

67
24



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Estudios Superiores
" CUAUTITLAN "

**"COMUNICACIONES, TRANSMISION DE
INFORMACION POR FIBRA OPTICA, FUENTES
EMISORAS DE LUZ"**

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :

LOME RIVAS ENRIQUE

ASESOR: ING. FRANCISCO TELLITUD LOPEZ

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx. 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES.

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones. Transmisión de Información por Fibra Óptica,
Antenas Emisoras de Luz

que presenta el parante: Lome Rivas Enrique
con número de cuenta: 8335669-4 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Iscalli, Edo. de México, a 19 de Febrero de 19 96

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>II</u>	<u>Ing. Juan González Vega</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Francisco Tellitud López</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. José Sánchez Pérez</u>	<u>[Firma]</u>

DEP/VOBOSEM

A

**LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Y
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLAN.**

Con agradecimiento por la formación que me dio.

A

Los ingenieros:

Francisco Tellitud y Juan González.

Por su ayuda para la realización de este trabajo.

A

Todos mis maestros.

Por compartir sus experiencias y conocimientos.

A

Mi madre:

Elvira Rivas S.

A quien dedico con todo mi cariño este trabajo. Por su comprensión y amor durante toda mi vida.

A

Mis hermanos:

Héctor y Silvia.

Quienes me han apoyado en todo momento.

A

Mis abuelitos:

Luis y Beatriz.

Por que se han preocupado por mi bienestar y educación.

A

Mi tía Ma. Beatriz.

Quien me ayuda en forma incondicional y me aconseja.

A

Todos mis familiares.

Tíos y primos por la ayuda que me dan.

A

Mi cuñado Jesús.

Por la ayuda que me dio para poder realizar este trabajo.

A

Todos mis amigos:

Héctor, Sampedro, Anselmo, José, Albino, Victor Landa, Maribel, etc.

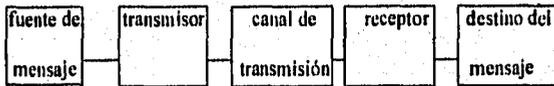
Gracias.

INDICE

	pág.
Introducción.....	1
CAPITULO I	
CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACION	
1.1.- Sistemas de radiocomunicaciones.....	6
1.2.- Sistemas de comunicacion por cable metalico.....	7
1.3.- Sistemas de comunicacion por fibras opticas.....	8
CAPITULO II	
LA COMUNICACION POR FIBRA OPTICA	
2.1.- Parametros opticos basicos.....	10
2.2.- Reflexion y refraccion de la luz.....	11
2.3.- Reflexion total.....	12
2.4.- Apertura numerica.....	13
CAPITULO III	
TIPOS DE FIBRAS OPTICAS	
3.1.- Dispersion modal.....	18
3.2.- Dispersion cromatica.....	18
3.3.- Fibra multimodo de indice gradual.....	19
3.4.- Fibra monomodo.....	22
3.5.- Fibra de indice escalonado.....	23
CAPITULO IV	
FUENTES OPTICAS	
4.1.- Emision espontanea.....	26
4.2.- Electroluminiscencia de la union p-n.....	27
4.3.- Caracteristicas de un LED.....	30
4.4.- Tipos de LED.....	32
Diodo emisor de superficie.....	32
Diodo de emision lateral.....	33
4.5.- Emision estimulada.....	35
4.6.- Diodo laser.....	36
CAPITULO V	
RECEPTORES OPTICOS	
5.1.- Funcionamiento del fotodiodo.....	40
5.2.- Fotodetectores PIN.....	40
5.3.- Fotodetectores de avalancha (APD).....	42
5.4.- Ruido en fotodetectores.....	43
5.5.- El fototransistor.....	44
Apéndice.....	46
Conclusiones.....	52
Bibliografía.....	53

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales intereses de la humanidad ha sido desde hace mucho tiempo el crear sistemas de comunicación. Estos sistemas han sido muy variados pero todos tienen elementos fundamentales para lograr la comunicación, estos elementos se muestran en la figura 1.



El canal de transmisión es el medio por el cual se lleva de un lugar a otro la información. Con el paso de los años han aparecido muchos sistemas de comunicación.

La principal razón en los cambios de los sistemas de comunicación ha sido por el aumento de la información a transmitir y por lograr una transmisión cada vez a mayores distancias y con la mayor fidelidad posible.

La idea de transmitir por medio de señales luminosas no es tan reciente. Desde épocas muy remotas han existido sistemas de transmisión óptica, por ejemplo bajo la forma de señales de humo, faros, etc.

En 1880 Graham Bell construyó un teléfono óptico como se muestra en la figura 2.

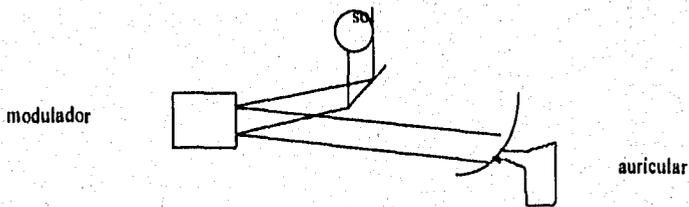


figura 2

Para modular la luz solar usó un espejo diafragma detrás del cual incidía la luz del locutor.

La luz era recibida en un reflector parabólico en cuyo foco estaba localizado un fotoresistor de selenio conectado a una batería y a un teléfono.

En la década de 1870 el inglés Tyndall demostró que la luz podía ser guiada en un chorro de agua aún cuando estuviese curvado.

La idea de usar el vidrio como medio de comunicación creció sin ser un invento notable; una nueva forma de luz.

En 1958 Charles Townes de la universidad de Columbia y Arthur Schawlow de los laboratorios Bell describieron como hacer que un haz de luz contuviera rayos de una sola frecuencia. Ellos se inspiraron en un fenómeno descrito por primera vez por Albert Einstein.

Considerence dos niveles de energía E_1 y E_2 de un átomo. El nivel E_1 es el nivel fundamental; un electrón situado en ese nivel esta en su estado normal. El nivel E_2 , con energía superior a E_1 , no esta ocupado por un electrón.

Si un fotón tiene una energía superior o igual a $E_2 - E_1$, cede esta energía al electrón que pasa al nivel E_2 y el fotón desaparece, fue absorbido. El átomo se encuentra entonces en un estado excitado.

Un átomo excitado esta en un estado anormal. Este átomo tenderá a volver a su estado fundamental, regresando al nivel E_1 que libera en forma de luz la energía $E_2 - E_1$.

Si un fotón de energía $E_2 - E_1$ llega mientras el átomo está excitado, provoca instantáneamente el regreso del electrón hacia el nivel E_1 y la emisión de un nuevo fotón. El fotón emitido se encuentra en fase con el fotón que provocó la transición.

Hay amplificación de la luz puesto que a partir de un fotón se obtienen dos. Este es el efecto láser.

Con los avances del rayo láser en 1960 se creó un gran interés por las comunicaciones en las frecuencias ópticas.

En 1884 John Tyndall, mostró que la luz se propaga en un medio con alto índice de reflexión no puede penetrar en un medio que tiene un índice más bajo, cuando esta luz llega con un ángulo pequeño. Este principio conocido con el nombre de reflexión total interna es la base del funcionamiento de una fibra óptica.

Pero no fue sino hasta 1927 que se dio la posibilidad de transmitir imágenes empleando fibras de silicio.

Hasta el año de 1966 se consideró seriamente la posibilidad de utilizar las fibras ópticas como canal de transmisión en las telecomunicaciones. Esto porque se mostró que las altas pérdidas eran resultado de las impurezas en el material de la fibra. Así creando una fibra con pocas impurezas, se reducirían las pérdidas y así se podrían construir fibras lo suficientemente buenas para considerarlas un canal de transmisión de información.

La construcción de una fibra con pocas pérdidas fue realizada hasta 1970 cuando Kapron, Keck y Maurer en conjunto fabricaron una fibra de silicio con atenuación de 20 db/km. Con esta atenuación, el espaciado de los repetidores en comparación con los sistemas de cobre produjo que la tecnología de las ondas de luz como canal de información fuera una realidad.

Los descubrimientos y las aplicaciones de la fibra óptica fueron creciendo a la par de la tecnología de los semiconductores, los cuales proveen las fuentes necesarias de luz y los fotodetectores, así como la tecnología de las guías de ondas de luz.

El resultado fue una transmisión de información ligada a los inherentes avances sobre los sistemas convencionales.

Los sistemas ópticos de comunicaciones han encontrado en los últimos años una gran aceptación dentro de la industria, servicios públicos y comercio, debido principalmente a la versatilidad que tienen para el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades de transmisión e inmunidad a la interferencia electromagnética, además de sus dimensiones reducidas. Algunas de las aplicaciones más usuales de los sistemas de comunicaciones vía fibra óptica son la telefonía de larga distancia o para zonas de alto tráfico telefónico, las redes locales de datos, la telecomunicación dentro de plantas industriales y generadores de electricidad, la transmisión de señales de televisión vía cable, televisión de alta resolución, y las recientes redes integradas de servicios digitales.

CAPITULO I

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Todos los sistemas de comunicación consisten de tres bloques: Transmisor, Medio de transmisión y Receptor.

En el transmisor se genera la señal de información que se desea transmitir. Esto se hace dándole a la información una forma determinada para que se pueda enviar a través del medio de transmisión.

El medio de transmisión varía de acuerdo a nuestro sistema, éste puede ser cable de cobre, cable óptico o el espacio. Cada uno con características diferentes.

El receptor es el dispositivo a donde llegan las señales transmitidas a las cuales se les hacen las modificaciones pertinentes para transformarlas de manera que se puedan interpretar los datos recibidos.

Los sistemas de comunicación se clasifican de diferente forma dependiendo del parámetro de comparación. Una forma de clasificarlos es según la forma en que se envía el mensaje; puede ser digital o analógica.

La diferencia o característica principal de un sistema de comunicación digital comparado con un sistema analógico es que en el primero se transmite una forma de onda determinada, de entre un número finito de formas de onda posibles mientras que en el caso de la comunicación analógica el número de formas de onda posibles es en teoría infinito.

Bajo este concepto es importante establecer que el objetivo de un sistema de comunicación digital no es reproducir con exactitud la forma de onda que fue transmitida, sino determinar a partir de una señal afectada hasta cierto grado por ruido, cual ha sido la

forma de onda enviada por el transmisor, de entre ese conjunto finito de formas de onda posibles.

Otro parámetro muy importante para clasificar los sistemas de comunicaciones es mediante el medio de transmisión que emplean.

De acuerdo al medio o canal de transmisión empleado, un sistema puede tener una o varias características que lo hacen insustituible con respecto a otros sistemas que emplean diferente medio de comunicación. Según el medio de transmisión, los sistemas de comunicaciones se pueden clasificar en:

- Sistemas de guías de onda.
- Sistemas por cable metálico.
- Sistemas por fibras ópticas.

1.1.- SISTEMAS DE GUÍAS DE ONDAS

Los sistemas de radiocomunicación emplean al espacio como medio de transmisión. La información atraviesa el espacio en forma de ondas electromagnéticas. Para hacer esto es necesario emplear un transductor para transformar las formas de onda de voltaje, corriente u ondas electromagnéticas guiadas, en ondas electromagnéticas no guiadas. Este transductor es la antena transmisora.

En la parte de recepción se debe de contar con otro transductor que haga la función inversa que el transductor del transmisor. Este transductor es la antena receptora.

El hecho de que los sistemas de transmisión de radiocomunicaciones no necesiten un medio físico para la transmisión de información hacen que posean unas características

particulares que en ciertas aplicaciones son insustituibles y para otras es mejor usar otro tipo de sistema de comunicación.

Algunas de las ventajas y limitaciones de este tipo de enlaces se ilustran a continuación:

VENTAJAS

- Facilidad de comunicaciones móviles.
- Facilidad de comunicaciones multipunto.
- Facilidad de realizar enlaces en áreas de difícil acceso o sin infraestructura.
- Menor tiempo de instalación.

LIMITACIONES

- Susceptibles a interferencias electromagnéticas.
- Espectro electromagnético limitado.
- Privacidad pequeña.
- Dependencia de las condiciones ambientales.
- Costo.

1.2.- SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR CABLE METÁLICO

Estos sistemas utilizan un medio físico como canal de transmisión, el cual debe ser un conductor de electricidad. Por esta razón estos sistemas tienen otras características diferentes a las de los sistemas que no necesitan un medio físico para la transmisión. Algunas de estas características son:

- Necesidad de un medio físico.
- El medio de transmisión cuesta.

- Comunicación móvil sólo en áreas pequeñas.
- Dificultad de comunicación punto-multipunto.
- Menor sensibilidad a interferencias electromagnéticas.
- Facilidad de conducir energía eléctrica.
- Dificultad para usarlos en medios corrosivos.
- Mayor privacidad.

Estos sistemas como todos deben de contar con una fuente emisora de la señal (transmisor) y con un dispositivo para recibirla y transformarla a una forma que sea interpretable (receptor).

1.3.- SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRAS ÓPTICAS

Estos sistemas también utilizan un medio físico como canal de transmisión, este canal es de tipo dieléctrico.

En estos sistemas la información viaja en forma de luz, es decir en forma de ondas electromagnéticas guiadas.

La diferencia entre este tipo de sistemas y los de ondas electromagnéticas de radio es la frecuencia de operación, además del medio de transmisión.

En estos sistemas se requiere que en el transmisor exista un transductor de ondas de voltaje y corriente en ondas luminosas, así como en el receptor se requiere de un transductor de ondas luminosas a ondas de corriente y voltaje.

El medio de transmisión es un cable de fibra óptica que puede ser de vidrio, plástico, o algún otro material pero con las características necesarias para llevar a cabo la transmisión.

Algunas de las ventajas de los enlaces por medio de fibra óptica son:

- No presenta interferencias electromagnéticas.
- Las pérdidas son pequeñas.
- No necesitan mantenimiento preventivo.
- Ancho de banda grande.
- Pesos pequeños.
- Alta privacidad de la transmisión.
- Mayor economía para enlaces mayores de 2 km y velocidades superiores a los

2Mbs.

Así como todo sistema tiene sus ventajas también tiene sus limitaciones, y las principales de ellas son:

- Se requiere de un medio físico.
- Reducida movilidad en comparación con los sistemas de radiocomunicación.
- Mayor dificultad en las comunicaciones multipunto: Las derivaciones pasivas introducen grandes niveles de atenuación.
- Las fuentes ópticas son relativamente de alta no linealidad.

Como se puede observar cada sistema de comunicación tiene sus ventajas y sus desventajas, las cuales junto con los costos son los parámetros más importantes que nos indican el tipo de enlace que debemos instalar para cubrir con entera satisfacción con las necesidades requeridas.

CAPITULO 2

LA COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA

La razón por la cual la fibra óptica se volvió económicamente viable como canal de comunicación en los comienzos de la década de los 80's, fue en parte que el láser construido en 1959, había alcanzado cualidades suficientemente buenas en lo que a expectativas de vida y precio se refiere, y por otra parte que las fibras ópticas alcanzaron bajos valores de atenuación.

2.1.- PARÁMETROS ÓPTICOS BÁSICOS

-ÍNDICE DE REFRACCIÓN (n):

Nuestros ojos se han adaptado durante la evolución a la luz del sol, la cual tiene su máxima energía en el rango de los 400 - 800 nm. La radiación en este rango es llamada luz visible. La velocidad de la luz en el vacío (C_0), es de aproximadamente de 3×10^8 m/s. En los medios sólidos o líquidos la velocidad (v) es algo más baja y el cociente nos da el índice de refracción del material. Esto se ilustra en la figura 2.1.

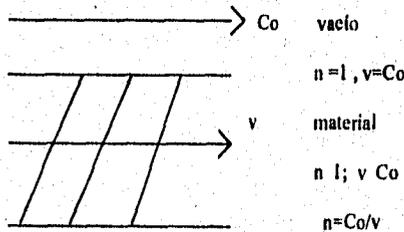


figura 2.1

El índice de refracción en un material es constante con una leve dependencia de la temperatura, la longitud de onda y la presión.

2.2.- REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ.

Cuando un haz de luz se propaga en el aire y se encuentra con un bloque de vidrio parte de la luz se refleja y parte penetra en el cuerpo. Veamos que sucede con la parte que penetra en el cuerpo.

Experimentalmente se haya que tal haz se propaga en una dirección diferente de la del haz incidente: Es decir la dirección de propagación de la luz se altera cuando pasa del aire al vidrio. Cuando esto sucede, decimos que la luz experimenta una refracción.

En general, la refracción se produce cuando la luz pasa de un medio a otro y en los cuales se propaga con velocidades diferentes, de tal forma que el rayo incidente (R1), el rayo refractado(R2) y la normal (AN) están en un mismo plano llamado plano de incidencia.

La relación entre el seno del ángulo de incidencia θ_1 y el seno del ángulo de refracción es constante y se define por:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{o} \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Esto se ilustra en la figura 2.2.

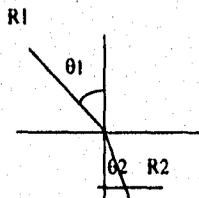


figura 2.2

Veamos ahora que pasa con la parte de luz que se refleja al pasar de un medio a otro.

Si la luz incide sobre un espejo, el ángulo de reflexión θ_r es igual al ángulo de incidencia θ_i . Véase la figura 2.3. Los ángulos se midieron con respecto a la perpendicular a la superficie reflectora (AN) en el punto incidente A.

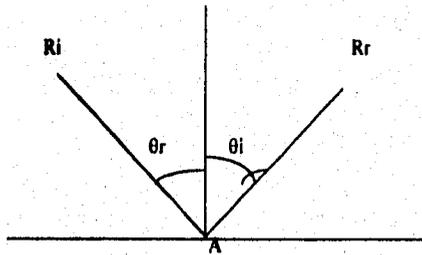


figura 2.3

2.3.- REFLEXIÓN TOTAL.

Para que la luz permanezca dentro del medio de transmisión, debe de sufrir reflexiones cada vez que llegue a una interfaz entre el canal y el medio circundante, que suele estar constituido por aire.

Si se supone que el canal de transmisión es una fibra de vidrio, para que la luz no pueda salir de la fibra solo basta recubrir la pared externa con una capa metálica. Así la luz experimenta reflexiones sucesivas, pero en el momento de la reflexión en una superficie metálica, no se refleja toda la luz, una parte de ella es absorbida por el material, por lo que al cabo de varias reflexiones prácticamente no habría luz.

Pero existe otra forma de confinar la luz, que es la reflexión total interna.

En la fibra de vidrio cuando la luz alcanza la interfaz de vidrio-aire, con un ángulo mayor de 41.8 grados, se refleja totalmente hacia el interior de la fibra. De esta forma la luz podrá propagarse gracias a una serie de reflexiones totales internas.

2.4.- APERTURA NUMÉRICA.

Cuando conectamos una fuente luminosa a una fibra óptica, tenemos dos situaciones por las que podemos tener pérdidas.

El primer caso es cuando se presenta un desacoplamiento del área. Esto se da cuando el patrón de radiación de la fuente (cono de la emisión) es más grande con respecto al área transversal del núcleo.

Existen dos formas para reducir este problema: Uno es reducir la distancia entre la fuente y la fibra. El otro consiste en emplear fuentes con patrones pequeños de radiación y en particular más pequeños que el núcleo.

Cuando es inevitable la separación entre la fuente y la fibra se pueden reducir las pérdidas por espaciamiento de área empleando lentes para concentrar la luz.

Aunque el área iluminada por la fuente sea menor que el área del núcleo, otras pérdidas asociadas con el hecho de que las fuentes tienen un cono de emisión.

Si el cono de emisión de la fuente es más grande que el cono de aceptación de la fibra, la energía del rayo que no sea contenida dentro del cono de aceptación no será acoplada a la fibra óptica. El ángulo de aceptación está relacionado con el ángulo crítico. Esta relación se ilustra en la figura 2.4.

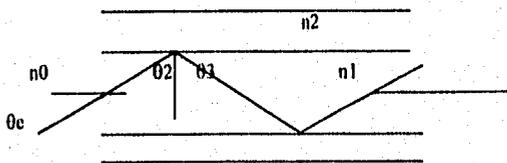


Figura 2.4

El ángulo mínimo de incidencia en la frontera del núcleo y la cubierta óptica para obtener reflexión total es el ángulo crítico. Donde θ_c es el ángulo máximo del rayo con respecto a la normal de la superficie de la fibra, para el cual la reflexión interna total tiene lugar en la frontera núcleo-cubierta óptica.

A este ángulo se le denomina ángulo de aceptación y a su seno se le denomina apertura numérica (AN).

$$AN = \text{sen } \theta_c$$

La luz que puede ser introducida a la fibra es proporcional a la sección transversal del núcleo y al cuadrado de la apertura numérica y también depende del tipo de fibra.

Una representación gráfica de los rayos que puede aceptar una fibra óptica se muestra en la figura 2.5.

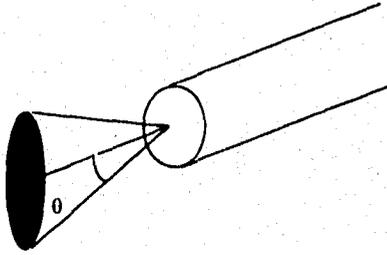


Figura 2.5

Se entiende también que no toda la luz que incide en forma perpendicular sobre la superficie de entrada puede penetrar en la fibra. Esto es debido a las llamadas pérdidas de Fresnel.

La cantidad perdida es de aproximadamente de un 4% para cada superficie de transición entre aire y vidrio.

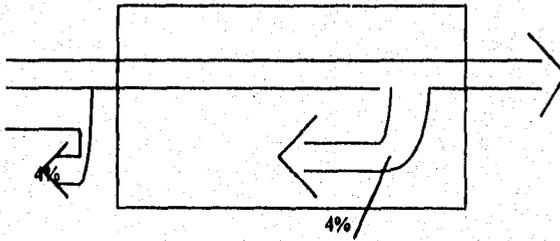


Figura 2.6 Pérdidas de fresnel.

CAPITULO 3

TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

Cuando la fibra óptica se utiliza como canal de transmisión, es indispensable que la luz pueda modularse a una frecuencia muy alta. Por esto es importante saber si la fibra tiene un ancho de banda adecuado y ver cuales serían los fenómenos físicos que pudieran limitar esta banda de paso.

La información en una fibra óptica se puede transmitir en forma digital asignándole al nivel cero la ausencia de luz y al uno la presencia de un haz luminoso. Esto es que la información va en forma de pulsos.

Entre mayor sea el número de pulsos por unidad de tiempo que se puedan transmitir, mayor será la capacidad de la fibra.

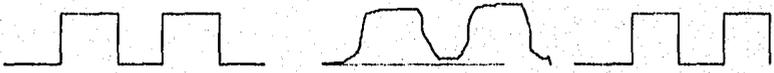
Para que la información en el otro lado de la fibra se pueda utilizar es necesario que la atenuación de la fibra no sea tal que el receptor no pueda recibirla, además la información tendrá que ser definida. Es decir que se pueda reconocer si la señal que se recibe es un pulso alto o un pulso bajo durante un período. Por tanto es necesario que la información no haya sido modificada de manera que no se puedan diferenciar los pulsos bajos de los altos.

Si en la fibra se llegase a producir un alargamiento en la duración de los pulsos luminosos, pueden mezclarse dos puntos sucesivos de diferente valor en la entrada de la fibra provocando la pérdida de la información. A este efecto se le conoce como dispersión modal.

El alargamiento de los pulsos, obliga a aumentar el tiempo entre dos pulsos sucesivos provocando una reducción del ciclo de trabajo y con esto la capacidad de transmisión.

A este alargamiento de los pulsos se le llama dispersión temporal. En la figura 3.1 se puede observar este fenómeno.

En la figura 3.1a, Tenemos el caso en el que el ciclo de trabajo es bajo. Se puede observar la forma de los pulsos iniciales, la forma de los pulsos alargados y la forma de los pulsos reconstruidos. En la figura 3.1b se tiene el caso en el que el ciclo de trabajo de los pulsos es elevado.



3.1 A

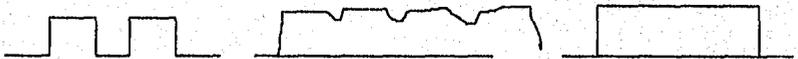


Figura 3.1a y 3.1b.

El alargamiento provocado por la fibra reduce de manera considerable la frecuencia máxima a la cual es posible emitir los pulsos, por lo que limita la capacidad de la fibra para transmitir información.

3.1.- DISPERSIÓN MODAL

En una fibra óptica no todos los modos se propagan siguiendo las mismas trayectorias. Los modos de orden pequeño van casi en línea recta, mientras que los de orden elevado reciben un gran número de reflexiones, así que tienen una trayectoria en forma de zig-zag. Es por esto que unas trayectorias llegan primero que otras, ya que mientras unas tienen una trayectoria recta hacen menos tiempo que las trayectorias diferentes, cuya distancia a recorrer es mayor, por lo que hacen mayor tiempo en atravesar la fibra.

Esta diferencia en los tiempos de llegada de los diferentes modos es lo que se denomina dispersión modal de una fibra.

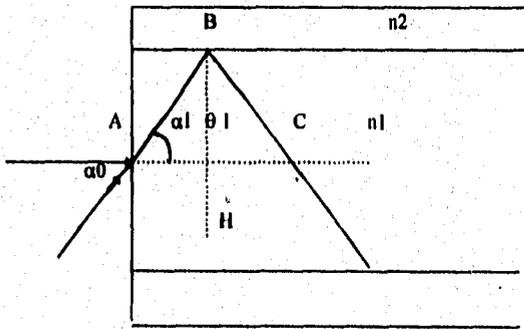


Figura 3.2

El retardo máximo aumenta linealmente con la longitud de la fibra.

3.2.- DISPERSIÓN CROMÁTICA

Las fuentes de luz nunca son monocromáticas. La luz emitida por estas fuentes está constituida por la suma de ondas de diversas longitudes de onda. Esto se ilustra en la figura

3.3.

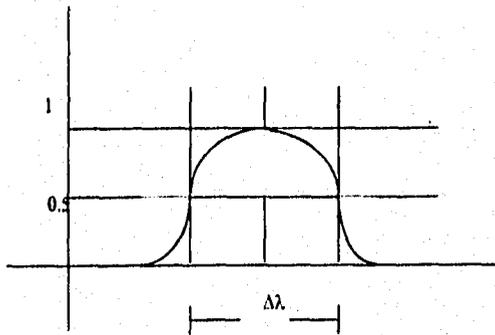


Figura 3.3

El índice de refracción del material de una fibra, varía con la longitud de onda de la luz que entra, lo que da por resultado una velocidad de propagación diferente para cada longitud de onda.

Si inyectamos luz de diversas longitudes de onda en una dirección específica, esta luz se propagará a diferentes velocidades según la longitud de onda. Si este efecto lo descomponemos en función del tiempo, da como resultado un retardo entre las diferentes longitudes de onda en el extremo de la fibra. Aún cuando se hayan inyectado en el mismo instante.

A esta dispersión se le denomina dispersión cromática.

3.3.- FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.

Con la finalidad de igualar los tiempos recorridos de los diferentes modos, se utilizan fibras para las cuales el índice de refracción del núcleo no es el mismo. Sino que disminuye gradualmente del centro del núcleo hacia la cubierta. Esta variación es de forma parabólica.

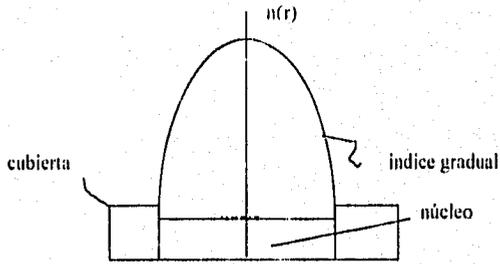


Figura 3.4

A una fibra cuyo índice aumenta gradualmente de la cubierta hacia el centro del núcleo se le llama fibra de índice gradual. En una fibra de índice gradual se puede reducir la dispersión modal.

La idea de índice escalonado la podemos explicar si imaginamos que el índice del núcleo varía en pequeños saltos sucesivos en lugar de variar en forma sucesiva. Véase figura 3.5.

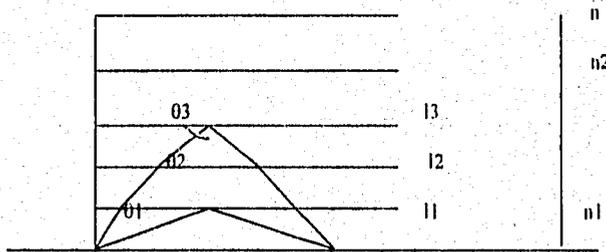
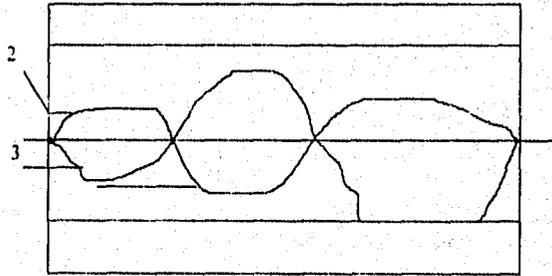


Figura 3.5

Supongamos que el índice del núcleo tiene cuatro saltos sucesivos para pasar de n_2 al valor máximo de n_1 . Un rayo de luz que parte del centro de la fibra y se dirige hacia la cubierta de la fibra se encontrará con tres escalones en el valor del índice. Supóngase que θ_1 . El rayo luminoso se refracta y abandona n_1 con un ángulo θ_2 más grande que θ_1 . Este

rayo alcanza la interfaz I_2 con un ángulo θ_2 . Si se tiene que $\theta_2 > \theta_{2c}$, se produce la refracción. Enseguida se alcanza I_3 con un ángulo θ_3 , como θ_3 es muy grande se puede tener reflexión total sobre I_3 por lo que el rayo regresa al centro de la fibra mediante reflexiones internas. El rayo tiene entonces una curvatura gradual.

Si en lugar de cuatro niveles de índice se tienen diez, las diferencias entre los ángulos serán más pequeñas, de ahí se deduce que las trayectorias en lugar de ser mediante saltos de los ángulos será una trayectoria continua. Las trayectorias para una fibra de índice gradual tienen la forma como se ilustra en la figura 3.6.



En la figura se ve que el rayo se propaga en el centro de la fibra en línea recta. La distancia recorrida es corta pero la luz se propaga a baja velocidad porque el índice de refracción es máximo en el centro. Los otros rayos recorren distancias mayores pero los índices son menores por lo que lo hacen más rápido.

De hecho si se escoge bien el perfil del índice del núcleo se puede hacer que las diferencias en la longitud de las trayectorias se compensen por las diferentes velocidades.

Para una fibra de índice gradual no se puede definir más que una apertura numérica local, puesto que el índice de refracción del núcleo está en función de la distancia entre el centro y la cubierta del núcleo.

Por tanto en una fibra de índice gradual el retraso debido a la dispersión cromática es el que más influye.

La fibra de índice gradual es más difícil de fabricar y se utiliza en los enlaces de más alta capacidad de información.

El retraso está en función de la optimización del perfil del índice, del ancho de banda espectral y de la longitud de onda de la fuente luminosa utilizada.

3.4.- FIBRA MONOMODO.

Otra forma de reducir la dispersión modal es permitiendo que se propague un solo modo. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo y eligiendo la relación del índice de refracción del núcleo y de la cubierta óptica.

En las fibras monomodo la dispersión multimodal se ha reducido a cero. Y es por esto que estas fibras pueden transmitir mayores volúmenes de información en comparación de las fibras multimodo de índice gradual.

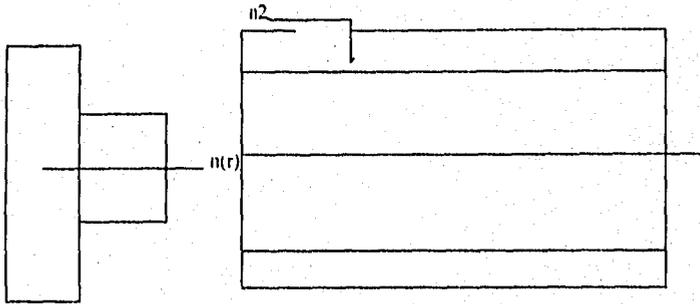


figura 3.7

3.5.- FIBRA DE ÍNDICE ESCALONADO.

Este tipo de fibras son aquellas que tienen el índice de refracción a lo largo del núcleo constante, y cambia abruptamente en la frontera del núcleo - cubierta óptica.

Este tipo de fibra es la más simple, la de menor eficiencia, pero la más costosa.

En estas fibras la propagación de luz tiene diferentes modos. En principio todos los rayos cuyos ángulos de incidencia θ están entre el crítico y 90 grados, serán atrapados en la fibra. Pero no todas estas ondas se propagan a lo largo de la fibra sino que solo ciertas direcciones de los rayos son permitidas, las cuales corresponden a los modos de la fibra.

El desfase total, es la suma del desfase introducido en la trayectoria, más los desfases introducidos en la frontera núcleo- cubierta óptica.

Así se tiene que hay ciertas direcciones permitidas de propagación.

Aquellas ondas que no satisfagan esta condición son rápidamente disminuidas.

Una representación de este tipo de fibras se muestra en la figura 3.8.

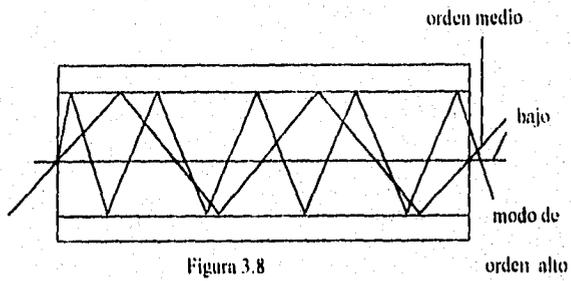


Figura 3.8

Los diferentes modos viajan de un extremo a otro con la misma velocidad, pero llegan al extremo opuesto en diferentes tiempos.

CAPITULO 4.

FUENTES ÓPTICAS

Las principales fuentes ópticas utilizadas para las comunicaciones mediante fibras ópticas son semiconductores de heterounión como el diodo láser (también el láser de inyección) y los diodos emisores de luz (LED). La heterounión consiste en dos materiales semiconductores continuos con diferente apertura -banda de energía. Estos dispositivos son adecuados para la transmisión por fibras, esto se debe a que tienen una adecuada potencia de salida, para un gran rango de aplicaciones.

Su potencia óptica puede ser directamente modulada por la variación de la corriente de entrada al dispositivo. Estos tienen una gran eficiencia y sus características dimensionales son compatibles con las fibras ópticas. La mayor diferencia entre los led y los diodos láser es la forma de salida óptica. Un led es incoherente mientras que la forma de un diodo láser es coherente.

En las fuentes ópticas coherentes la energía óptica es producida en una cavidad resonante óptica. La energía óptica se libera desde que esta cavidad tiene un hueco y una coherencia temporal. Su haz luminoso es altamente direccionable.

En una fuente incoherente de led, no existe cavidad óptica para las longitudes de onda seleccionadas. La radiación de salida tiene un ancho espectral grande.

La energía óptica es emitida en un hemisferio acorde al coseno de la distribución de potencia, y por lo tanto tiene una larga divergencia del haz luminoso.

En el principio de los 70's los transmisores fueron generalmente construidos en dispositivos discretos.

Al finalizar los 70's muchos transmisores fueron ensamblados en módulos híbridos formados por resistores y capacitores discretos y diodos como fuentes ópticas.

En los 80's la complejidad de los transmisores y las comunicaciones se incrementó. Muchas de las funciones de los transmisores fueron integradas en circuitos de alta escala de integración. Por lo que el número de tarjetas interconectadas disminuyó.

Los transmisores continúa siendo unidades híbridas, conteniendo componentes discretos y circuitos integrados en un solo paquete.

4.1.- EMISIÓN ESPONTANEA

Considérese un semiconductor puro que tiene una banda prohibida E_g suficientemente grande para que a 25 grados centígrados no se provoque que un electrón pase de la banda de valencia a la banda de conducción. Si a un electrón de la banda de valencia se le suministra energía superior a E_g , éste subirá a la banda de conducción y dejará un hueco en la banda de valencia. Se crea entonces un par electrón-hueco.

El semiconductor ya se encuentra en un estado llamado de excitación, y tenderá a volver a su estado de equilibrio. El regreso se hará por recombinación y se da cuando el electrón encuentre un hueco y vuelve a descender a la banda de valencia. En esta recombinación hay liberación de energía y da lugar a un fenómeno para producir luz.

Si hay emisión de un fotón de energía igual a E_g se dice que la recombinación es radiativa.

El fotón se emite mediante un mecanismo llamado emisión espontánea. La recombinación puede ser no radiativa, en este caso la energía se libera en forma de calor.

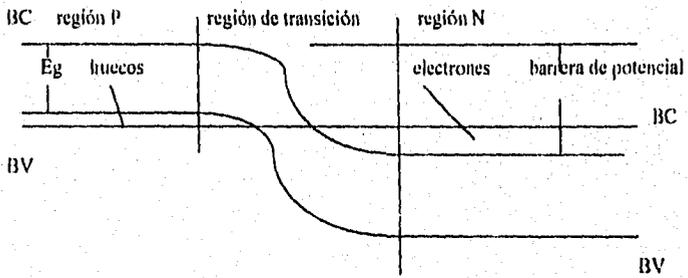


Figura 4.2

Existe una diferencia de potencial asociada al campo eléctrico que se llama barrera de potencial que no permite todo el desplazamiento de las cargas. Si se polariza esta unión en sentido directo, es decir haciendo positiva la región p en relación a la región n se reduce la intensidad del campo y disminuye la barrera de potencial, y los electrones pueden entrar a la región p y los huecos a la región n donde se encuentran en presencia de electrones y huecos, recombinándose y desapareciendo en esta región.

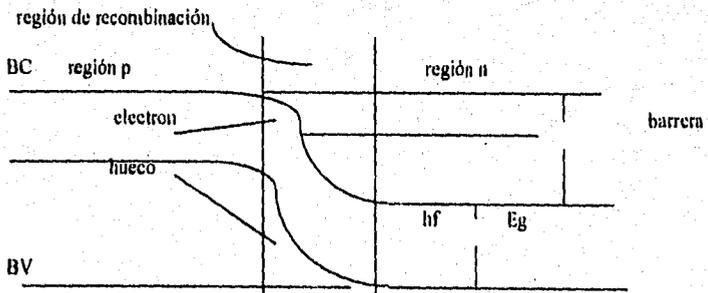


Figura 4.3

Si el semiconductor es de transición directa de banda y de buena calidad cristalina, las recombinaciones serán principalmente radiativas y si la eficiencia cuántica es igual a uno, cada electrón que se recombina origina un fotón.

Los portadores que se recombinan son suministrados por la fuente de polarización y constituyen la corriente directa del diodo.

El voltaje que se debe aplicar es cercano al de la barrera de potencial y es casi igual al valor de la energía prohibida E_g .

Para controlar la emisión se utilizan heterouniones simples o dobles basadas en revestir el semiconductor activo con otro u otros de banda prohibida más ancha.

El incremento del valor del escalón energético resultante entre los bordes de las bandas de valencia y de conducción se encargará de confinar los huecos o electrones inyectados en la región activa impidiendo que la recombinación ocurra fuera de ella. En la figura 4.4 se muestran los esquemas correspondientes a distintas estructuras del led.

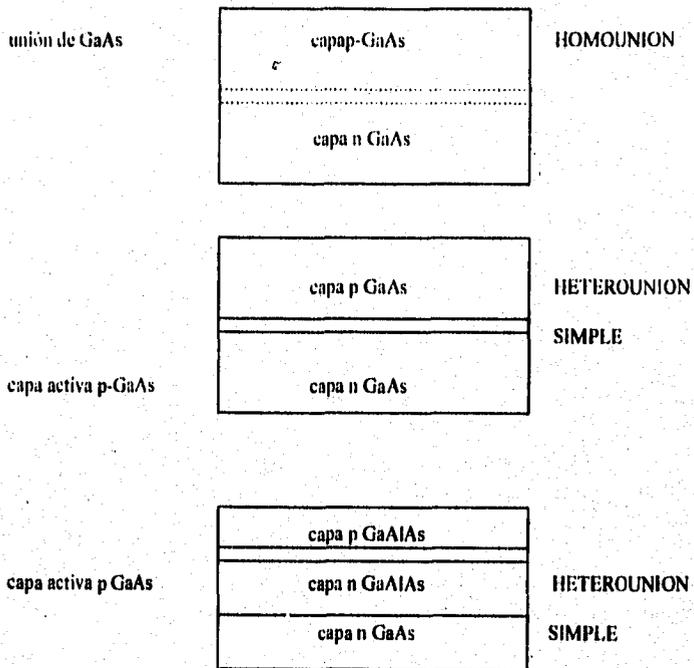


Figura 4.4.

4.3.- CARACTERÍSTICAS DE UN LED.

La unión p-n se obtiene impurificando una placa semiconductor. Un led clásico se ve en la figura 4.5.

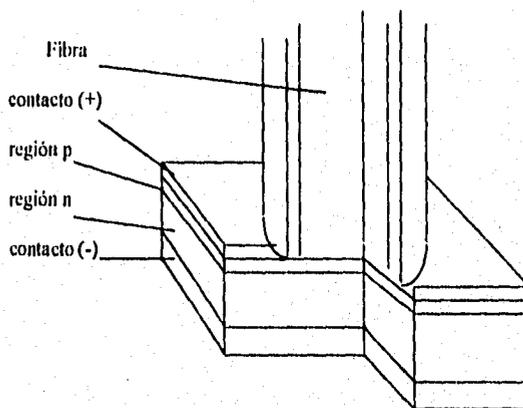


Figura 4.5

Los fotones se generan en la zona de recombinación, es decir, entre la unión p y n. Estos fotones se emiten en todas direcciones (forma isotrópica). Los fotones que salen por la cara frontal pueden inyectarse en la fibra de modo que es importante observar entre todos los fotones emitidos cuales son los que efectivamente si saldrán del cristal por la cara frontal.

Para salir un fotón debe atravesar la región p y no ser absorbido, a continuación debe refractarse por la interfaz de salida y por ultimo ser transmitido y no reflejado sobre esta misma interfaz.

Las características típicas de los led en el estado actual de fabricación se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

	LED	ELED
longitud de onda (nm)	850-1300	850'1300
Anchura espectral(nm)	30-110	10-50
Corriente de excitación(mA)	20-300	20-300
Potencia media de salida (mW)	1	3
Anchura de banda (MHz-km)	600	600
Temperatura máxima	10**7	10**7

4.4.- TIPOS DE LED.

Hay dos tipos de led para las fibras multimodo: El de emisión por superficie y los diodos Eled o diodos de emisión de borde.

DIODO DE EMISIÓN DE SUPERFICIE

Este diodo emite la luz en forma isotrópica desde la región activa. si el medio que circunda a la capa activa es GaAs, el ángulo de radiación mínimo posible con respecto a la normal a la superficie de emisión es de 16 grados: Cualquier fotón que emerja de la misma con ángulo superior quedará atrapado a causa de la reflexión total. El rendimiento es sumamente bajo.

Una mejora posible del mismo consiste en dar forma semiesférica a la superficie de salida, pero esta solución dificulta la unión al tallo y crea problemas ópticos.

La disposición del sustrato n en forma de pozo circular, obtenido por corrosión permite el embutido de la fibra y favorece el acoplamiento lumínico, y esta es la posición comúnmente adoptada en los emisores de superficie, sin embargo, la alta concentración fotónica en la

superficie de salida crea problemas de disipación de calor. Que han de resolverse a través del sustrato de la pastilla; preferentemente es de GaAs.

También se mejora el rendimiento insertando una lente entre la superficie de emisión y la fibra. De modo que puede aumentarse la radiación en tres veces con relación al acoplamiento directo. En la figura 4.6 se puede observar un diodo emisor por superficie.

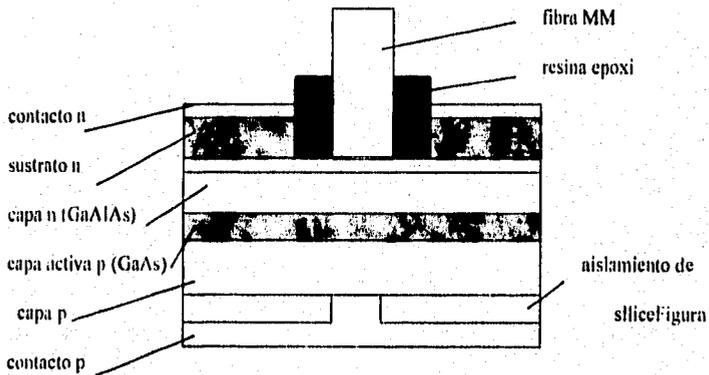


Figura 4.6

DIODO EMISOR DE BORDE (ELED).

Los diodos del tipo ELED, emiten la luz por el mismo plano de la unión p-n gracias al efecto de guía que provoca la heteroestructura, y ello por dos motivos: Por una parte, la inclusión de capas semiconductoras sucesivas de saltos energéticos crecientes a uno y otro lado de la capa activa, de 0,1 a 0,2 μm de espesor dificulta la salida de fotones en un plano perpendicular a esta, confinando el campo en ella.

Por otro lado el índice de refracción de un material disminuye al aumentar su salto energético. Y por esto la heteroestructura sirve de guía de ondas óptico. En la figura 4.7 se muestra un ELED.

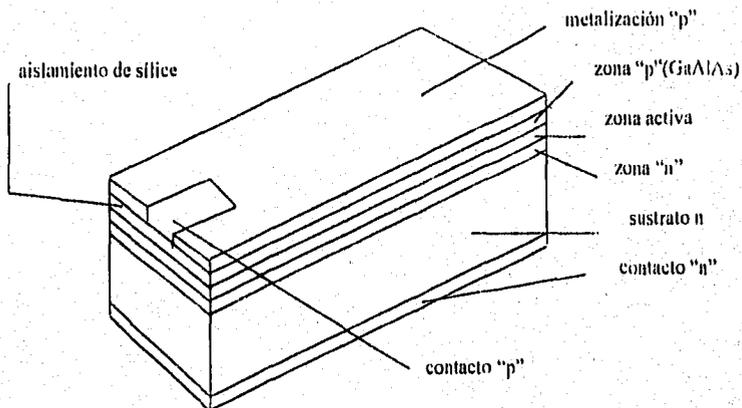


Figura 4.7.

Al ser más directo a la radiación que en el tipo anterior, las pérdidas de acoplamiento a la fibra serán menores y el ancho de banda espectral mejora rotundamente con respecto a los de emisión por superficie.

En ambos casos la temperatura no afecta a la potencia de emisión. Pero si quedan afectados, la longitud de onda de emisión y el ancho espectral.

La velocidad máxima de modulación viene limitada por el tiempo de vida de los portadores en la zona de la unión p-n.

4.5.- EMISIÓN ESTIMULADA.

Si un fotón de energía $E_2 - E_1$ llega mientras el átomo está excitado, provoca instantáneamente el regreso del electrón hacia el nivel E_1 y la emisión de un nuevo fotón. Esto se puede ver en la figura 4.8.

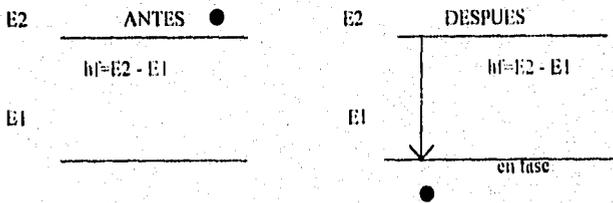


Figura 4.8.

El fotón emitido se encuentra en fase con el fotón que provocó la transición. Este es el fenómeno de emisión estimulada.

Hay amplificación de luz puesto que a partir de un fotón se obtienen dos. Este es el efecto láser.

Es necesario entonces, si se pretende provocar una emisión estimulada, que el semiconductor elegido sea de transición directa de banda. La emisión estimulada solo se produce si hay más átomos en el estado excitado que en el estado fundamental. Si la banda de valencia está más llena que la de conducción, un fotón provoca absorción. En el caso contrario esto provoca emisión estimulada.

Para que el efecto láser pueda producirse en el semiconductor es necesario:

- Producir una inversión de población (bombeo).

-Disponer de una cavidad resonante para que haya amplificación.

La cavidad resonante sirve para amplificar ciertos modos a fin de obtener emisión monocromática.

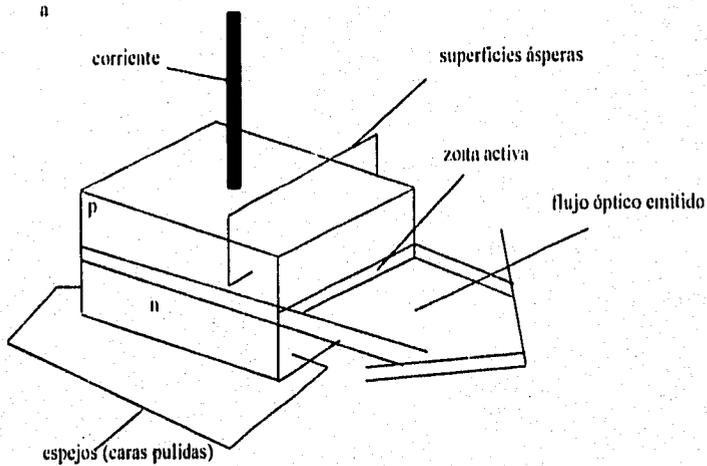
4.6.- DIODO LÁSER.

Los diodos láser son fuentes de emisión estimulada y contienen dos espejos semireflejantes para formar una cavidad resonante, la cual sirve para realizar una retroalimentación óptica.

La estructura de un láser es muy similar a la de un LED. La diferencia fundamental consiste en que la emisión de un diodo láser es siempre de perfil.

Se puede concebir entonces un láser de semiconductor para el cual la inversión de población se produce por inyección de corriente en una unión p-n; este es el láser de inyección. La cavidad resonante es la zona de recombinación radiativa. Si se cortan en capas dos caras opuestas del cristal se obtienen dos espejos semitransparentes. Las otras dos caras deben estar esmeriladas con el fin de que la cavidad sea activa únicamente en una sola dirección.

Si la corriente es pequeña, hay emisión espontánea en todas direcciones. Si aumenta la corriente, en un momento dado, la inversión de población es suficiente y la ganancia de la cavidad es suficientemente grande para que una onda pueda atravesarla sin atenuación. Existe por tanto un umbral de corriente para el cual se produce el efecto láser. Este tipo de láser lo podemos observar en la figura 4.9.



Debe de haber cierta densidad de electrones en la banda de conducción para lograr el efecto láser. la densidad de electrones depende de la corriente y del tiempo de vida de los electrones (tiempo de recombinación). La densidad de corriente necesaria para lograr el efecto láser, esta ligada a la densidad de electrones.

Esta relación de corriente es muy importante para poder hacer funcionar el láser en forma continua a 25 grados centígrados.

Al efecto de impedir a los electrones inyectados penetrar mucho en la región p se le conoce como confinamiento electrónico. Con el fin de que la emisión estimulada sea más eficaz, se añade el confinamiento óptico al confinamiento electrónico, de tal forma que la región activa se comporte como una fibra óptica.

El confinamiento electrónico y el óptico se realiza en lo que se llama láseres de heterouniones. Por analogía el láser sin confinamiento se denomina láser de homounión.

Para lograr el confinamiento electrónico, es necesario hacerlo de modo que la banda prohibida de la zona activa sea más pequeña que la del resto del cristal. Para ello se realizan estructuras en capas de diferentes materiales semiconductores.

CAPITULO 5

RECEPTORES ÓPTICOS

El propósito del receptor en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas es detectar la información de una señal luminosa que incide en el fotodetector. La detección consiste en transformar la luz en una señal eléctrica y es la función inversa a la emisión.

En los sistemas de transmisión analógica el receptor debe amplificar la salida del fotodetector y después demodularla para obtener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor debe producir una secuencia de pulsos eléctricos.

El detector se limita a obtener una fotocorriente a partir de la luz modulada incidente, por lo que esta corriente será proporcional a la potencia recibida, y corresponderá a la forma de onda de la moduladora. Por lo tanto el detector debe ser capaz de proporcionar una señal eléctrica útil aún cuando reciba una señal óptica muy pequeña. Es así que la calidad fundamental del detector se basa en su sensibilidad.

Hay dos categorías principales de detectores de radiación: los detectores térmicos y los cuánticos.

En los detectores térmicos la radiación es absorbida y así se genera una elevación de la temperatura, que provoca una variación sensible de un parámetro físico (resistencia eléctrica, constante dieléctrica, volumen de un gas). Estos detectores poseen una respuesta espectral muy extensa y la variación del parámetro físico puede convertirse fácilmente en corriente eléctrica. Pero su baja sensibilidad y su poca rapidez, los hace inutilizables como detectores en las comunicaciones ópticas.

En las telecomunicaciones por fibra óptica, el fotodetector es un elemento esencial, su importancia impone que satisfaga requerimientos muy estrictos en su funcionamiento. Las características principales que deben tener estos son:

- Sensibilidad a la longitud de onda de operación.
- Contribución mínima al ruido total del receptor .
- Ancho de banda grande.
- Dimensiones compatibles con la fibra óptica.
- Características estables respecto al medio ambiente.

5.1.- FUNCIONAMIENTO DEL FOTODIODO.

La conversión de señal óptica en señal eléctrica es posible gracias a la propiedad de absorción óptica que tiene el semiconductor.

Cuando la luz penetra en un semiconductor se puede absorber si la energía de los electrones suben de la banda de valencia a la banda de conducción.

La absorción del fotón produce un electrón en la banda de conducción y un hueco en la banda de valencia, y se tiene la creación de un par electrón-hueco; si se llega a recuperar el electrón en un circuito exterior , hay producción de corriente eléctrica.

La probabilidad de que un fotón llegue a generar un par electrón-hueco es mayor si se trata de un semiconductor de transición directa que de uno de transición indirecta de banda.

5.2.- FOTODETECTORES PIN.

En el fotodiodo PIN las partes impurificadas p y n se encuentran separadas por una zona no impurificada. En la designación PIN la segunda letra significa intrínseca(no impurificada).

En un fotodiodo PIN la zona impurificada de transición ocupa toda la región intrínseca.

La región p es muy delgada con el fin de que balle el mínimo de portadores generados en esta región.

Si a un dispositivo como este se le aplica una tensión de polarización inversa, se vacía totalmente la región intrínseca de portadores (depleción) generando un alto valor del campo eléctrico en la misma, que acelera las cargas en ella. El campo impulsa a los portadores generados hacia afuera con pocas o ningunas recombinaciones, debido a la gran aceleración que les imprime por efecto de su alto valor.

El tiempo de respuesta de un detector es afectado por la generación de portadores fuera de la zona de recombinación y su posterior difusión.

Una estructura PIN se muestra en la figura 5.1.

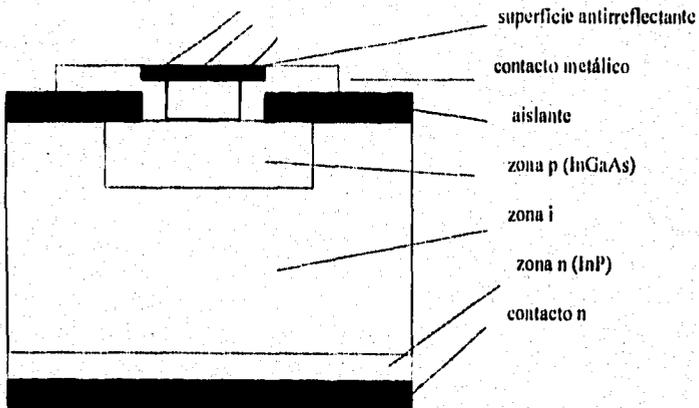


Figura 5.1

Algunas de las características de un diodo PIN son:

- La corriente de portadores mayoritarios aumenta con la potencia óptica incidente.
- A partir de determinada tensión la fotocorriente aumenta bruscamente.
- Cuando no existe luz incidente, el detector origina una pequeña corriente parásita o de oscuridad, cuyo ruido asociado queda como fondo y es conveniente conocer.

5.3.-DETECTORES APD.

Cuando a un fotodetector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento que la corriente crece incontrolablemente por el fenómeno de avalancha, hasta la destrucción del dispositivo. La región a partir de la cual la corriente aumenta se llama de avalancha. Si en esta región el fenómeno de avalancha se controla, la sensibilidad del fotodetector aumenta.

En un semiconductor, cuando un electrón está en presencia de un campo eléctrico, está sometido a una fuerza eléctrica. Esta fuerza comunica al electrón (o hueco) una aceleración, por lo que se tiene un aumento de la energía cinética del electrón. Si la energía cinética del electrón se vuelve igual o superior a la amplitud de la banda prohibida, el electrón por choque con un electrón de la banda de valencia puede generar un par electrón hueco. Hay multiplicación ya que se obtienen dos electrones. El nuevo electrón puede a su vez ser acelerado y crear otro par electrón -hueco y así sucesivamente.

Este mecanismo de multiplicación se conoce como efecto de avalancha. El fenómeno de multiplicación de portadores por avalancha solo se presenta si el campo eléctrico es superior al valor conocido como umbral de ionización del material. En la figura 5.2 se muestra la estructura de un fotodiodo APD.

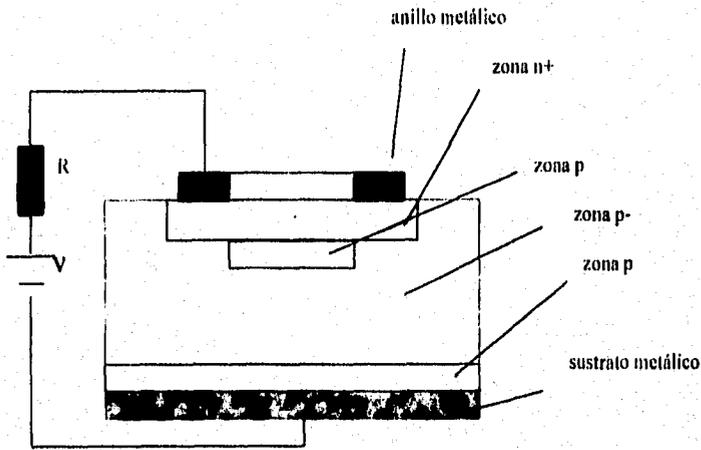


Figura 5.2

El factor de multiplicación (M) de un fotodetector tipo APD se define como la relación entre la corriente suministrada por el diodo en régimen de avalancha y la corriente suministrada por el diodo en baja tensión, es decir cuando no hay efecto de avalancha. Esta relación expresa la ganancia del fotodiodo causada por el efecto de avalancha.

El factor de multiplicación es muy sensible a las variaciones de la temperatura.

5.4.- RUIDO EN RECEPTORES ÓPTICOS

En un sistema de comunicaciones por fibra óptica, el receptor tiene que extraer la información procedente de una fibra óptica, pero esta información viene perturbada por ruido.

El ruido es un factor que se tiene que tomar en cuenta ya que si su valor es muy elevado, se puede distorsionar la información al grado de que no se pueda interpretar de forma adecuada.

El ruido en los receptores ópticos limita su funcionamiento. Los principales ruidos que limitan el funcionamiento de los receptores ópticos con detección directa son:

- Ruido de fondo.- Este se interpreta como la potencia óptica incidente cuando no hay señal.
- Ruido de mezcla.- Este se presenta en el fotodetector por diferentes componentes espectrales de la luz incoherente. Este se presenta principalmente en sistemas con transmisores con LED y fibras multimodo.
- Ruido cuántico.- La manifestación de este ruido se da por la aleatoriedad de la generación de portadores.
- Ruido de corriente de oscuridad y de fuga.- La corriente de oscuridad se debe a la generación térmica de pares electrón-hueco en el fotodetector cuando no le incide luz. La corriente de fuga se debe a las corrientes de superficie que dependen básicamente del proceso de fabricación.
- Ruido térmico.- Este se presenta en todos los resistores que se encuentran en la entrada del preamplificador óptico.
- Ruido de exeso.- Este ruido se genera en los fotodetectores APD causado por el proceso de avalancha.

5.5.- EL FOTOTRANSISTOR.

En un fototransistor la corriente de base (I_b), se produce por la absorción de fotones en la región de la base. En este elemento el diodo colector- base, es un fotodiodo ordinario. La

APENDICE

En el presente apéndice se presentan algunas características de los dispositivos ópticos. Estas son presentadas para lograr un mejor entendimiento de los parámetros físicos, eléctricos y ópticos de los diferentes dispositivos.

También se enlistan algunos de los fabricantes más importantes. Pero estos no son todos los que existen sino solo algunos ejemplos de ellos.

LISTA DE FABRICANTES

RECEPTORES Y TRANSMISORES

-AEG-Telefunken
Electrical & Electronic Components
Rt. 22 & Orr Dr.
Somerville, NJ 08876

-CIT- Alcatel
B.P. 6 Nozay
La Ville Du Bois. 91620. France

-Cabloptic SA
CH 2016
Cortailod, Switzerland

-General Electric Co.
Semiconductor Products Dept.
W. Genessee St.
Auburn NY 13021

-Laser Diode Laboratories
(A M/ACoin Co.)
1130 Somerset St.
New Brunswick, NJ 08901

-EOTecCorp.
200 Frontage Rd.
West Haven, CT 06516

-Fairchild Camera & Instrument
Optoelectronics Div.
3105 Alfred St.
Santa Clara, CA 95050

-Motorola Inc.
Semiconductor Group
5005 E. McDowell Rd.
Phoenix, AZ 85008

-Honeywell Inc.
Optoelectronics. Div.
830 E. Arapaho Rd.
Richardson, TX 75081

-RCA Corp.
Electro optics & Devices
new Holland Ave.
Lancaster, PA 17704

DETECTORES (SEMICONDUCTORES)

-AEG - Telefunken
Electrical & Electronic Components
Rt. 22 & Orr Dr.
Somerville, NJ 08876

-Fairchild Camera & Instrument
Optoelectronics Div.
3105 Alfred St.
Santa clara, CA 95050

-Motorola Inc.
Semiconductor Group
5005 E. McDowell Rd.
Phoenix Az 85008

-Texas Instrument Inc.
13500 N Central Expwy
Dallas Tx 75265

-Honeywell Inc.
 Optoelectronics Div.
 830 E. Arapaho Rd.
 Richardson, TX 75081

-Laser Diode Laboratories
 (A M / A Com Co.)
 1130 Somerset St.
 New Brunswick, NJ 08901

LASER (SEMICONDUCTOR).

-AEG - Telefunken
 Electrical & electronic Components
 Rt. 22 & Orr Dr.
 Somerville, NJ 08876

-NEC Electronics USA
 (Electron Div)
 252 Humboldt Court
 Sunnyvale, Ca 94086

-Optical Informations Systems
 350 Executive Blvd.
 Elmsford, NY 10523

-Lasertron Inc.
 37 North Ave.
 Burlington, MA 01803

LED's.

-Mitsubishi Electronics America Inc.
 Semiconductor Div.
 1230 Oakmead Parkway
 Sunnyvale, CA 94086

-General Electric Co.
 Semiconductor Product Dept.
 W. Genessee St.
 Auburn, NY 13021

-Hitachi America Ltd.
 1800 Bering Dr.
 San José, Ca 95112

-TRW, Optron
 1201 Tappan Circle
 Carrollton, TX 75006

CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES

RECEPTORES ANALOGICOS

longitud de onda (μ m)	ancho de banda Mhz	potencia mínima detectable	tamaño físico	requerimientos de potencia (v / mA)	características especiales
-----------------------------------	--------------------------	----------------------------------	------------------	---	-------------------------------

Honeywell Optoelectronics

660-940	5	400 nW	2.25*5*5.5''	115ac/ 150	75 Ω , 1 v
---------	---	--------	--------------	------------	-------------------

RECEPTORES DIGITALES

longitud de onda (μm)	potencia mínima detectable μW	requerimientos de potencia (V & mA)	compatibilidad (TTL, ECL, etc)
--	---	---	-----------------------------------

Fairchild Camera & Instrument

900	15	5 & 2	TTL
-----	----	-------	-----

Honeywell Optoelectronics

660-940	1	4 5 - 16 & 14	TTL/CMOS
---------	---	---------------	----------

TRANSMISORES ANALOGICOS

longitud de onda (μm)	ancho de banda (Mhz)	potencia pico (μW)	dimensiones físicas (in)	requerimientos de potencia (V & mA)
--	----------------------------	---------------------------------------	--------------------------------	---

Honeywell Optoelectronics

820	8	90	2.5*5*5.5	115ac & 100
-----	---	----	-----------	-------------

TRANSMISORES DIGITALES

longitud de onda (nm)	proporción de Bit (MB/s)	potencia pico (μ W)	requerimientos de potencia (V & mA)	compatibilidad (TTL,ECL,etc.)
-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---	----------------------------------

Honeywell Optoelectronics

820	80	50	4.75-5.25	TTL
-----	----	----	-----------	-----

laser Diode Laboratories

820-850	40	70	5v	TTL
---------	----	----	----	-----

Motorola Inc.

900	0.2	70	5 & 60	TTL
-----	-----	----	--------	-----

DETECTORES SEMICONDUCTORES

tipo de paquete	diametro activo (μ m)	espectro del 10% de respuesta (nm)	fotovoltaico fotoconductor	sensibilidad minima (μ W)
--------------------	----------------------------------	---	-------------------------------	--------------------------------------

Fairchild Camera & Instrument

FOAC	200	600 a 1100	fotovoltaico	15
TO-18	300	600 a 1100	fotovoltaico	15

**ESTA TESTIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Motorola Inc.

TO - 18	3700	0.32 - 1.08	fotoductivo	----
---------	------	-------------	-------------	------

LASER SEMICONDUCTOR

longitud de onda (nm)	potencia optica de salida (W)	divergencia del rayo (mrad)
-----------------------------	---------------------------------------	------------------------------------

Laser Diode Laboratories

904	1 - 30	350 x 230
850	120- 75	350 x 230

LED's

paquete fisico	diámetro activo (μm)	ancho del rayo ($\theta/2$)	longitud de onda (nm)	potencia de salida ($\mu\text{ W}$)
-------------------	---	-------------------------------------	-----------------------------	---

Fairchild Camera & Instrument

FOAC	200	2	890	20
TO - 18	300	5	890	20

Honeywell Optoelectronics

TO - 46	---	---	820	---
---------	-----	-----	-----	-----

user Diode Laboratories

TO - 18	368	30	670	5
TO - 46	50	90	1270	150

CONCLUSIONES

Como podemos observar en nuestro análisis, tenemos que cada sistema de comunicación tiene características diferentes las cuales los hacen muy eficientes en algunas aplicaciones, pero en otras no, por lo que es necesario saber cuales son las ventajas de cada sistema.

Por lo que respecta a las fuentes ópticas, tenemos varias formas de emitir la información. Como podemos observar los elementos más usados son el LED y el diodo láser, este último con mayores ventajas en cuanto al modo de llevar la información ya que como el led trabaja a frecuencias inferiores dentro de la fibra existen mayores pérdidas, pero el led tiene la ventaja de ser un dispositivo de mucho menor costo por lo que lo hace ser el más utilizado. La utilización también depende del tipo y cantidad de información a transmitir.

Para el caso del fototransistor por ahora no se puede emplear como receptor ya que sus desventajas lo marginan de las comunicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- **Fiber Optic Communications Design Handbook**
Robert J. Hoss
- **Understanding Computers Communications**
Time - Life - Books
- **Fiber optic Communications**
Lyne D. Green.
- **Introducción a la Ingeniería de la Fibra Optica**
Baltazar Rubio Martinez
Ed. Addison Wesley Iberoamericana.
- **Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas**
Hildeberto Jardón A.
Roberto Linares Y Miranda
De. Afaomega
- **Introducción a las Telecomunicaciones por fibra Optica**
Jean Pierre Nérrou
De. Trillas
- **Comunicaciones Por Fibra Optica**
Conductores LATINCAS - ERICSON
- **Cables De Fibras Ópticas**
CONDUMEX.