trabajo de tesis que consistió en un sistema de comunicaciones ópticas, permitió multicanalizar señales, en el cual se utilizaron componentes optoelectronicos (rejillas de difracción, modulador acusto óptico, foto detectores). La optoelectrónica como fue aplicada en este trabajo de tesis utilizando fotodetectores también es aplicada en la medicina, entre muchas otras aplicaciones. Cabe destacar que este trabajo de tesis fue muy interesante por la interacción con los sistemas optoelectronicos ya que no solamente se puede transmitir audio si no también video y datos.

La optoelectrónica es una rama de la física y está estrechamente relacionada con otras áreas de investigación de la propia física. Sus avances y contribuciones ya son imprescindibles para nuestra vida cotidiana por ejemplo actualmente, existe una enorme necesidad de una tecnología de acceso de banda ancha inalámbrica que pueda soportar los requisitos de ancho de banda de una red inalámbrica. En las áreas sin cables físicos o redes telefónicas pre existentes, el sistema de comunicación óptica en el espacio libre es una alternativa para el acceso de banda ancha. Por otro lado los ruteadores de los multiplexores y de demultiplexores son componentes clave en los sistemas de multicanalización por división de longitud de onda. Entre las diferentes tecnologías para implementar la funcionalidad de la multicanalización/demulticanalización, las redes de difracción han mostrado un gran potencial debido a su tamaño compacto, su alto rendimiento (eficiencia de difracción) y su bajo costo.

En este contexto existen técnicas de procesamiento paralelo que también está siendo utilizadas en los sistemas de multicanalización/demulticanalización pero en este caso utilizando moduladores acusto ópticos.

De esta manera nosotros propusimos una arquitectura fotónica novedosa como una técnica alternativa para multicanalizar señales de audio. El sistema experimental utilizado en este trabajo se configuro con un laser de helio-neón, un modulador acusto-óptico, una rejilla de difracción y un arreglo de fotodetectores. Se aprovecharon las características técnicas de nuestro modulador acusto-óptico y una rejilla de difracción de 600 líneas/mm con el fin de enviar y recuperar varias señales de audio.

Las comunicaciones ópticas es el área que más está evolucionando en los últimos tiempos y esto a pesar de que aún no existen los componentes ópticos que nos permitan explotar al máximo todas las posibilidades que nos ofrecen estas comunicaciones.

Finalmente este trabajo de investigación tiene como perspectiva a futuro distribuir señales de punto a punto utilizando esquemas híbridos de radio frecuencia y fibra óptica para aplicaciones donde el acceso de información está restringido.