

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades del Sistema de Comunicaciones Óptico

En un sistema de comunicación óptico, se necesita de una fuente emisora de luz como transmisor, de un canal de transmisión de información, que por supuesto es la fibra óptica y de un detector que funcione convirtiendo señales luminosas en señales eléctricas, tal como se muestra en la figura 2.1. Básicamente, este sistema interpreta la información, contenida en la señales de luz, en forma de código, y la envía, modificando así ciertas características de los haces luminosos emitidos por la fuente.



Figura 2.1 Esquema de un sistema de comunicación óptico general.

Como ya es bien sabido, la fibra óptica tiene la particular característica de poder transmitir datos en forma de pulsos de luz, teniendo la gran ventaja de que las pulsaciones luminosas se transmiten sin interrupción de un extremo a otro de la guía, sin importar las grandes distancias recorridas o bien si en el trayecto hay bordes o superficies curvas.

Una problemática importante para las comunicaciones por fibra óptica, era el envío de alto flujo de información a frecuencias muy elevadas, pero esto se vio solucionado con la llegada de los diodos Láser.

Uno de los puntos importantes para que los sistemas de comunicación óptica tuvieran un desarrollo como el que han llegado a lograr hoy en día, fue sin duda, encontrar el medio ideal para transmitir la luz. Y esto ocurrió, cuando se comenzaron los primeros estudios acerca del proceso de modulación y de detección de luz necesarios para la conversión de información óptica a eléctrica. Estos hechos indicaban que era posible introducir un haz luminoso en una fibra transparente y flexible y así proveer una transmisión semejante a las señales eléctricas por alambres.

## 2.2 Fibra Óptica

La fibra óptica se puede definir como una varilla de vidrio u otro material transparente con un índice de refracción alto que se emplea para transmitir luz. Cuando la luz entra por uno de los extremos de la fibra, se transmite con muy pocas pérdidas incluso aunque la fibra esté curvada [2].

Los sistemas basados en líneas de transmisión y guías de ondas de materiales conductores son imprácticos para comunicaciones de largas distancias y altas frecuencias. Los primeros por la alta disipación de energía en la línea, y los segundos por la imposibilidad de tender una guía de onda en distancias más grandes que unos cuantos metros. Para estas aplicaciones, los sistemas de transmisión utilizan fibra óptica, la cual está fabricada fundamentalmente de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) dopado para controlar el índice de refracción [3,4].

El principio de operación de la fibra óptica se basa en la reflexión interna total en medios dieléctricos; la luz que viaja por el centro o núcleo de la fibra incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, de forma que toda la luz se refleja sin pérdidas hacia el interior de la fibra. Así, la luz puede transmitirse a larga distancia reflejándose miles de veces. Para evitar pérdidas por dispersión de luz debida a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento [2].

### 2.2.1 Estructura de una fibra óptica

En general, La fibra óptica está formada por varios componentes colocados de forma concéntrica como se presenta en la figura 2.2, y que se encuentran orientados desde el punto central hasta el exterior del cable de la siguiente manera:

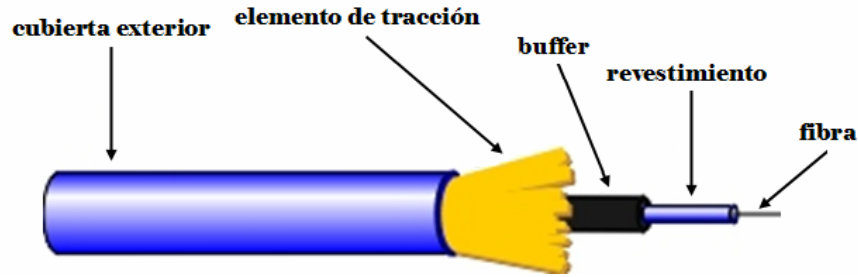


Figura 2.2 Esquema de la estructura de la fibra óptica.

El núcleo, es el elemento que transmite la luz, desde la fuente hasta el dispositivo receptor, todas las señales luminosas viajan a través de éste, y se encuentra en el centro de la fibra óptica. Tiene un diámetro muy pequeño, entre 10 y 300  $\mu\text{m}$ , por lo que cuanto mayor sea el diámetro del núcleo, mayor es la cantidad de luz que puede transportar. El núcleo es, comúnmente, vidrio fabricado de una combinación de dióxido de silicio y otros elementos.

El revestimiento se encuentra alrededor del núcleo y también está fabricado con sílice pero con un índice de refracción menor que el del núcleo. Los rayos de luz que se transportan a través del núcleo de la fibra se reflejan sobre el límite entre el núcleo y el revestimiento a medida que se mueven a través de la fibra por reflexión total interna.

El material amortiguador o buffer, se encuentra cubriendo al revestimiento, generalmente es de plástico. El material amortiguador ayuda a proteger al núcleo y al revestimiento de cualquier daño.

El material resistente o elemento de tracción, rodea al amortiguador evitando que el cable de fibra óptica se estire, cuando lo están manipulando o bien cuando se encuentra en una zona inestable.

La cubierta exterior rodea al cable para así proteger a la fibra, de abrasión, solventes y demás contaminantes.

La reflexión interna total permite que los rayos de luz dentro de la fibra reboten siguiendo un trayecto en zigzag a lo largo del núcleo, como se describe en la figura 2.3 [5].

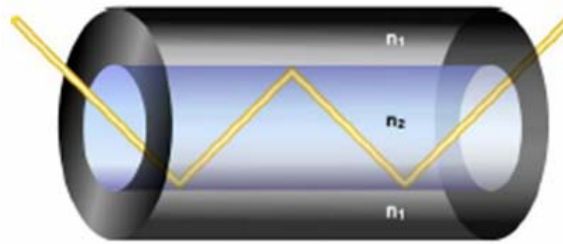


Figura 2.3 Trayectoria de un haz de luz a través de la fibra óptica [5].

### 2.2.2 Dispersión

La dispersión, es considerada como el ensanchamiento de pulsos de luz, por lo cual una señal luminosa se ve deformada a medida que se propaga a través del canal, es decir, de la fibra óptica.

Existen tres tipos de dispersión, y son: la dispersión del material, la dispersión modal y la dispersión por guía de onda. En este caso particular, nos interesa la dispersión del material.

- **Dispersión del material:** Este tipo de dispersión se debe al conjunto de longitudes de onda contenido en un pulso. Puesto que el índice de refracción varía con la longitud de onda, la velocidad de grupo  $v_g$  de un modo será función de la longitud de onda. Ya que las fuentes de luz tienen diferentes componentes en su espectro, cada una tardará distinto tiempo en la transmisión, debido a las diferentes velocidades a las que viajan, lo que producirá un ensanchamiento del pulso emitido. El ensanchamiento del pulso sobre una fibra de longitud  $L$  puede aproximarse por la expresión siguiente:

$$\frac{\tau}{L} = \frac{1}{v_g} = \frac{1}{C} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \lambda^2 \frac{d^2 n}{d\lambda^2}, \quad 2.1$$

donde  $d\lambda^2$  representa el ancho espectral relativo de la fuente de luz, y el término  $d^2 n / d\lambda^2$  caracteriza a la dispersión en el material.

- **Dispersión modal:** Esto ocurre cuando los haces de luz viajan en trayectorias diferentes en cada modo de la fibra óptica. Cada ruta seguida por la luz, varía según la longitud de la fibra, obviamente para cada modo.
- **Dispersión por guía de onda:** Esta causa de dispersión en una fibra óptica surge del hecho de que el número de modos  $V$  depende de la longitud de onda. La

dispersión en la guía de onda para modos guiados en una fibra multi-modo es sensiblemente pequeña para todos los modos alejados del corte (la longitud de corte es aquella a partir de la cual se transmite más de un modo). Ya que los modos próximos al corte, generalmente, transportan una fracción pequeña de la potencia total y suelen sufrir pérdidas más elevadas, la contribución a la dispersión por esta causa puede ser omitida [6].

La dispersión de la luz dentro de una fibra es producida por defectos microscópicos en la uniformidad (distorsiones) de la fibra que reflejan y dispersan parte de la energía de la luz.

### 2.3 Fuentes Emisoras de Luz

Las fuentes de luz también juegan un papel muy importante en los sistemas de comunicación óptica. Cabe destacar que las características más sobresalientes de las fuentes emisoras de luz son el espectro emitido por la fuente y la potencia óptica. Asimismo la potencia y la eficiencia de la radiación luminosa también se consideran importantes [7].

Dos tipos de fuentes consideradas más importantes en esta área, son el Diodo Emisor de Luz (DEL) y Diodo Láser. Una de sus características relevantes es que pueden modularse a grandes velocidades de transmisión. La decisión de elegir entre uno y otro elemento reside en las necesidades del usuario.

### 2.3.1 Diodo Emisor de Luz (DEL)

Un DEL ó LED (Light Emitting Diode), como mejor lo conocemos, es un componente electrónico semiconductor. La luz emitida por un material semiconductor de tipo p – n obedece a la corriente en un sentido preferencial, por lo que el hecho de agregar o eliminar impurezas pudiera dar origen a un exceso de electrones o falta de electrones libres (huecos) en la banda de conducción, lo que provocaría una unión tipo n o tipo p, respectivamente.

Algunas de las características que identifican a los diodos DEL son las siguientes:

- Es bueno en caso de requerir anchos de banda pequeños a cortas o medianas distancias.
- La potencia disipada es menor.
- Es útil para casos en los que el ancho espectral y/o la respuesta en frecuencia no sean factores limitantes.

### 2.3.2 Diodo Láser

El diodo Láser se obtuvo como resultado de la continuación del desarrollo del diodo LED. La palabra LASER proviene de las siglas en inglés: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Esto se refiere a un proceso cuántico especial, en el cual una luz es emitida por una cantidad de electrones, este proceso ocurre cuando los electrones



cambian sus estados energéticos de mayor a menor intensidad, estimulando a otros electrones para crear un mismo patrón. El resultado es una luz coherente al final del material [8].

Lo anterior significa que en la emisión de fotones, el semiconductor se polariza al aplicársele una diferencia de potencial. En la parte central los electrones se recombinan; es decir saltan de una capa a otra. Los electrones que no son recombinados, caen y esto da lugar al proceso de emisión estimulada, debido a que éstos regresan a su nivel energético y desprenden energía en forma de luz. Si se presenta aumento de corriente aplicada a los electrones, éstos exceden su flujo natural y es por ello que rebasan el número de huecos disponibles y tienen que regresar. Todo este proceso es descrito gráficamente en la figura 2.4.

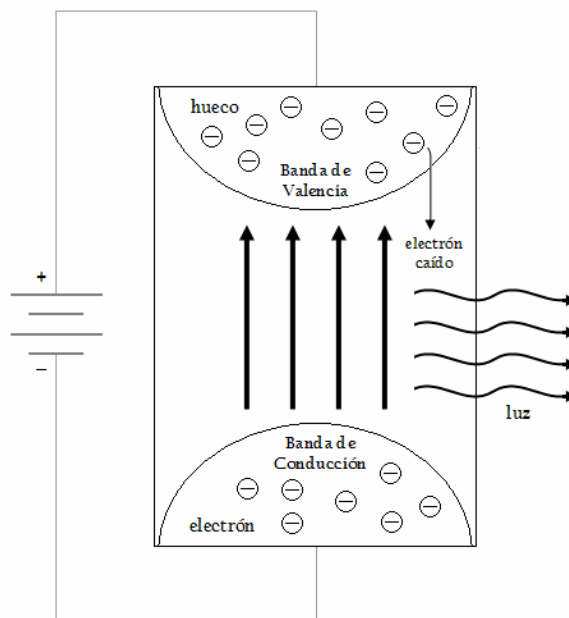


Figura 2.4 Proceso de combinación de pares electrón-hueco [9].

El diodo Láser tiene una curva característica que responde al efecto de emisión estimulada que fue explicado anteriormente, como se indica en la gráfica de la figura 2.5.

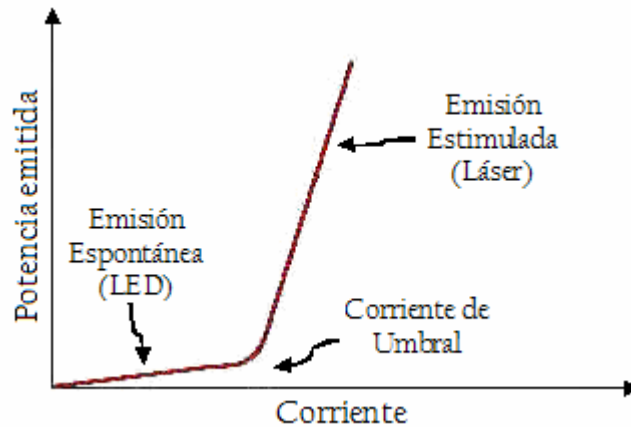


Figura 2.5 Curva característica de la relación entre potencia y corriente del láser.

Una característica importante es que la luz emitida no sólo tiene la misma frecuencia (color), sino también la misma fase, (también está sincronizada). Este es el motivo por el cual la luz láser se mantiene enfocada, aún a grandes distancias [8].

Por lo que, con la aparición del diodo Láser como fuente de luz monocromática (de un solo color), se estimuló la explotación de las comunicaciones ópticas y se resolvió el problema de enviar altos flujos de información a frecuencias muy altas, ya que este es otro detalle muy importante al momento de envío de la información.

Las particularidades de los diodos Láser les permite tener ciertas ventajas en relación a los diodos DEL. Principalmente el buen acoplamiento con la fibra óptica, esto debido a la angosta dispersión angular del haz de luz.

Las características que hacen distinguibles a los diodos Láser son que:

- Se consideran útiles tanto para recorridos de distancia muy grandes como para anchos de banda grandes.
- El consumo de potencia es considerablemente mayor.
- Son muy eficientes y confiables.
- Tienen un promedio de vida muy extenso.

### 2.3.3 Láser FP (Fabry-Perot) [10]

En la estructura del Láser FP la luz es reflejada y vuelta a reflejar entre dos espejos a ambos lados de un semiconductor. El material y los dos espejos forman una cavidad resonante que determina la longitud de onda.

La oscilación tiene lugar en varias frecuencias para las cuales la separación es múltiplo de  $\lambda/2$ . La luz emitida tiene muchas componentes espectrales y la energía se dispersa.

Exhibe cierta inestabilidad en la potencia de salida que se traduce como ruido RIN (Relative Intensity Noise) y se utiliza para transmisión de datos en el retorno.

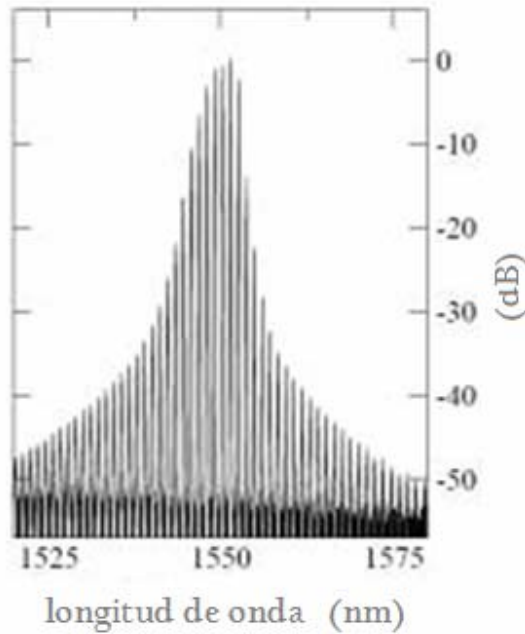


Figura 2.6 Espectro angosto del láser Fabry-Perot.

### 2.3.4 Láser DFB [10]

El Láser DFB por su nombre en inglés *Distributed Feedback Laser*, lo que se traduce como láser de retroalimentación distribuida, es una modificación del FP que utiliza una rejilla (retícula) de difracción que se comporta como un circuito sintonizado óptico para restringir la oscilación a un único modo. Es la fuente más común para transmisores de downstream.

La red de difracción se distribuye a lo largo de todo el medio activo. La longitud de onda de la red determina la longitud de onda emitida por el láser, en una línea muy fina del espectro, como se muestra en la figura 2.7.

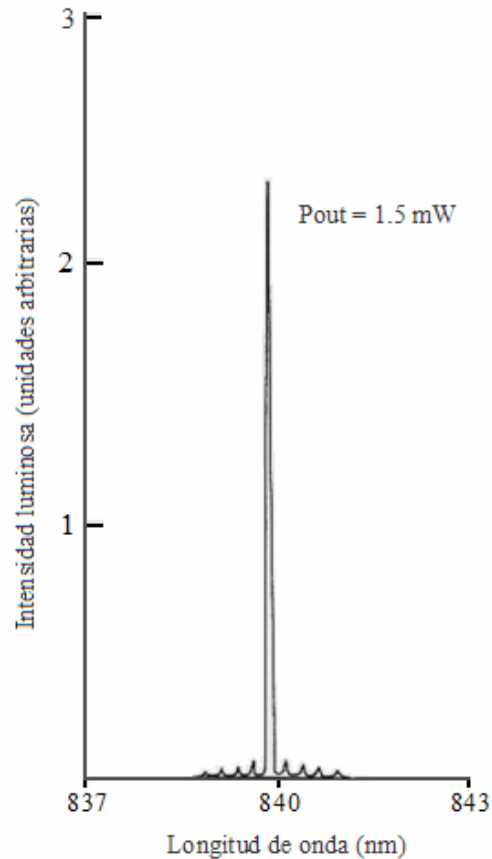


Figura 2.7 Espectro del láser DFB.

## 2.4 Detector óptico

En los sistemas ópticos comúnmente se encuentran dos tipos de detectores, los fotodiodos PIN y los fotodiodos de avalancha (FDA).

El detector óptico que nos interesa en este proyecto es el fotodiodo PIN, ya que por sus características muy particulares, es considerado el más importante en los sistemas de comunicación óptica. Entre algunas características se encuentran.

- Que requieren sólo potenciales inversos inferiores a 20V.
- Su resistividad es alta.
- Tiene un tiempo de respuesta muy rápido, de nano-segundos o menos [11].

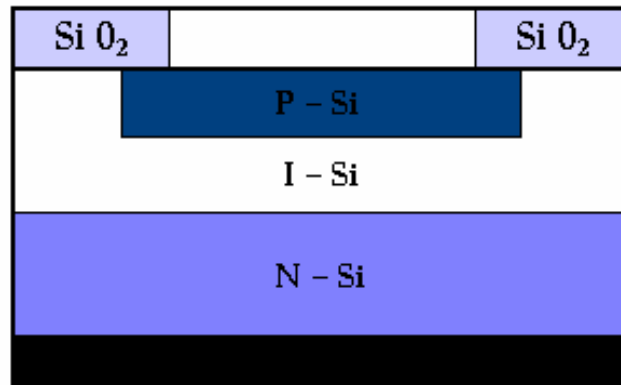


Figura 2.8 Esquema de un foto-diodo PIN.

Como se representa en la figura 2.8, el detector PIN se compone de las bandas  $p$  y  $n$ , con alta conductividad, respectivamente, en unión con una zona intermedia que está constituida por un material intrínseco muy poco conductivo. Éste es polarizado de manera inversa, con el propósito de que las cargas formadas en la zona intrínseca se aceleren debido al campo electromagnético generado en el diodo. El efecto interno del diodo PIN consiste en la generación de pares electrón – hueco a partir de fotones, con lo cual se obtiene la conversión provechosa de la corriente.

El foto-detector PIN, es sensible a un gran ancho de banda debido a que no existe en él, mecanismo de ganancia.