

# Capítulo 3

## Dispositivos optoelectrónicos.

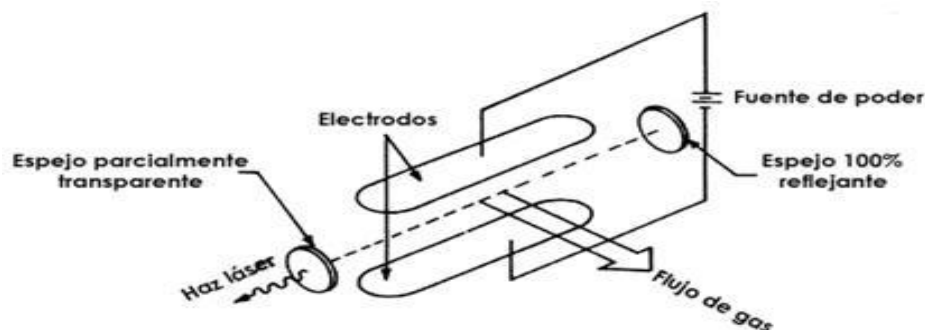
### 3.1 Introducción.

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 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]

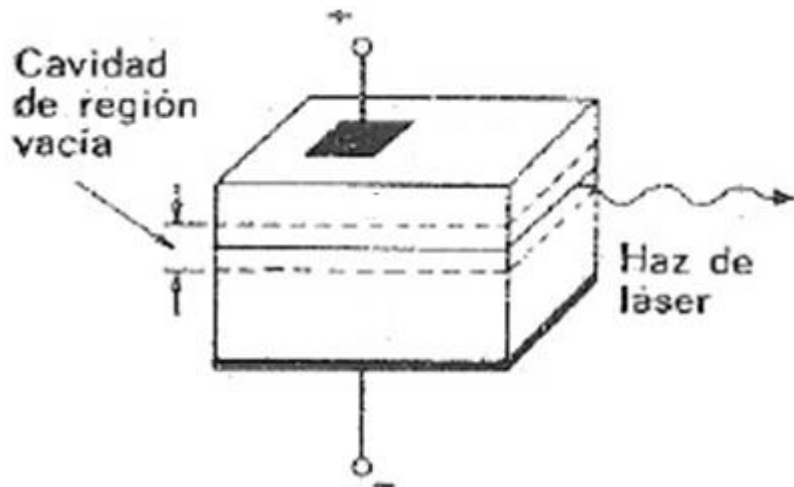
La fuente de energía o la bomba del laser es proporcionada por una descarga de alta tensión que pasa a través del gas entre los electrodos (ánodo y cátodo) dentro del tubo como a continuación se muestra en la figura 3.1:



**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 pn.



**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]

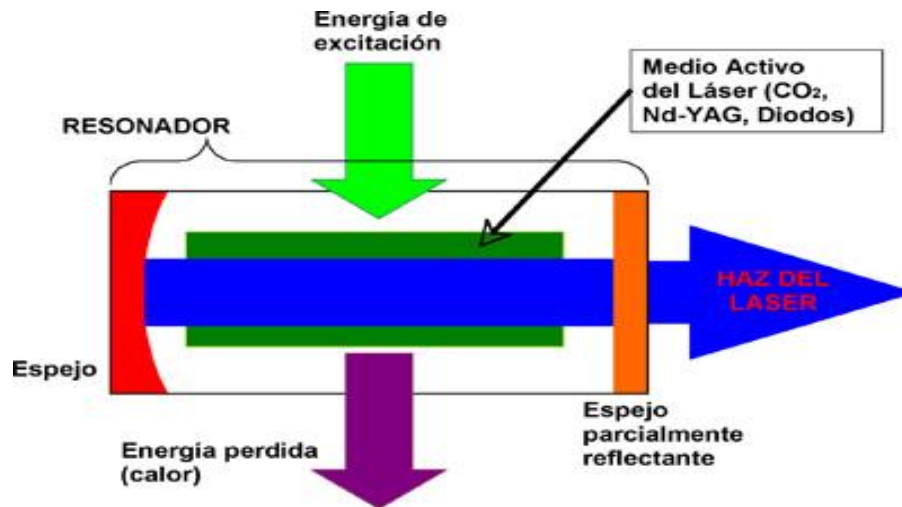
Los mínimos anchos de frecuencia que corresponden a láser de gas son mediciones de corta duración basadas en la operación con una sola frecuencia.

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]



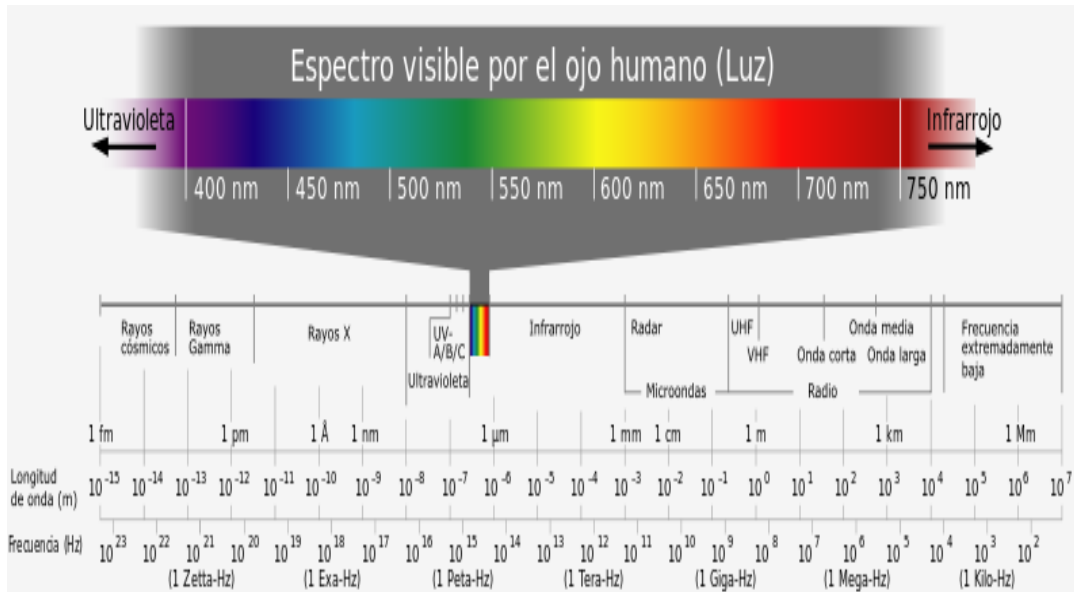
**Figura 3.4** Componentes básicos de un laser.

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.

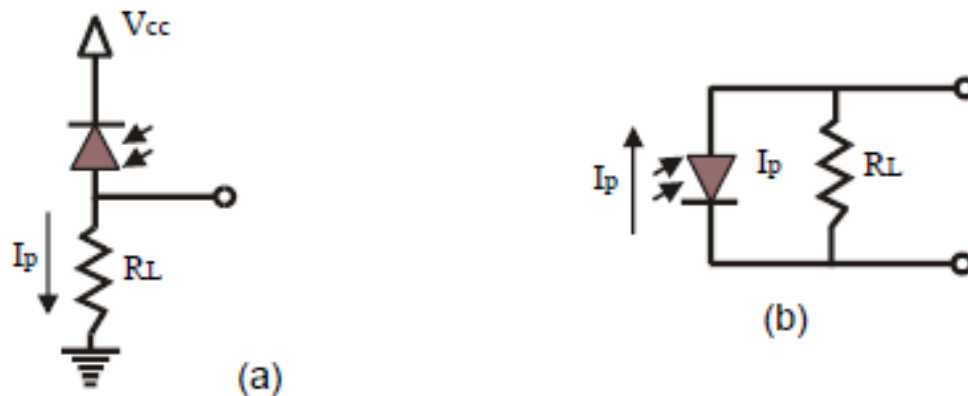
Los detectores de luz semiconductores se basan en la colección en un circuito eléctrico externo de los portadores de carga generados por los fotones absorbidos dentro del material. En semiconductores no dopados la anchura de la banda prohibida determina la máxima longitud de onda detectable. [3]

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).

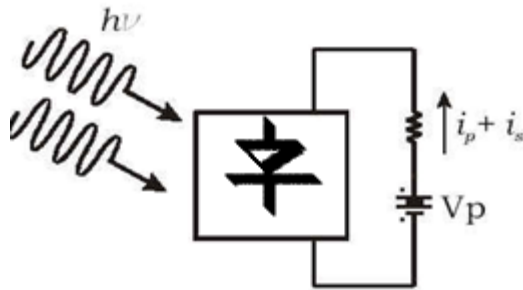
La importancia del uso de los fotodetectores en esta tesis es muy importante ya que gracias a ellos se recibe una señal óptica y la transforman en señal eléctrica. La definición básica de un foto detector radica en su funcionamiento como transductor (el cual es capaz de transformar o convertir un determinado 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.

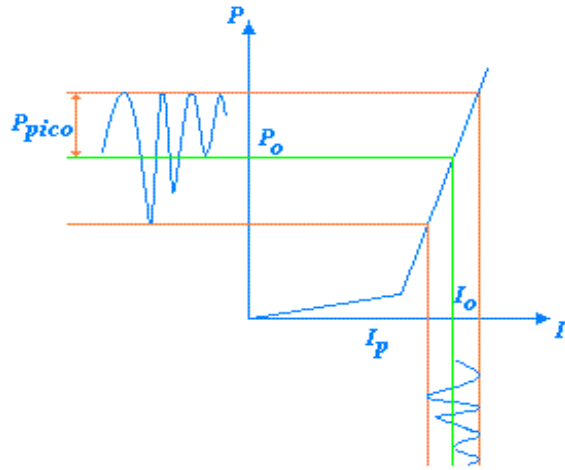
El objetivo de la modulación acusto-óptica, es su aplicación a la realización de un modulador óptico.

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]

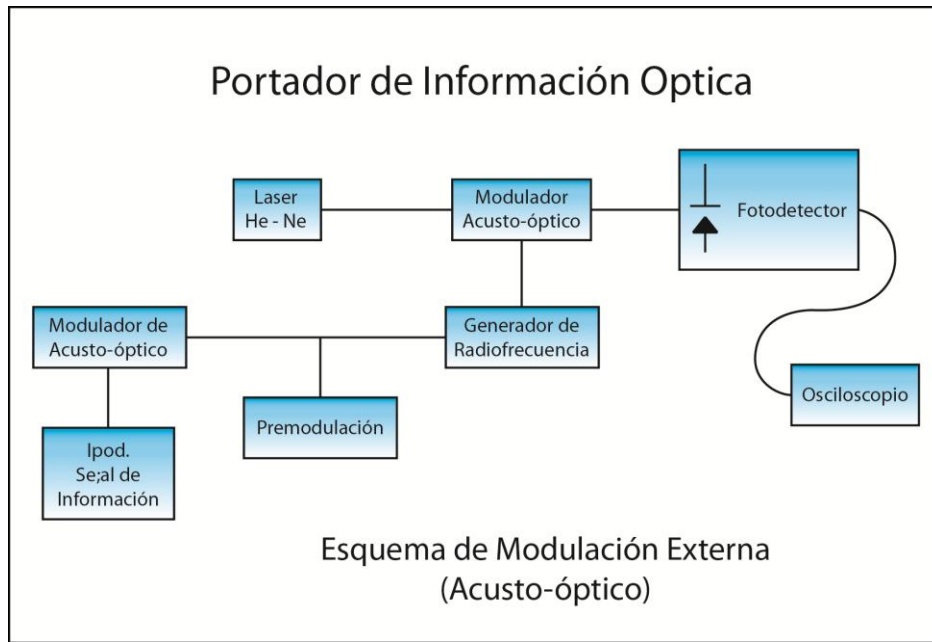
Esta modulación se basa en que el índice de refracción de ciertos materiales varía con las tensiones mecánicas a que están sometidos, lo que se conoce como efecto foto-elástico o acusto-óptico. Si a estos materiales se les aplica una onda elástica (acústica), se produce un cambio de índice de refracción 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-óptico 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.