



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"**

**TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN PUNTO A
PUNTO CON FIBRA ÓPTICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

ÁREA: ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

P R E S E N T A:

JOSÉ DANIEL LÓPEZ MORALES

ASESOR: LIC. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ

MÉXICO

2005

m. 344729



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Daniel López Morales

FECHA: 31 - Mayo - 2005

FIRMA: [Firma]

TEMARIO

INTRODUCCION.....	I
-------------------	---

TEMA 1. CONCEPTOS BASICOS DE LA FIBRA OPTICA

	Págs.
1.1. - PROPIEDADES.....	1
1.2. - PARAMETROS.....	4
1.3. - CLASIFICACION.....	7
1.4. - ESTRUCTURA.....	14
1.5. - CONDUCCION DE LA LUZ.....	19
1.6. - DISPERSION.....	23
1.7. - REFLEXION.....	25
1.8. - ATENUACION.....	26

TEMA 2. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO OPTICO

2.1. - INTRODUCCION.....	32
2.2. - REQUERIMIENTOS.....	38
2.3. - DIAGRAMA A BLOQUES.....	42
2.4. - NIVELES DE POTENCIA.....	45
2.5. - ESPECIFICACIONES.....	47
2.6. - ANALISIS DEL ANCHO DE BANDA.....	51
2.7. - SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	53
2.8. - DISEÑO DEL MODULO TRANSMISOR.....	59
2.9. - DISEÑO DEL MODULO RECEPTOR.....	64
2.10. - MODULO REGENERADOR.....	70

**TEMA 3. TRANSMISION Y RECEPCION DE DATOS
PUNTO A PUNTO**

	Págs.
3.1. – PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN (MODBUS).....	74
3.1.1. – MODOS DE TRANSMISION.....	77
3.1.2. – MODOS DE COMPROBACION.....	80
3.2. – ESTANDAR DE COMUNICACIÓN EIA-232.....	82
3.3. – TRANSMISOR Y RECEPTOR DE DATOS PUNTO A PUNTO	
3.3.1. – DESCRIPCION.....	87
3.3.2. – CARACTERÍSTICAS.....	87
3.3.3. – ESPECIFICACIONES PARA COMUNICACIÓN	88
3.3.4. – ESPECIFICACIONES ELECTRICAS Y MECANICAS.....	88
3.3.5. – ESPECIFICACIONES AMBIENTALES.....	89
3.3.6. – EJEMPLOS DE APLICACIÓN.....	89
3.3.7. – DATOS DE DESEMPEÑO.....	89
3.4. – MEDIO DE COMUNICACIÓN.....	90
3.4.1. –TIPOS DE FIBRA COMERCIAL.....	91
DEFINICION DE TERMINOS TECNICOS	92
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

Las comunicaciones digitales en el planeta son parte fundamental en cada país, apoyadas por la tecnología que a cada día avanza con pasos agigantados; como en todo momento, siempre hay un principio, encontramos en la década de los 60's, el hallazgo de un medio alternativo que establece auge en materia de comunicación para el envío de información llamado óptica.

La luz se estudia para conocer un elemento que ayude a estructurar el sistema de comunicación óptica generando una señal alternativa en la transmisión de información, voz y datos, con enlaces característicos que aseguren su desplazamiento a más de 60 km de distancia, que evite la atenuación (para que no se afecte ni deteriore la transmisión en una comunicación), este sistema de comunicación es una forma nueva de alcanzar emisiones y transmisiones en forma de luz, que con cable de cobre nunca se alcanzarían con tal fidelidad.

La luz sólo existía como instrumento de iluminación, con su estudio se conocieron mejores cualidades para integrar su aplicación en el campo de la comunicación analógica o digital, dando paso a su aceptación en la industria, la cual con anterioridad le tenía las puertas cerradas.

Algunas preguntas acerca del límite, el alcance, sus aplicaciones y usos, limitan su aceptación, ¿Cómo se origina?, ¿De donde proviene?, ¿Qué elementos la constituyen?, ¿Los enlaces son útiles a 60 Km? o ¿Cuál es la distancia máxima de enlace?, lo anterior hizo necesario, un estudio más detallado de la óptica como materia de comunicación para alcanzar su inclusión en las comunicaciones marítimas.

En su análisis hay un desarrollo favorable, pero los centros de investigación no cuentan con la difusión suficiente para su engrandecimiento, debe quedar de manifiesto el acercamiento con las empresas que se dedican a su aplicación, con el objeto de contar con la información más reciente relacionada a los últimos avances alcanzados con fibra óptica.

Con el propósito de promover, propongo como objetivo general de esta tesis la descripción, explicación y desarrollo de conceptos, características y componentes indispensables involucrados en un sistema con fibra óptica, los pasos para su diseño y la estructura de un sistema de comunicación compuesto por dispositivos que transmiten la información en forma de luz.

Con la investigación y el fomento del uso de la fibra óptica, se inicia una manera distinta de ver las comunicaciones, logrando su apertura en laboratorios, la aplicación de conceptos teóricos característicos de comunicaciones ópticas en cursos que apoyen su estudio y la aceptación en los centros de aprendizaje superior que aún no la conocen o van iniciando su desarrollo.

Este tipo de información resuelve la inquietud de conocer en cuanto apoya al área de Ingeniería su expansión o disminución por aplicación y el engrandecimiento en sistemas de comunicación cuando utilizan el desplazamiento de señales en forma de luz a través de fibra de silicio para el intercambio de información, además de hacer una atenta recomendación a otras áreas profesionales (medicina, potencia y automatización) de incluirla en programas para ayuda y solución de problemas.

A continuación, son definidos los objetivos particulares que enmarcan el enfoque para la elaboración de este documento:

1. – Descripción y difusión de conceptos, fenómenos y características elementales para el lograr el correcto manejo de sistemas de comunicación compuestos por fibra óptica o por elementos con características ópticas.
2. – Descripción y explicación de dispositivos que integran la planeación y organización en el diseño óptico característico de un sistema de comunicación óptico.
3. – Definir los componentes electrónicos contemplados en un sistema de comunicación óptica y los factores que afectan su operación, mencionando el protocolo de comunicación para su ejecución.
4. – Aportar información para consulta y apoyo en la comprensión de los sistemas de comunicación que no utilizan en su diseño cables de cobre, encontrando en el transporte de la luz su principal función.

El resumen que a continuación se presenta, es una reseña de los puntos que integran este documento:

Capítulo I. Proporciona amplia información acerca de las propiedades de la fibra, los parámetros que la caracterizan, su clasificación, los tipos de fibra existentes, su estructura, el fenómeno que define su aplicación, los cuidados necesarios en su manejo para su instalación y las consideraciones acerca de la atenuación.

Capítulo II. En este capítulo se proporciona información acerca del cálculo y conformación de un sistema de comunicación óptica, se estudian los factores que determinan su estructura, así como las especificaciones técnicas de cada uno de los dispositivos de transmisión y recepción, cálculo del ancho de banda y se finaliza con la elección de los componentes que cuentan con las propiedades específicas de un sistema óptico, en particular (módulo transmisor, receptor y regeneradores, estos últimos en caso de utilizarse).

Capítulo III. Se ilustran los procedimientos necesarios para una comunicación óptica, para hallar la mejor opción en el envío de información en forma de luz, de manera sencilla y eficaz, agregando las cualidades del protocolo a utilizar (establece orden a la comunicación), señalando los dispositivos encargados de su manipulación (señales de transmisión y recepción), la selección del módulo transmisor-receptor y el tipo de fibra sugerido para su aplicación con características de protección a la intemperie, limitando posibles daños por cambios mecánicos y/o eléctricos.

TEMA 1. CONCEPTOS BASICOS DE LA FIBRA OPTICA

1.1 Propiedades

El avance tecnológico desarrollado a partir de 1958 en el área de las comunicaciones ópticas, ha sido demasiado revolucionario y costoso, en la búsqueda de un medio de comunicación definido y exacto, que minimice la atenuación y evite errores en la comunicación, el enfoque estuvo centrado en el estudio de la luz para dar forma a la señal de transmisión encontrando una función importante en la estructura de un sistema de comunicación óptica.

La fibra óptica representa un medio que maneja el envío de información en forma de luz; datos, voz e imagen, fabricado actualmente con polímeros.

Su antecesor es la fibra de silicio, utilizada y descubierta por los doctores Kao y Hoffman en el año de 1966, en su artículo "Dielectric-fibre surface waveguide of optical frequencies", en el que se proponía el uso de la luz para transmitir información a través de ella.

A continuación, se enuncian algunas características relevantes en cuanto al uso de la fibra óptica en sistemas de comunicación.

1. - La fibra óptica cuenta con un gran ancho de banda lo que supone el manejo, de mayor información por conductor, a lo considerado con medios convencionales (cable aislado con cobre). Alcanzando valores desde cientos de Mhz hasta decenas de Ghz.
2. - La atenuación presente en la fibra es independiente a la velocidad de transmisión que se esté explotando, esto no ocurre en cables de cobre convencionales, por que en ellos es más alta la atenuación cuanto mayor es el régimen binario o la velocidad de transmisión (Mb/s). La fibra óptica es adecuada en virtud a su característica, para transmitir las más altas jerarquías digitales. Sin embargo presenta cierta atenuación debida a sus propiedades físicas que además, es variable con la longitud de onda de la señal que la atraviesa. Esta atenuación es mínima para determinadas longitudes de onda llamadas ventanas de transmisión situadas en, las zonas de 800 - 900 nanometros (nm), 1200 - 1300 nm y 1500 - 1600 nm.

Los primeros sistemas comerciales (1977) se ubican en la región de los 850 nm, en gran parte a causa de la no-disponibilidad de láseres y detectores para longitudes de onda mayores, la velocidad binaria era de 45 Megabits/segundo

(Mb/s) y los regeneradores intermedios distaban entre sí unos 6 Kilómetros (Km).

A medida que se dispuso de láseres más eficientes, se comenzaron a implantar los primeros sistemas a 1300 nm, longitud de onda que proporcionaba cifras más bajas de atenuación, llegando actualmente hasta los 1550 nm con velocidades comerciales de 565 Mb/s (5ª Jerarquía Digital) empezando a considerar los primeros sistemas a 1200 Mb/s. Los sistemas de la 5ª Jerarquía permiten transmitir por cada fibra 7680 canales de comunicación simultánea con una distancia entre regeneradores superior a los 50 Kms., mostrado en la figura 1.1

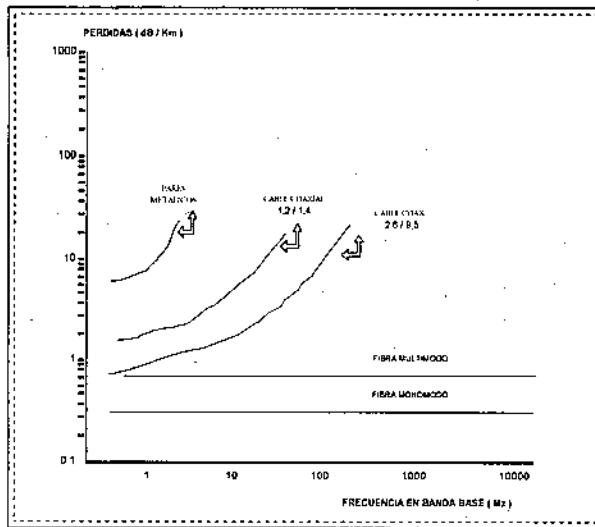


Figura 1.1 Atenuaciones en diversos medios de transmisión

3. - La fibra es inmune al ruido y a interferencias por ser un medio dieléctrico, esta propiedad ayuda a su inclusión en muchas aplicaciones, sobre todo cuando el cable pase por zonas donde están instalados sistemas de alta tensión.
4. - La información que viaja por la fibra no se puede detectar, aunque si interceptar porque la luz no es sensible a ningún fenómeno de tipo inductivo por la configuración de su campo electromagnético. Esto explica que cerca del 10% de la producción mundial de fibra está destinada a instalaciones militares.

5. – La fibra presenta dimensiones más reducidas que los medios preexistentes, lo que se traduce como economía de transporte. Un cable de 10 fibras tiene un diámetro aproximado de 8 o 10 mm, proporcionando la misma información o mayor que, un cable coaxial de 10 tubos. Resulta, por tanto, que el número de enlaces y circuitos por unidad de volumen ocupado en la fibra es muy superior a los utilizados en un cable coaxial.
6. – El peso del cable de fibras ópticas es inferior al de los cables metálicos, reduciendo facilidad en su instalación (aproximadamente de 50 a 200 Kg/Km. y bobinas que son de una longitud que va desde los 2 hasta los 6 Km, mientras que en el cable coaxial, debido a su peso solo llegan hasta los 300 m).
7. –La fibra óptica presenta un desenvolvimiento uniforme desde -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ sin degradar sus características, al contrario de lo que ocurre en los cables metálicos, la atenuación depende de su resistencia, y ésta, a su vez, de la temperatura.
8. – La materia prima con la que es fabricada es abundante en la naturaleza (es el 30% de la superficie terrestre), y lleva a los costos sistemáticamente a la baja mejoran los procesos tecnológicos, esto no ocurre con el cobre, cuyo precio depende fundamentalmente de las reservas metalúrgicas.

La tabla 1.1 ilustra datos comparativos entre un cable de 16 fibras y un cable coaxial de 8 tubos, apreciando las ventajas de este medio de transmisión.

Características	Fibra Óptica	Cable Coaxial
Precio (Milpesetas / Km)	0,9	6,6
Longitud de la bobina (m)	3.000,0	300,0
Peso (kg/km)	190,0	7.900,0
Diámetro (mm)	14,0	58,0
Atenuación (dB/km) para un sistema a 565 Mb/seg.	0,4	40,0
Distancia entre repetidores (km)	40,0	1,5

Tabla 1.1 Comparación entre un cable de 16 fibras y un cable coax. D. N. de 8 tubos

1.2 Parámetros

La fibra óptica es el medio de transmisión usado para el traslado de información analógica o digital de un punto a otro, los principios de su funcionalidad se justifican de forma clara, por hacer uso de las leyes de la óptica geométrica; está compuesta por una región cilíndrica en la cual se propaga la luz (núcleo) y por una zona externa que protege a la misma, evitando la fuga de información (con forma de luz), fuera de ella denomina envoltura o revestimiento.

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- a) Del diseño geométrico de la fibra.
- b) De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración (diseño óptico).
- c) De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuando mayor sea esa anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

Cuando los índices de reflexión y refracción tienen valores apropiados, se mantiene la reflexión total en el medio (desplazamiento ideal de la señal en la fibra) fenómeno que mantiene el índice de refracción constante a lo largo de la fibra. Estas condiciones de reflexión total en la fibra aparecen en la figura 1.2.

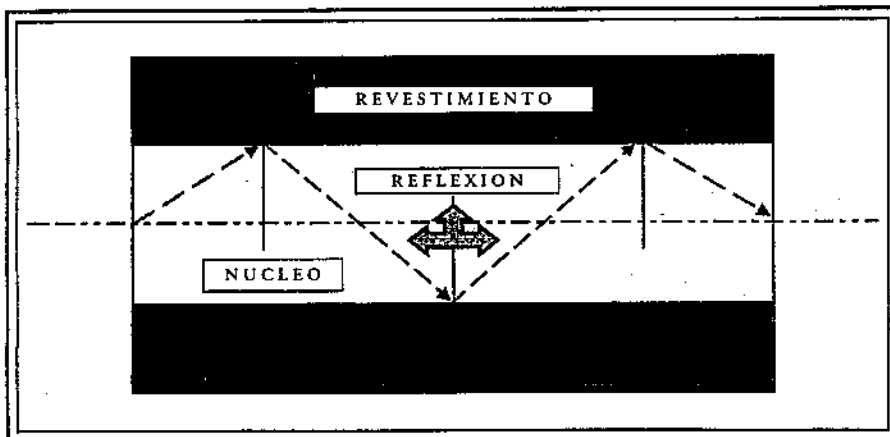


Figura 1.2 Condiciones de reflexión.

La tabla 1.2 reúne los parámetros estáticos (ópticos, geométricos) y dinámicos (atenuación, dispersión temporal) que caracterizan a este medio de transmisión.

1. – Parámetros estáticos. Son constantes a lo largo de la fibra, las tolerancias propias de fabricación están referidas a, las características ópticas y geométricas de la misma, de las cuales figuran:

Perfil del índice de refracción. Define la variación del mismo, su referencia es la velocidad de la luz en el medio para cada punto, además de las veces en las que se refracta la señal, dando paso a la transmisión de la señal a velocidades distintas en diferentes puntos.

Apertura numérica: determina la cantidad de luz que pueda aceptar una fibra y, en consecuencia, la energía que puede transportar, no depende de la calidad en la información enviada.

Parámetros geométricos (diámetros y excentricidades) están determinados por la tecnología usada en la fabricación de las fibras y las tolerancias correspondientes son consecuencia de la misma.

Parámetros estáticos	Ópticos	Apertura mecánica Perfil del índice de refracción
	Geométricos	Diámetro del núcleo Diámetro del revestimiento Excentricidad No circularidad del núcleo No circularidad del revestimiento
Parámetros dinámicos	Atenuación	Intrínseca a la fibra Por causas extrínsecas
	Dispersión Temporal	Dispersión modal Dispersión del material Dispersión por efecto guíaondas

Tabla 1.2 Parámetros característicos de las fibras ópticas

2. - Los parámetros dinámicos son característicos de la fibra y afectan la progresión de la señal a lo largo de la misma. Estos son:

a) La atenuación. Su conceptualidad en el área de la óptica no es semejante a la definición para conductores metálicos, debido a que la frecuencia no depende de los componentes espectrales de la señal, sino a la longitud de onda de la luz (señal portadora) en la misma.

Los mecanismos que provocan esta atenuación deben su origen a causas intrínsecas en la propia fibra, a su constitución física o a factores externos a la misma tales como, procesos de fabricación, envejecimiento del material y al tendido de cable.

b) La dispersión temporal. Es causa de las características dispersivas de la fibra y se aprecia a medida que la señal avanza al transcurrir el tiempo, ya que provoca ensanchamientos en los pulsos a lo largo de su recorrido y en consecuencia, se deforman los mismos acarreando errores que, en definitiva, limitan la velocidad de información en una región de la fibra viable para su transporte.

1.3 Clasificación

Las características y parámetros elementales inmiscuidos en el estilo de trabajo de este medio(f.o.) están establecidas, su clasificación está atendida por, los diferentes modos a manejar, seguido de propiedades ópticas, geométricas y dinámicas específicas con las que cuenta iniciándose de la manera siguiente:

- Por la aplicación a la que se destine, se precisa el uso de fibras ópticas de alta o media calidad.
- Por el perfil del índice de refracción constante o variable, atendiendo en cada caso a las características de transmisión que se van a mejorar.
- Por el número de modos transmitidos, fibra monomodo o multimodo.
- Por los materiales del núcleo, revestimiento y su composición.

Normalmente habrá que atender a varias de estas características para la elección de la fibra adecuada.

Dependiendo del tipo de aplicación destinado a la fibra, y en función de su más frecuente uso, las comunicaciones se pueden considerar en dos grupos:

1. – Fibras de alta calidad para enlaces de telecomunicaciones.
2. – Fibras para enlaces de corta y media distancia.

La fibra óptica comercialmente se fabrica con núcleo compuesto por elementos químicos con transparencia muy fina (silicio) y de plástico, la primera es útil para cualquier área de las comunicaciones, mientras que la segunda tiene restricciones por la generación de atenuación que, alcanza los valores de cientos de dB/Km limitando su aplicación sólo en la medicina, en el área automotriz y en el área de la instrumentación.

En resumen, para fibras de alta calidad se utiliza el silicio, mientras que para el resto se emplean fibras con núcleo de vidrio policomponente.

La tabla 1.3 muestra los materiales que componen el núcleo y revestimiento de fibras ópticas utilizadas en el envío de información (señal en forma de luz).

		Fibra de Silicio	Fibra de Vidrio Policomponente
Composición	Núcleo	Oxidos de silicio, germanio, boro y fósforo	Oxidos de silicio, sodio, calcio y germanio
	Revestimiento	Oxidos de boro, silicio y fluoruros de silicio	Misma composición que el núcleo
Materiales	Núcleo	Tetracloruros de germanio y silicio y tricloruros de fósforo y boro	Tetracloruro de silicio y nitratos de calcio y sodio
	Revestimiento	Tetracloruro de silicio, tetrafluoruro y hexafluoruro de silicio	Misma composición que el núcleo

Tabla 1.3. – Materiales y composición

De la clasificación anterior, se distinguen principalmente las fibras monomodo y multimodo, estas últimas de índice gradual. Por su ancho de banda amplio, las fibras monomodo se aplican en enlaces de larga distancia para el manejo de grandes flujos de información (cables submarinos) y en enlaces inter-urbanos a 140 Mb/s.

La fibra multimodo de alta calidad se utilizó con anterioridad a las monomodo, al ser incluida para enlaces telefónicos, principalmente en las redes urbanas a velocidades de 34 y 140 Mb/s. Para estas aplicaciones eran suficientes fibras con anchos de banda inferiores a 1000 Mhz—Km tecnológicamente viables entonces.

Fibras de alta calidad

a) Fibras Multimodo

El núcleo y el revestimiento son de silicio, el núcleo está dopado de tal forma que el índice de refracción presenta una forma casi parabólica (Fig. 1.3) Por lo que la apertura numérica teórica máxima, oscila entre 0.18 y 0.23 para fibras trabajando en la región de 850 nm y entre 0.15 y 0.20 para fibras usadas con transmisiones ópticas en la región de 1300 nm. En cualquier caso el valor nominal no suele diferir en más de 0.02% del valor real.

Las especificaciones de los largos de fabricación son referidas únicamente a los parámetros de transmisión ya que las características geométricas y ópticas, se ven escasamente afectadas por el proceso de cableado.

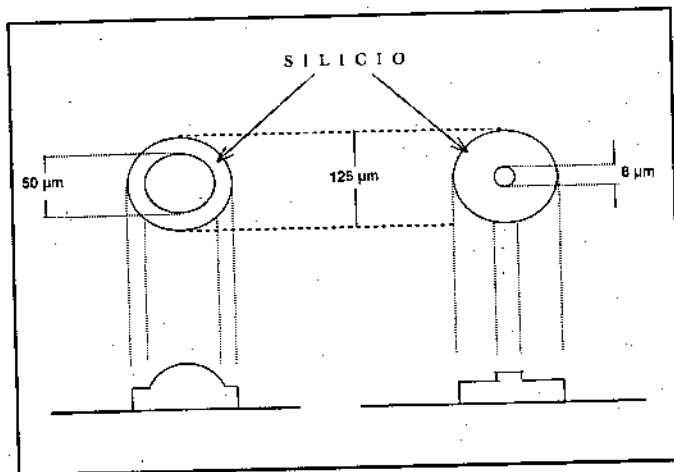


Figura 1.3. Fibra multimodo

Las características comerciales más habituales hasta el momento, están mostradas en la tabla 1.4.

Parámetro	Valores típicos
Perfil de índice del núcleo	Gradual
Diámetro del núcleo	50 μm ± 3μm
Diámetro de la superficie de referencia (revestimiento)	125 μm ± 3μm
Error de concentricidad	± 6 %
No circularidad	± 6 %, equivalente al 2 % de la superficie de referencia
AN teórica máxima	0.18 ÷ 0.25 (850 nm)
	0.15 ÷ 0.20 (1300 nm)
Coeficiente de atenuación (dB/Km)	2.5 ÷ 4 (850 nm)
	0.8 ÷ 3 (1300 nm)
Ancho de banda intermodal (MHz.Km)	200 ÷ 1000 (850 nm)
	200 ÷ 1200 (1300 nm)
Dispersión de material (ps/Km.nm)	• 100 (850 nm)
	• 6 (1300 nm)
Tracción continua (Nw/mm ²)	350

Tabla 1.4. Características típicas de fibras multimodo

Las características de transmisión dependen acusadamente de la longitud de onda de ahí que, al especificar las características de la transmisión conviene indicar las condiciones de medida; en el margen de 10° a 35° C no suelen apreciarse cambios en los parámetros de transmisión, en la tabla 1.5 se indican las categorías de fibras multimodo según las recomendaciones G.651 del CCITT.

Longitud de onda (nm)	Categoría	α (dB/Km)
850	1	≤ 4.0
	2	≤ 3.5
	3	≤ 3.0
1300	I	≤ 3.0
	II	≤ 2.0
	III	≤ 1.5
	IV	≤ 1.0
	V	≤ 0.8

Tabla 1.5. Categorías de la fibra multimodo

En lo referente a la dispersión cromática, es costumbre solicitarlo al fabricante (para cada tipo de fibra y en la región de trabajo) junto con el método de medida. Los valores típicos para fibras de SiO₂ de alta calidad pueden considerarse $\leq 80 - 120$ ps/Km.nm para la región de 850 nm, y $\leq 4 - 6$ ps/Km.nm para la región de 1300 nm; las categorías de fibras multimodo por el ancho de banda según la recomendación G.561 del CCITT, se establecen en la tabla 1.6.

Longitud de onda (nm)	Categoría	α (dB/Km)
850	1	≤ 200
	2	≤ 500
	3	≤ 800
	4	≤ 1.000
1300	I	≤ 200
	II	≤ 500
	III	≤ 800
	IV	≤ 1.000
	V	≤ 1.200

Tabla 1.6. Categorías de la fibra multimodo

b) Fibras Monomodo.

Los cables de fibras monomodo se utilizan con mayor frecuencia a las multimodo en las redes de telecomunicación. Las aplicaciones previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en:

- La naturaleza del perfil del índice de refracción;
- La longitud de onda de funcionamiento;
- Las características geométricas y ópticas.

Para materializar una fibra monomodo se pueden adaptar diversas configuraciones de perfil de índice, en cuyo caso, la especificación de los largos de fabricación de cable se refiere únicamente a los parámetros de transmisión, ya que las características ópticas y geométricas no son afectadas al tender el cable.

Las características de transmisión dependen sensiblemente de la longitud de onda.

A la fecha, se ha trabajado y estudiado en el margen de los 1300 nm (segunda ventana) para que en un futuro las fibras sean idóneas en el margen de la 2ª y 3ª ventana. Considerando los trabajos realizados en los 1550 y 1850 nm estas deben permanecer inalterables en un margen de 10° a 35° C, típicamente.

En concreto, el valor máximo de la dispersión total a 1300 nm no debe superar los 6 ps/Km.nm. Si fuese preciso, podría tolerarse una dispersión de 18 ps/Km.nm en la región de 1550 nm para fibras optimizadas en la región de 1300 nm. Los parámetros más habituales de este tipo de fibras son los que se indican en la tabla 1.7.

Fibras para enlace de corta y media distancia.

Es posible clasificarlas en función de dos grandes bloques de aplicación: enlaces para servicios de banda ancha en área de abonado (que pueden requerir productos "ancho de banda - distancia" del orden de 100 a 300 Mz-Km) y aplicaciones de corta distancia y/o baja capacidad (con productos "anchura de banda - distancia" inferior al orden de 10 a 40 MHz-Km)

Parámetro	Valores típicos
Diámetro del núcleo	$4 < 2a < 11 \mu\text{m}$
Diámetro de la superficie de referencia (revestimiento)	$125 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$
Índices de refracción medidos a 633 nm	$N_{\text{SiO}_2} \geq 1,457$
	$N_{\text{GeO}_2} \geq 1,603$
	$N_{\text{P}_{205}} \geq 1,520$
Diámetro del campo modal	$8 \div 10 \mu\text{m}$ (1300 nm)
	$8 \div 12 \mu\text{m}$ (1550 nm)
Error de concentricidad del campo modal	$0.5 \div 2 \mu\text{m}$
Desviación de circularidad del revestimiento	$2 \div 3 \%$
Longitud de onda de corte efectiva	$1100 \div 1250$ (1300 nm)
	$1200 \div 1500$ (1550 nm)
Coeficiente de atenuación (dB/Km)	$< 1 \div 1.5$ (1300 nm)
	< 0.4 (1550 nm)
Dispersión total para fibra optimizada en la región de 1300 nm (ps/Km.nm)	< 6
Tracción continua (Nw/mm ²)	350

Tabla 1.7. Características típicas de fibras monomodo

Fibras para redes de abonado de banda ancha

Es posible usar fibras de índice gradual, pero resulta con mayor ventaja el uso de fibras con diámetro de núcleo y apertura numérica mayores, como por ejemplo las de $65/125 \mu\text{m}$ o incluso $100/140 \mu\text{m}$.

Al incrementar el diámetro del núcleo y la apertura numérica se logra una ventaja doble:

- Las herramientas y métodos de conexión se simplifican.
- Las pérdidas de acoplamiento entre la fuente óptica y la fibra se reducen. De este modo es viable usar transmisores con LED, que simplifican y abaratan las terminales de abonado.
- Los materiales y métodos de fabricación de estas fibras son similares a las de alta calidad.

Fibras para corta distancia y pequeña capacidad

Son fibras con diámetro de núcleo y revestimiento relativamente altos, útiles para aplicarse en redes locales, en oficinas para enlaces entre ordenadores, transmisiones de datos, aplicaciones militares, en telecontrol y teledidax. En general, para toda aplicación donde el producto ancho de banda-distancia necesaria esté entre 5 y 40 Mhz-km.

Hay dos grupos de fibras: las de revestimiento plástico y núcleo de SiO_2 , y las de núcleo y revestimiento de vidrio, con perfil en alto índice. Las fibras con núcleo de SiO_2 y revestimiento plástico son particularmente inmunes a las radiaciones electromagnéticas, por lo que resultan ideales en aplicaciones específicas de tipo militar, industrial o médico.

1.4. – Estructura.

Para la fabricación de guía óptica (fibras) pueden utilizarse distintas materias primas, aun cuando su clasificación puede resultar un tanto imprecisa. De manera genérica, se determina que pueden tratarse de elementos naturales o sintéticos, pero en su totalidad los materiales artificiales se consiguen a partir de los de origen natural por medio de procedimientos polimerizantes.

La clasificación que se usó en el párrafo anterior es incorrecta, a partir del sistema que utiliza la industria textil; la intención es, mostrar la diferencia entre los hilos acrílicos y polímeros contenidos en la lana natural.

La materia prima natural de mayor uso es por lo regular el silicio (SiO_2), se presenta bajo varios aspectos encontrándose en estado natural o integrando otros materiales en forma de depósitos; procedentes de la erosión, en este caso es arena común, el silicio se emplea en calidad de materia prima para la fabricación del vidrio y se refina debidamente para obtener cristales.

El cuarzo, de transparencia más limitada se utiliza para la transmisión de la luz ultravioleta dado que el vidrio no puede transmitir longitudes de onda tan cortas.

Se caracteriza por su extrema fragilidad, debido a que se rompe (cuarzo) a lo largo de las aristas de sus cristales. Para prevenir esto, se reviste con Teflón, pues en la actualidad se carece de vidrio apropiado para ser combinado con él.

Las fibras ópticas obtenidas mediante proceso sintético son de mayor eficacia que las derivadas del vidrio, son fabricadas a partir de materiales poliméricos, bien sea por extrusión o por hilatura, en diversas marcas.

Por otra parte conociendo el arreglo de la fibra para su aplicación, la estructura del cable óptico puede ser seco o relleno de alguna sustancia hidrófuga su cubierta, puede estar constituida por sustancias más apropiadas dependiendo del uso al que este destinado, ya sea para cable aéreo, sumergido, enterrado, para inmueble, avión, navío, todo terreno, vía férrea, túnel y galería de mina.

La longitud y empleo adecuado del cable depende del tipo de fibra, a su calidad y futuro empleo. En algunos casos, se han utilizado cables mixtos que comprenden con las guías ópticas, algún conductor metálico de alimentación para uno o varios repetidores – regeneradores. Otros modelos hacen uso de un refuerzo de extrema flexibilidad muy elástico compuesto por un elemento plástico o de varios hilos de acero recubiertos de barniz, a fin de preservarlos de la oxidación. La figura 1.4

muestra un cable multifibra en el que cada grupo de fibras está dispuesto con protección holgada.

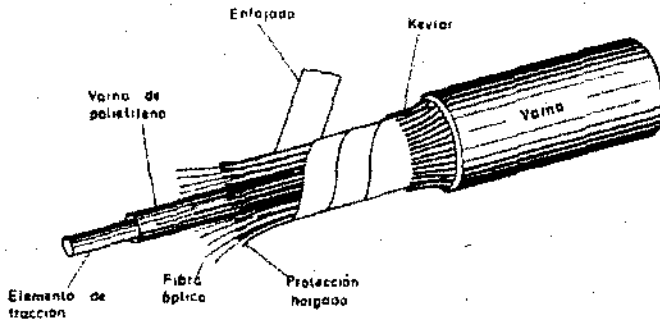


Figura No. 1.4. Cable multifibra con protección holgada

Estructura clásica

Los fabricantes de cables han aplicado a las fibras ópticas técnicas tradicionales para su fabricación. La figura 1.5 muestra un cable conductor con dos guías ópticas y revestimiento secundario en resina fluorada, seguido de componente resistente a la tracción llamado Kevlar, componente plástico producido por Du Pont de Nemours, y de la misma procedencia es fabricada la cubierta exterior a base de Hytrel, este material puede obtenerse en España a través de la firma Ralocar.



Figura No. 1.5. Conductor tradicional con dos guías ópticas

La estructura clásica de un cable óptico se ilustra con la figura 1.6, estructura cilíndrica en compartimientos donde cada fibra está protegida por un tubo de poliuretano. El conjunto se halla rodeado por una vaina de polietileno, una cinta de aluminio y un revestimiento de teflón.

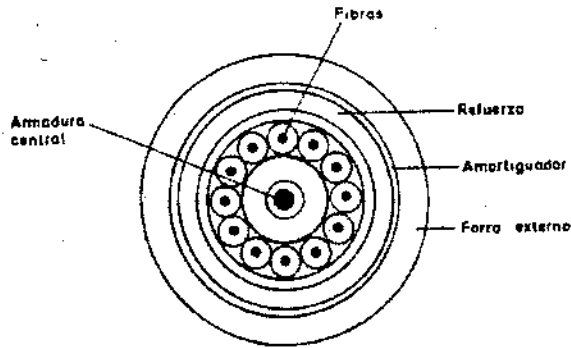


Figura No. 1.6. Cable óptico de estructura cilíndrica.

Este tipo de cable óptico se caracteriza por una protección de gran efectividad y apropiado para conducciones subterráneas, caracterizándose así mismo, por su elevada resistencia mecánica tanto a la tracción, como a la compresión, pero el empleo de metal y el proceso de conexión, aumentan su costo lo que determina que su adopción quede reservada a aplicaciones especiales.

Procedimiento para formar estructura de cinta

Los primeros cables de este tipo se realizaron por los Laboratorios Bell y hacen posible una notable densidad en la fibra. Se menciona como ejemplo el tipo 144 en el que hay dispuestas 12 cintas cada una de ellas con diámetro total de 12 mm; es oportuno especificar, que una cinta de material plástico presenta cierta cantidad de ranuras longitudinales y cada una de ellas funciona como un receptáculo para una fibra. Lo anterior se muestra en la figura 1.7

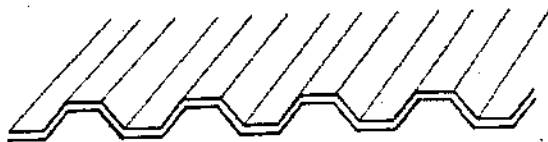


Figura No. 1.7. Sección de cintas receptáculo para fibras

En la figura 1.8 se ilustra la modalidad de confección y la presentación de las fibras, en el interior de la cinta.

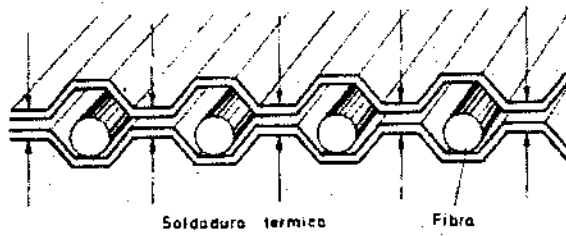


Figura No. 1.8. Confección de la cinta.

El conjunto de fibras se dispone en grupos de cinco, seis o doce cables, revistiéndose cada cinta con material aislante de características adecuadas en la forma apreciable en la figura 1.9.

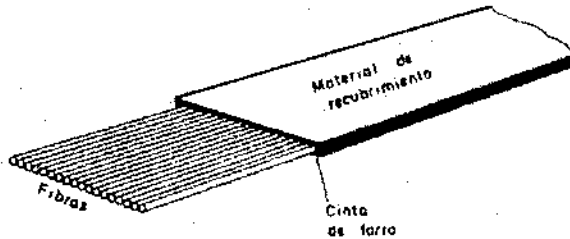


Figura No. 1.9. Revestimiento aislante de las cintas

A continuación las cintas se enrollan de forma helicoidal en un forro exterior de muy elevada fortaleza, indicado en la figura 1.10. La ventaja de esta estructura consiste en la posibilidad de realizar la conexión global de un elevado número de fibras a un tiempo.

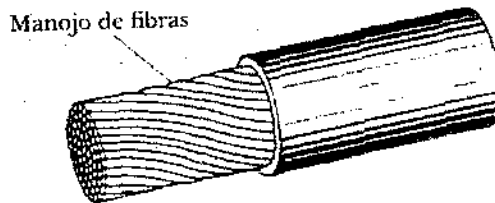


Figura No. 1.10. Arrollamiento helicoidal de cable óptico de cintas

Dentro de los procedimientos de fabricación de los cables ópticos hemos de mencionar que resulta bastante común adoptar cintas de aluminio ondulado (es el metal que ofrece las ventajas de extrema ductibilidad), lo que posibilita obtener láminas extremadamente delgadas con absoluto diamagnético y reducido precio.

Estructura helicoidal ranurada.

Dispuesto alrededor de un material que sirve como refuerzo central previsto para soportar la tracción aplicada al cable, existe un portador cilíndrico con ranuras helicoidales, en las que se disponen las fibras (ópticas) de manera holgada, recubiertas con una capa de espuma de poliuretano. Este portador está rodeado por una cinta liviana y el conjunto se resguarda con protección de PVC resistente a la presión mecánica.

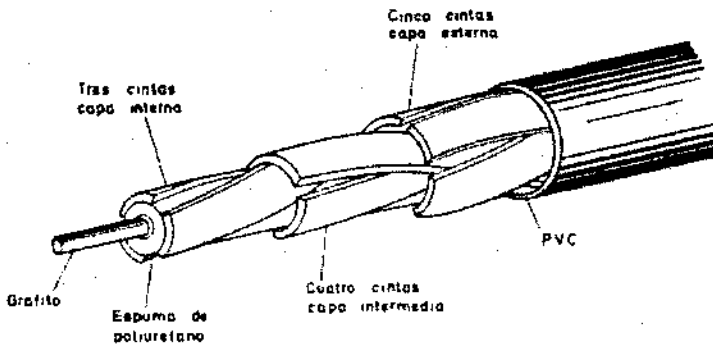


Figura No. 1.11. Cable con estructura helicoidal.

En la figura 1.11, la estructura helicoidal ranurada, ofrece notables ventajas al conjuntar una reducción de tamaño con la protección simultánea de las fibras; en el caso de que se aplique al cable una tracción mayor, permitirá su alargamiento y los refuerzos longitudinales soportarán una fuerte retracción, en tanto que la estructura helicoidal disminuye el diámetro sin iniciar modificación alguna a la longitud curvilínea, sin que las fibras tengan problema alguno por los efectos de la tracción.

1.5. – Conducción de la señal

Desde tiempos remotos el hombre viene utilizando señales de humo y luz como medio de comunicación, relacionados al encendido de una hoguera o el empleo de espejos para reflejar los rayos del Sol (base de la heliografía y corriente en náutica), el otro método forma parte del principio de sistemas con características eléctricas.

El método más antiguo es el "Fotofono", ideado por Alejandro Graham Bell escocés emigrado a América inventor del teléfono que, de manera paralela, realizó muy profundas investigaciones fundamentadas en la transmisión del sonido por medio de la luz, es por ello, que se le considera pionero y precursor de esta rama.

En este sistema se capta la luz del Sol que por medio de un espejo era transferida a una célula fotovoltaica de selenio, elemento en el que, al incidir los fotones se originaba una corriente eléctrica y generaba señales acústicas.

La presión generada por las ondas sonoras ponía en movimiento el espejo, estableciendo una modulación por medio de la cual era posible variar la cantidad de luz que llegaba a la célula, consiguiendo modificar la intensidad de la corriente producida.

No tenemos información que ayude a describir la forma de transmisión a larga distancia pulsos eléctricos, producidos por la luz. Pero no hay duda que en aquellos tiempos, eran conocidos los medios con los que se contaba, el inconveniente consistía en hallar el modo adecuado para la conducción de estas excitaciones que, requerían ser efectuadas por medio de cables metálicos.

El principio de operación en las fibras ópticas, es totalmente opuesto a este medio transmisor dado que las ondas luminosas son las que pasan a través de su núcleo y para evitar obstáculo en la trayectoria de propagación, es indispensable que este conductor ofrezca la mínima oposición a su paso.

Muchos de los aparatos de uso que utilizan corriente eléctrica en la actualidad, son el resultado de arduas investigaciones. Hace más de cincuenta años pasó algo parecido al iniciar el estudio de las propiedades en fibras ópticas, pero no era posible su aplicación industrial debido al alto costo y hasta la fecha, no pueden resolver los problemas que impiden su aceptación en el campo de la electrónica.

La fibra por la que ha de circular la luz debe ser extremadamente luminosa, de tal transparencia que, en comparación con los cristales empleados en los balcones y ventanas de un edificio sean calificados de opacos, así como de la más extrema finura: en todo caso, adecuada a la finalidad que se le destine.

En el transcurso de las investigaciones se llegó a realizar lámparas ornamentales a base de hilos de plástico a los endoscopios, cuyo componente conductor es también una fibra óptica, estos hilos todavía resultaban extremadamente gruesos en comparación con los requeridos en telefonía, donde el valor del diámetro no sobrepasa las milésimas de milímetro.

En 1966 las fibras ópticas todavía resultaban inapropiadas para enlace de comunicación, al no permitir más que una cantidad reducida de información y la atenuación era del orden de 1000 decibelios por kilómetro, lo que equivale a decir que a cada diez metros, la luz perdía casi nueve décimas partes de su potencia. Adoleciendo de extrema fragilidad.

A partir de estos momentos se han conseguido notables progresos ya que las pérdidas pueden valorarse en menos de tres decibelios por kilómetro. Por otra parte se consiguió que los cables de fibras ópticas sean prácticamente irrompibles como resultado del uso de nuevas estructuras; de manera similar, la banda de frecuencias que ocupa ha ganado amplitud, permitiendo la transmisión simultánea de más de cuarenta canales de televisión.

Para comprender de qué manera estas fibras de material transparente consiguen encaminar la luz para guiarla, es bueno recurrir nuevamente a los principios de refracción y reflexión, para ello es de utilidad la figura 1.12, en donde se determina gráficamente que cuando un rayo luminoso pasa de un medio con densidad mayor a otro de menor densidad – es decir, con un índice de refracción más reducido – la señal es desviada de su trayectoria, apartándose de la normal en la superficie de separación y, de manera contraria, cuando el rayo pasa de un medio de menor densidad a otro más denso, sigue exactamente el mismo sentido, pero con dirección opuesta, es decir, que el rayo refractado se aproxima a la normal en la superficie de separación.

A cada ángulo de incidencia le corresponde un ángulo de refracción, el cual varía en función del salto de índice, determinado por la diferencia de índices entre los dos medios.

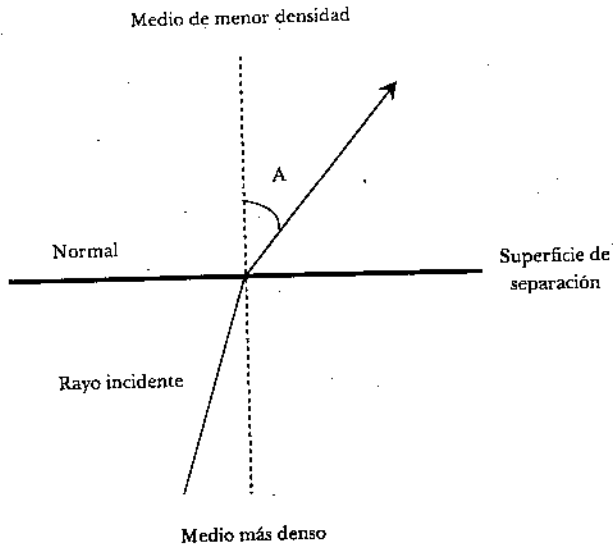


Figura 1.12 Paso de un rayo luminoso de un medio más denso a otro de menor intensidad óptica.

Al aumentarse el ángulo de incidencia hasta un valor crítico, el rayo ya no atraviesa la superficie divisora, reflejándose en el interior, como se muestra en la figura 1.13 formando un ángulo de reflexión similar al ángulo de incidencia.

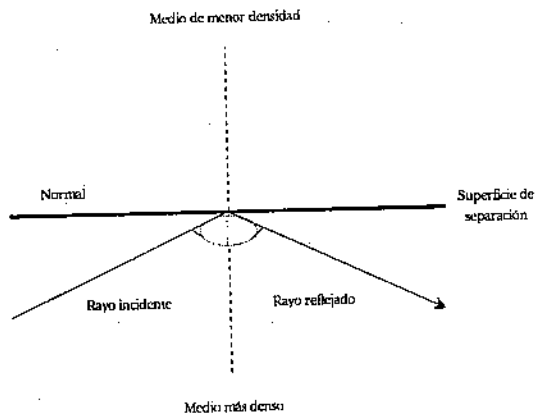


Figura 1.13 Ángulo de reflexión al aumentarse el ángulo de incidencia.

Una fibra típica está integrada por dos capas, cada una de ellas con distinto índice de refracción, donde el núcleo tiene un índice de refracción más elevado que el revestimiento a causa de esta diferencia, la luz transmitida se mantiene propagada en medio del núcleo, logrando una reflexión total interna ilustrada en la figura 1.14.

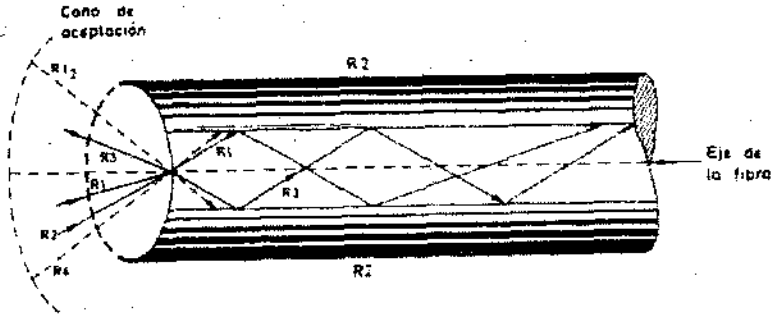


Figura 1.14 Reflexión total interna en la fibra óptica.

1.6. – Dispersión

Los rayos luminosos insertados en una fibra óptica disponen en todo momento de libertad, traducida en grados para su progresión, hacia el extremo opuesto (receptor).

En el medio óptico (fibra), esta considerada la posibilidad de que la señal siga caminos diferentes (fenómeno característico en fibras multimodo), originando en cada punto cambios a su velocidad, con el propósito de variar el índice de refracción (depende de la longitud de onda) ocasionando el ensanchamiento temporal de los pulsos que es acumulable con la distancia.

A lo anterior se suman los fenómenos de ensanchamiento a causa de las distintas estructuras ópticas y geométricas de las fibras.

Todo este conjunto de efectos conforma el parámetro secundario característico de las fibras: LA DISPERSION.

La dispersión se deriva de la capacidad máxima por unidad de longitud con la que se puede transmitir a través de la fibra, por lo que se mide en términos de retardo relativo o de la máxima frecuencia admitida. La frecuencia depende del tipo de señal a transmitir (Señal digital o analógica).

La dispersión es acumulativa a lo largo de la fibra, la capacidad de transmisión se mide en Hz/m, por lo que la cantidad de información que admite se puede aumentar, disminuyendo el ancho de banda óptico o incrementando el valor a la longitud de onda.

Lo anterior se logra cuando el elemento utilizado para la emisión de la señal es preferentemente el diodo láser y no el LED, además del empleo de ventanas (de tiempo) cada vez más grandes.

Para avanzar a una ventana adicional es necesario hacer un cambio de componentes ópticos (transmisores y receptores) por otros, con características mejores, sobre una fibra instalada para originar un aumento en la capacidad del sistema, en el intercambio de información de forma óptica.

El efecto de dispersión total se define de tres maneras, clasificadas en la forma siguiente:

- a) Dispersión modal,
- b) Dispersión espectral, intramodal o del material,
- c) Dispersión por el efecto de una guía de onda.

Dispersión modal

Las distintas velocidades y direcciones asociados a las longitudes de onda que penetran en la fibra, permiten la propagación de diferentes modos y el número de éstos es tan alto cuanto mayor sea la libertad de recorrido.

Esto implica que dos rayos de la misma longitud de onda que incidan simultáneamente, pero con velocidades distintas, llegaran en instantes diferentes al extremo receptor.

El defasamiento entre señales (modos para transmisión) provoca la alteración entre ellas, produciendo un ensanchamiento de éstas afectando la propagación de la señal en el interior de la fibra, conocida como dispersión modal.

Dispersión espectral, intermodal o del material.

Cuando se observa cada modo de propagación sabemos que, al no ser nula la anchura espectral de la fuente óptica cada modo, propaga todas sus líneas formando un espectro correspondiente a las longitudes de onda del emisor.

Como a cada longitud de onda le corresponde una velocidad de propagación diferente tenemos dentro de cada modo, una velocidad distinta para cada longitud de onda transmitida, lo cual origina, una dispersión a causa del ancho del espectro; se denomina espectral, del material o intermodal, por referirse al fenómeno que ocurre dentro de cada modo, centralizado definitivamente en los dos tipos de fibra ya mencionadas (multimodo y monomodo)

Dispersión en el guía de onda.

Esta dispersión es conocida por su presencia en los parámetros ópticos y geométricos de la fibra, sólo afecta a las fibras monomodo, ya que en las multimodo la dispersión es muy pequeña encontrándose alejada de la frecuencia de corte; es provocado por los efectos de dispersión espectral y tiene carácter intermodal, es generada por las diferentes velocidades de los componentes en cada modo y nace del hecho correspondiente a cada longitud de onda, con un índice de refracción diferente, el ángulo que forma la trayectoria asociada a ella será distinto cambiando los caminos recorridos por estas componentes espectrales.

1.7. - Reflexión

En el subtema 1.2 (parámetros) se detalló la forma en que se propaga una señal a través del interior de una fibra óptica, argumentando la necesidad de mantener al medio lo más puro posible para desplazar la señal, el fenómeno de mayor importancia, se llama reflexión se caracteriza por la transmisión de señales, sus características son; la longitud de onda, ancho de banda, velocidad de propagación, y la ventana de comunicación (850 nm, 1330 nm) a utilizar para su transmisión.

Se concluye que, el fenómeno antes mencionado necesita que la señal a transmitir se desplace por la parte media de la fibra y el núcleo de la fibra tenga una densidad menor en comparación a la densidad del revestimiento, de esta manera, la reflexión se presentará a todo lo largo de la longitud del núcleo.

La reflexión interna total prosigue más allá del extremo de la fibra, fue determinada en una guía cuya longitud es de 1000 metros donde la reflectancia se encontrará disponible hasta una longitud aproximada a los 1060 metros, contando con 1000 puntos de reflexión por metro, determinando así que, en un kilómetro se cuenta con un millón de puntos reflectantes, se aprecia por tanto que la pérdida por punto de reflexión no llega al 0.04% de la luz recibida.

Este principio se aplica a la mayoría de las fibras ópticas, sea cual fuere la forma de su sección y sus dimensiones, aún cuando existen ciertas pérdidas por absorción, serán inferiores por tratarse de luz infrarroja.

Finalmente, el ángulo con el cual se introduce la señal en la fibra es nombrado ángulo de admisión, en tanto que el de salida, se conoce como ángulo de emisión.

1.8. - Atenuación

Se ha contemplado hasta el momento suponer que, al utilizar cualquier tipo de fibra óptica, se produce una propagación que no incluye pérdidas. En la práctica existen dos fenómenos (pérdidas por atenuación en el interior de la fibra y la dispersión en el material) que contribuyen a la degradación de la información, su función es; el deterioro de características en la señal que viaja por el núcleo de silicio, cuando se efectúa una transmisión.

La pérdida o atenuación en el interior de la fibra es la relación que existe entre las potencias lumínicas a la salida respecto a la entrada, expresada en decibelios y calculada para determinar la longitud de onda.

La atenuación adicional es una variable regularmente disminuida por las condiciones de fabricación, pero no es así cuando la fibra es afectada por los fenómenos físicos ocurridos en el interior de la fibra, ya que dependen del material con el que es dopado el núcleo y la longitud de onda de trabajo.

Los mecanismos de degradación que contribuyen a esta pérdida de energía son: los de carácter intrínseco a la fibra, debida a la composición del vidrio y los de origen externo, causados por impurezas, defectos de cableado o por geometría de la fibra.

Cabe resaltar que la transmisión por fibra deriva dos características generales una es, la atenuación en las f.o. no depende del ancho de banda de modulación (como en los cables de cobre) por que su frecuencia portadora es muy superior en magnitud que la frecuencia de modulación, y la otra es:

La potencia total transmitida se distribuye entre los diversos modos que se propagan cuando se utilizan fibras multimodo. Cuando la propagación es monomodal, la potencia transmitida se distribuye también aleatoriamente entre las diversas rayas espectrales del modo de transmisión.

Pérdidas intrínsecas (Absorción debida a rayos ultravioletas e infrarrojos y Efecto Rayleigh).

a) Absorción debida a rayos ultravioletas e infrarrojos.

Mecanismo de pérdidas debido a la interacción existente entre los fotones que viajan por la fibra y las moléculas que componen el núcleo. La energía fotónica se debe en parte a las moléculas de silicio, que van encontrando los fotones en su recorrido, produciendo vibraciones en la misma.

La absorción se debe a la componente de radiación ultravioleta de la luz transmitida que decrece exponencialmente con la longitud de onda, y es casi despreciable, a partir de los 1000 nm. Con relación a los rayos infrarrojos es originada por vibraciones entre átomos de silicio y oxígeno creciendo exponencialmente con la longitud de onda, es apreciable hasta los 1400 nm.

b) Efecto Rayleigh

El fenómeno de esparcimiento es producido cuando la luz encuentra en su camino partículas extrañas al medio continuo cuyo diámetro es mucho menor a la longitud de onda de la señal. La difracción resultante absorbe parte del espectro energético de la señal, produciendo la pérdida de energía y decrece exponencialmente a la cuarta potencia de la longitud de onda.

Las pérdidas por efecto de Rayleigh son las de mayor influencia para las longitudes de onda comprendidas entre los 400 y 1100 nm.

En la tabla 1.8 se muestran los valores de estas 2 pérdidas para una longitud de onda de 1300 y 1500 nm

Longitud de onda	Absorción	Rayleigh
1300	0.05	0.25
1500	0.09	0.15

Tabla 1.8 Pérdidas intrínsecas típicas (dB/Km)

Pérdidas de origen externo a las fibras.

a) Absorción debida a impurezas

Los tipos de impurezas más frecuentes en el silicio de la fibra son las metálicas (hierro, cromo, cobalto, níquel) y los iones (OH⁻). Las impurezas metálicas originan una pérdida de 1dB/Km si su concentración es de una parte por millón, son reducidas al mínimo por su fácil control en el proceso de fabricación,

En cambio, las del tipo hidroxilo están presentes por deposición de partículas de vapor de agua durante el proceso de fabricación de la fibra, no son fácilmente controlables y para 2720 nm producen resonancia en la estructura atómica de los iones con el silicio transfiriendo los fotones de su energía a los iones OH⁻.

b) Pérdidas por curvaturas de la fibra

Siempre que la fibra se somete a una curvatura por bobinado o tendido se origina una atenuación adicional, por que la interfaz núcleo-revestimiento deja de ser geoméricamente uniforme y el reflejo de la luz en algunos puntos es diferente a los inicialmente calculados, lo que da origen a la desaparición de la reflexión total por la fuga de modos hacia el revestimiento.

No obstante, esta atenuación varía exponencialmente con el radio de curvatura y las pérdidas son despreciables hasta que se sobrepasa la curvatura crítica. Por tanto, más que conocer la variación de las pérdidas con la curvatura para efectos prácticos toma importancia conocer el radio de curvatura mínimo posible para un cable de fibra, su valor está entre diez o doce veces el diámetro de la fibra (aproximadamente 2 cm).

El estudio del origen de estas curvaturas es muy complejo, particularmente en fibras monomodo, por lo que únicamente se hará la observación siguiente: aumentan mucho cuando la diferencia relativa entre índices de refracción de los dos medios es menor al 0.2% presente en el rango de los 1550 nm.

c) Pérdidas por microcurvaturas

Los proceso de fabricación tiene sus propias tolerancias y defectos.

Los defectos que provocan las llamadas pérdidas por microcurvaturas son las irregularidades que hay entre el núcleo y el revestimiento, las fluctuaciones de diámetro (error de elipticidad) y fundamentalmente, tortuosidades del eje en la fibra (error de concentricidad).

Estas pérdidas presentan la particularidad de afectar a toda la banda de información varían poco con la longitud de onda y originan atenuación cuando las irregularidades están separadas de la longitud L_0 (longitud por irregularidad periódica), que es directamente proporcional al radio del núcleo e inversa a la diferencia relativa de índices, se observa por tanto que la diferencia entre estos es demasiado pequeña a causa de las pérdidas por microcurvaturas, donde:

$$L_0 = 4a (\delta)^{1/2} \text{ donde:}$$

a = radio de la fibra

δ = diferencia relativa en índices de refracción de los medios; entonces,

si aumentamos L_0 las irregularidades pueden distar entre sí distancias mínimas a la longitud crítica.

En las fibras, las irregularidades periódicas del cambio en el nivel de potencia (de unos modos de propagación a otros) cuando el espaciado es menor, provoca el acoplamiento incorrecto de la fuente óptica originando el escape de luz fuera de la fibra, reduciendo como pérdida de potencia en la señal y aumentando la atenuación a un valor máximo.

Así, en una fibra con radio $a=25\mu\text{m}$ y $\delta=0.01$ se producen pérdidas de radiación cuando hay irregularidades periódicas a 1 mm o menos. Este tipo de pérdidas son nombradas pérdidas Mie; que a diferencia de las Rayleigh, su origen radica en los defectos intrínsecos a la fibra, donde su longitud de onda tiene un valor menor.

Estas pérdidas pueden minimizarse considerando las siguientes medidas:

- Aumentar la diferencia de índices de refracción entre núcleo y revestimiento.
- Aumentar la sección de la fibra.
- Sumergir la fibra en un plástico blando (de baja constante de Young) y recubrirla posteriormente con un elemento de alta constante de Young, que absorberá los esfuerzos con baja elongación.

Estas medidas se toman para reducir en un 30% las pérdidas por este concepto.

d) Atenuación por tendido, ambiente y envejecimiento.

La fibra se ve sometida a los agentes climáticos y a la fatiga estática provocada por el tendido, contribuyendo en mayor o menor grado al incremento de pérdidas, acortando la vida de la fibra. La solución a estos problemas, se haya en dos respuestas generales:

- Aplicar sobre un recubrimiento primario una sustancia rígida, tipo nylon, en forma de segundo recubrimiento ceñido.
- Colocar la fibra, con su primer revestimiento, dentro de un segundo revestimiento holgado, rellenando el espacio intermedio con un medio viscoso, como el petrolato.

Ambas alternativas presentan sus respectivas ventajas: la primera tiene estabilidad en amplios rangos de temperatura, la segunda presenta un incremento de pérdidas despreciables durante el cableado.

En el caso de los cables submarinos, ambas soluciones pueden ser idóneas.

Con referencia al envejecimiento de la fibra, cabe resaltar que se presentan en determinadas condiciones de tensión permanente o cuando la tensión de tendido excede determinada fracción de la permanente o por la presencia de fisuras superficiales.

e) Radiaciones nucleares.

Hay un factor adicional de pérdidas a la fibra llamado radiaciones nucleares, están presentes en fibras dopadas de vidrios silicatados y no en fibras dopadas con silicio.

Se puede obtener una atenuación total si se suman todas las pérdidas mencionadas, como resultado se muestra la figura 1.15, en la cual se observa:

Una zona por debajo de los 800 nm, que no es conveniente utilizar por ser de alta atenuación.

Una zona por encima de los 1600 nm que presenta problemas de atenuación por el efecto de los rayos infrarrojos. Además, la tecnología de los emisores y de los detectores para esta longitud de onda es muy reciente.

Tres zonas de mínima atenuación denominadas ventanas, que determinan las longitudes de onda habituales para trabajar. Los primeros sistemas de fibra trabajaron en la primera ventana (850 nm). En estos días la zona de trabajo más habitual es la segunda ventana, en torno a los 1300 nm, con el avance de la tecnología se ha iniciado la apertura de la tercera ventana (1550 nm).

La tendencia actual es el uso de rayo láser para la tercera ventana, en torno a los 1550 nm. La ventaja en esta ventana radica en aumentar la vida útil del láser a medida que aumenta su longitud de onda.

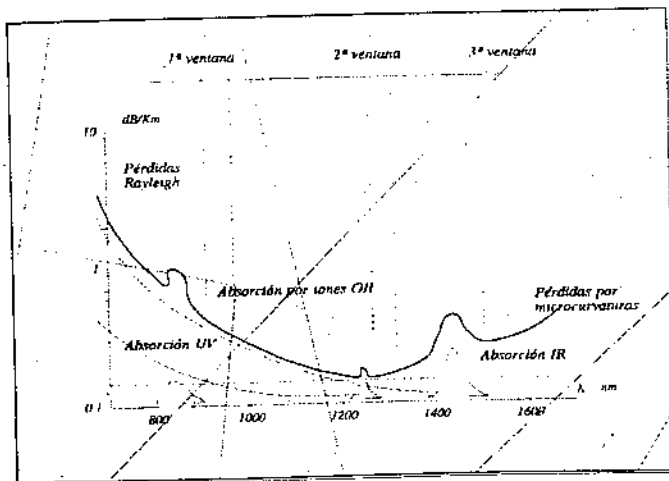


Figura 1.5. Atenuación en una fibra

La tabla 1.9 muestra las categorías de fibras multimodo según la recomendación G.651 del CCITT, para longitudes de 850 y 1300 nm con valores correspondientes de atenuación.

Longitud de onda (nm)	Categoría	Atenuación (dB/KM)
850	1	≤ 4.0
	2	≤ 3.5
	3	≤ 3.0
1300	I	≤ 3.0
	II	≤ 2.0
	III	≤ 1.5
	IV	≤ 1.0
	V	≤ 0.8

Tabla 1.9 Categorías de F. O. 50/125 según atenuación.

TEMA 2. PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO OPTICO

2.1. – Introducción

La tecnología de las fibras ópticas (f. o.) es un desarrollo actual que sustituye el uso de cable metálico en una variedad de aplicaciones. En estos tiempos comercialmente están disponibles algunos sistemas con fibra óptica que se aplican en las telecomunicaciones, sistemas computacionales, en el área de seguridad, control, monitoreo de procesos industriales; permitiendo un enlace entre ellos.

Cuando se inicia el diseño para un sistema de comunicación óptica el tipo de señal a transmitir ya debe estar definido, acompañado de puntos relevantes como: la longitud de onda, tipo de emisor (diodo LED o LASER), tipo de fibra a utilizar (multimodo o monomodo), tipo de receptor (diodo PIN o fotodiodo de avalancha) y la distancia para transmitir.

Las características anteriores son el soporte del análisis, diseño e instalación de la comunicación lumínica, sus cualidades se conocerán leyendo lo siguiente:

Longitud de onda

Hay componentes disponibles a la venta para dos regiones de longitud de onda: la región cercana al infrarrojo entre 780 nm y 900 nm (valor típico 850 nm) y la región entre 1200 nm y 1600 nm (valores típicos 1300 nm y 1500 nm). La ingeniería de la f. o. comenzó en los 850 nm, pero los 1300 nm ofrecen ventajas. Una de ellas es la atenuación a 1300 nm la pérdida en una fibra multimodo (fibra de índice gradual) es de 0.6 dB/Km menor incluso en la región de los 1550 nm, que comparado a los 3.0 dB/KM de los 850 nm es buena ventaja. Otra es la baja dispersión, que da lugar a un ancho de banda aceptable. La dispersión de las fibras proviene de los diferentes retardos de grupo debido a las diferentes longitudes de onda, junto con la linealidad límite de la fuente de la señal. El retardo es cero en la vecindad de los 1300 nm, mientras que es típico 100 ps/Km nm en 850 nm.

La dispersión multimodo (dispersión modal) es el ensanchamiento de pulso a causa de las diferentes velocidades de transmisión en cada modo. Depende de la longitud de onda, pero no hay una característica típica. Las fibras de doble ventana están hechas con característica modal idénticas (para 850 nm y 1300 nm). Las fibras monomodo presentan una dispersión despreciable por encima de la longitud de onda de corte.

En concreto, la atenuación y la dispersión en la luz son las razones para escoger los 1300 nm, ya que la baja atenuación en algunas instalaciones, permite el uso de diodo LED en lugar del LASER.

Los diodos comerciales disponibles son los de 850 nm y 1300 nm, aún no lo están en los 1550 nm. Los detectores se encuentran para cualquiera longitud de onda, pero los de amplia longitud de onda no, al producir más ruido y tener mayor sensibilidad. Los que son utilizados a 850 nm tienen una razón para ser integrados: su costo. Tanto los generadores como los detectores son tres veces más baratos que los de 1300 nm. Es lógico que, cuando aumente su producción (dispositivos a 1300 nm) la diferencia disminuirá.

Diodos.

Los diodos de baja longitud son económicos comparados con los de alta longitud de onda. Sus características son definidas en: alta fiabilidad y simple integración al sistema, baja eficiencia de acoplamiento, ancho de banda hasta 200 MHz, anchura espectral de 40 nm y mayor dispersión de luz. El amplio ancho espectral beneficia (ruido modal bajo).

Los láseres tienen un alto costo, su ventaja radica en: tener ancho de banda grande (hasta el rango de los GHz), alta eficiencia de acoplo, ancho espectral pequeño (del orden de 3 nm), dando lugar a un valor bajo para la dispersión de luz, pero entregando un valor alto de ruido modal. Solo en las fibras monomodo no hay *ruido modal. Las desventajas de los láseres son: sensibilidad a las corrientes de sobrecarga, baja fiabilidad, *corriente de excitación alta por encima de la llamada *corriente de umbral por requerir de refrigeración y estabilización de potencia.

Los láseres multimodo exhiben cierto número de líneas espectrales, son los más usados, Los láseres monomodo sólo exhiben una línea espectral con un ancho típico de 0.01 nm, son sensibles a las reflexiones, pueden trabajar conjuntamente con fibras monomodo. Pero si son combinados con fibra multimodo produce un ruido modal inaceptable. Por el contrario, excitar fibras monomodo con un láser multimodo no causa problemas.

En 1300 nm los láseres se pueden sustituir por diodos LED con el objeto de conseguir: simplicidad, ancho de banda aceptable (mayor ancho espectral pero menor dispersión cromática), nivel de señal aceptable (de la más baja atenuación en la fibra y de menor eficiencia en el acoplo), además de bajo ruido modal.

* Definición en la pág. 92

Tipo de fibra.

El tipo de fibra influye en la dispersión multimodo y en el ancho de banda resultante; los valores típicos son de 20 MHz/Km para una fibra multimodo (Fibra de salto de índice), de 1 GHz/Km para una de índice gradual y entre 20-200 GHz/Km para una fibra monomodo. La dispersión cromática debida principalmente al material, no depende mucho del tipo de fibra. Poca es la influencia en la atenuación a baja frecuencia, sorprendentemente la fibra monomodo con un núcleo de pequeñas dimensiones tiene menor atenuación y pérdidas de transmisión, atribuido al índice de refracción menor y al semi-dopado de su núcleo.

Los tres tipos de fibras difieren drásticamente en el ancho de banda, apertura numérica y en el diámetro del núcleo, esto último define la eficiencia de enlace con generadores típicos. El mayor compromiso que enfrenta es el precio, al estar determinado por el ancho de banda y la eficiencia de acoplamiento. En la tabla 2.1 se muestra el rendimiento del acoplo para la selección de cualquiera de los tipos de fibra.

TIPO DE FIBRA	Diámetro del núcleo	Rendimiento de acoplo	Ancho de banda
Salto de índice	100-200 nm	70%	20 MHz Km
Índice gradual	50 nm	40%	1 GHz Km
Monomodo	10 nm	20%	100 GHz Km

Tabla 2.1 Tabla de selección de fibra.

Con relación al ruido modal en las fibras de índice gradual, este es más fuerte, en las fibras de salto de índice (fibras multimodo) produciéndose a causa del número de modos. Las fibras monomodo están iluminadas uniformemente en todo el núcleo a causa de que no se propagan diferentes modos. Por lo tanto no se tiene el problema de la dispersión modal.

Detectores

Hay tres tipos de detectores útiles para f. o.: diodos pin, fotodiodos de avalancha (APD) y los recientes transistores pin de efecto de campo.

El diodo pin tiene una estructura simple y ofrece linealidad, gran ancho de banda y estabilidad con la temperatura. Su desventaja es la baja sensibilidad como receptor (en 100 Mbit/seg es típico un valor de -42 dBm de potencia óptica para conseguir una posibilidad de error de 10^{-9}), contrariamente un APD tampoco es lineal, pero tiene buena sensibilidad para la misma probabilidad de error se necesitan -50 dBm de potencia óptica. Los APD funcionan con alto voltaje (200-300 V) aplicando la polarización, realimentación o estabilización de la temperatura adecuada para la prevención de averías o sobrecargas.

El último de estos dispositivos es el transistor pin-FET, híbrido compuesto por los otros dos dispositivos; dicho (dispositivo) consigue sensibilidad y estabilidad de ganancia sin necesidad de alto voltaje.

Los diodos pin están disponibles en silicio para cubrir la región del infrarrojo y en arseniuro fosforuro de indio y galio (InGaAsP) para la región de longitud de onda mayor. Los diodos pin de germanio cubren la región de longitud de onda alta y se extienden hasta llegar a la zona de los rayos infrarrojos. Su desventaja es la sensibilidad causada por su alta "corriente de oscuridad".

Los APD están disponibles en silicio para la región cercana al infrarrojo y en germanio para una mayor longitud de onda. Estos dispositivos dependen de la longitud de onda, igual que los pin. De los APD que están hechos de InGaAsP se obtienen sólo algunos en los laboratorios por su ventaja sobre los APD de germanio al generar un valor mínimo de corriente de oscuridad.

Elección del sistema

La capacidad de transmisión en algunos sistemas de f. o. se muestran en la figura 2.1. se aprecia la solución más económica (utilizar diodo (LED)) y fibra de plástico de $1 \mu\text{m}$ ya que a pesar de su dispersión multimodo, un sistema de 10 mts puede funcionar a 10 Mbits/seg. Una fibra en la región de los 100 nm llega a una velocidad idéntica (10Mbits/seg.) a los 2 Km. de distancia. Estos dos sistemas son los más útiles en redes locales. Las fibras de índice gradual mejoran la atenuación y el ancho de banda arrojado por el espaciamiento máximo entre repetidores (10 Km); si se añade a esta fibra un láser el sistema mejora. Otra manera de conseguir un nivel de prestación efectivo es por medio de una fibra de 1300 nm y un diodo

* Definición en la pág. 92

LED. Para mayor distancia y capacidad es útil de forma exclusiva, láseres a 1300 o 1550 nm con fibras monomodo.

Los límites de la atenuación y del ancho de banda son entregados por la sensibilidad en el receptor, esto es observado cuando la potencia recibida llega a un valor límite, y por el ensanchamiento de pulsos, hasta llegar a producir interferencia entre estos.

A causa de fuentes de ruido particulares, la transmisión de señales analógicas en banda base por fibras, no tiene las condiciones normales para una transmisión de audio o video. Se indica que, láseres monomodo con aisladores (para evitar la realimentación óptica del ruido) y fibras monomodo con baja birrefringencia (división de un haz de luz en dos componentes, que viajan a velocidades distintas por un medio) pueden alcanzar la calidad suficiente para sistemas analógicos, la mayoría de los sistemas de transmisión analógica por fibras usan modulación de frecuencia.

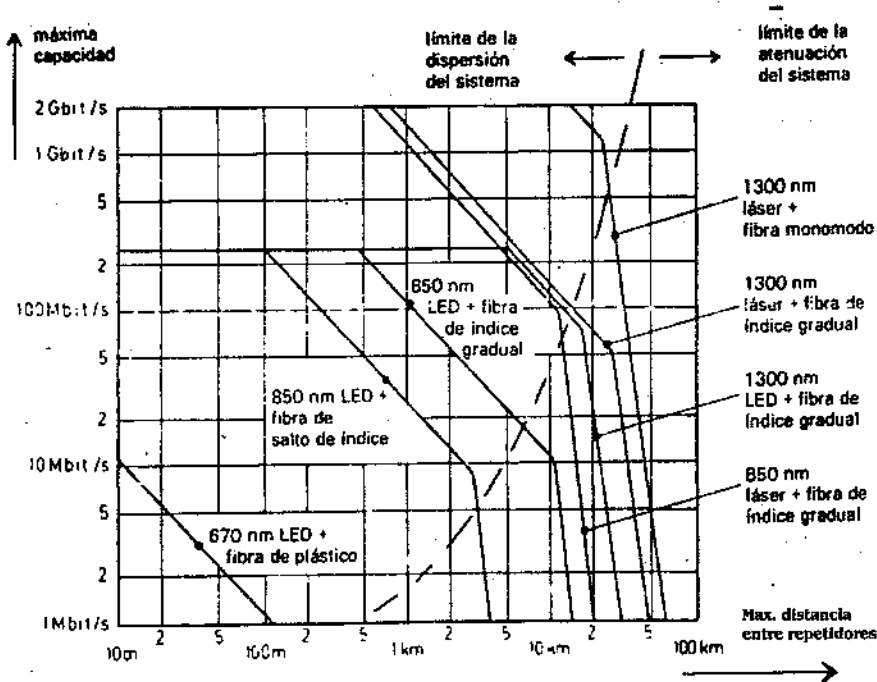


Figura 2.1. Capacidad de transmisión

Hay puntos indispensables en la estructura del sistema de transmisión de información apoyado en el acoplamiento de dispositivos ópticos (protocolo de comunicación), seguido de los siguientes cinco pasos:

1. - Especificación de los requerimientos del sistema
2. - Descripción de los requerimientos físicos y del medio ambiente
3. - Cálculo de los niveles de potencia óptica
4. - Realización de análisis de ancho de banda
5. - Revisión global del diseño del sistema

El diagrama de flujo para consideraciones básicas en el diseño de sistemas de comunicaciones ópticas, se muestra en la figura 2.2.

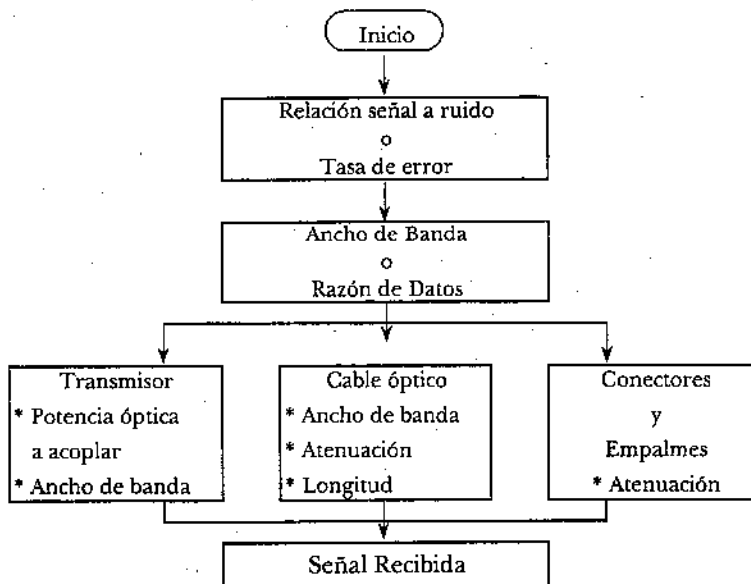


Figura 2.2. Consideraciones para el desarrollo de un sistema de comunicaciones ópticas.

2.2. - Requerimientos

Determinar la relación señal a ruido da inicio al diseño de un sistema de comunicación óptico, lo acompaña el tipo de señal a manejar (señales analógicas o la tasa de error para señales digitales) provocando el valor mínimo de potencia óptica reconocida por el receptor.

Estos parámetros son obtenidos de la razón de datos y del ancho de banda a manejar, la selección está en función de la señal a transmitir (analógica o digital), por que en enlaces punto a punto con f. o., la electrónica o equipo terminal es diferente en cada caso.

En la figura 2.3. se muestra cómo la f. o. puede transmitir señales analógicas o digitales con mayor velocidad y ancho de banda por el cambio en la electrónica del transmisor y receptor beneficiando a las aplicaciones futuras. De esta forma, los sistemas de comunicación vía f. o. son diseñados para capacidades de ancho de banda mínima requerida.

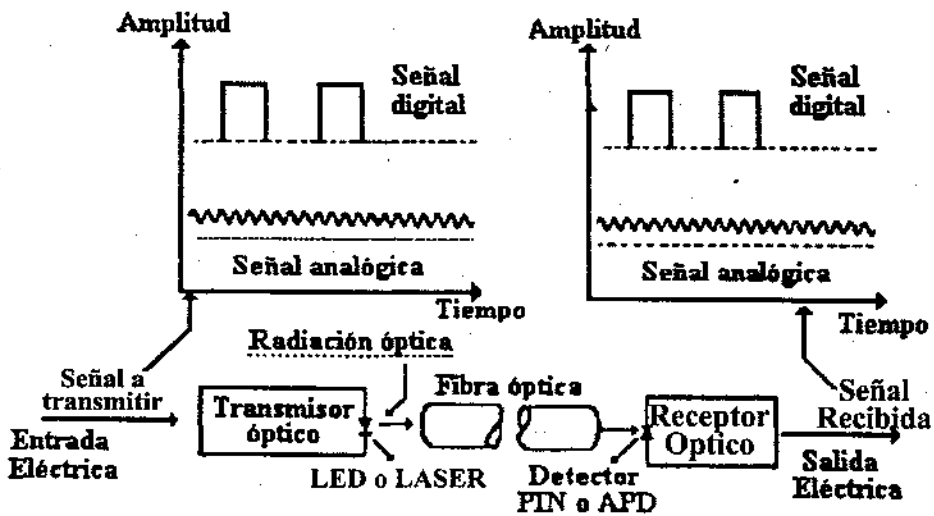


Figura 2.3. Sistema de f. o. para transmitir señales analógicas y digitales.

SEÑALES ANALÓGICAS

Las señales analógicas como las de audio y video pueden excitar directamente al transmisor para obtener una salida óptica modulada con el nivel de potencia requerido, fenómeno conocido como modulación de intensidad; método simple y directo para la codificación de la señal (como onda de luz).

La calidad de la transmisión en los sistemas analógicos se determina con la relación señal a ruido (SNR) y la linealidad. En este tipo de sistema, la calidad aumenta con la mejor relación señal a ruido (SNR) posible y la linealización, arrojado por el uso de técnicas de modulación en frecuencia (FM). En esta técnica la información se usa para modular en frecuencia una subportadora, que esta controlada de acuerdo a la intensidad en la fuente óptica. Debido a los factores de dispersión del material y de intermodulación, los enlaces de FM normalmente requieren fibras ópticas con anchos de banda mayores a 200 MHz/Km. Los enlaces cortos sin repetidores utilizan modulación analógica; sin embargo, actualmente para muchas aplicaciones se emplea transmisión digital con modulación binaria.

SEÑALES DIGITALES

En las fibras ópticas, las señales digitales se forman con la ausencia o presencia de luz en instantes breves, al tiempo en que la fuente óptica emite luz se le conoce como pulso digital (representado por el estado binario "1"), mientras que el estado binario "0" es representado por la falta de emisión de luz en la fuente óptica. Los estados binarios anteriores, son la representación de una señal digital, compuesta por una serie de bits resultado de la emisión breve de radiación por la fuente óptica, este fenómeno es ejemplificado en la figura 2.4.

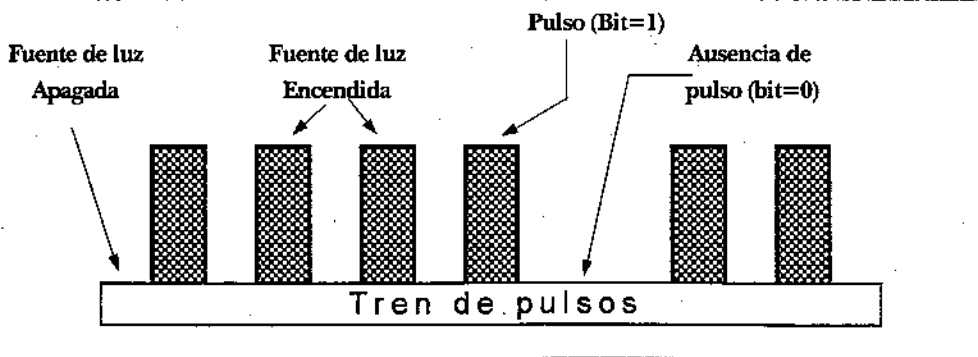


Figura 2.4. Representación de un tren de pulsos utilizados en la transmisión digital.

Al tiempo que tarda un pulso en alcanzar su amplitud máxima se le conoce como tiempo de elevación. Los tiempos de elevación y decaimiento rápidos permiten tener la mayor cantidad de pulsos por segundo, reflejo de la cantidad en bits de información que pueden transmitirse.

En los sistemas de transmisión digital el parámetro que determina la calidad del sistema es la tasa de error (BER bit error bit). Una tasa de error típica para este sistema es $BER = 1 \times 10^{-9}$, y representa 1 error en 10^9 bits.

Las características de los sistemas digitales varían dependiendo de la distancia de transmisión, entre más viaje el pulso dentro de la fibra éste sufrirá mayor deformación debido a los problemas de distorsión ocurridos en la medio.

El nivel de potencia óptica que debe de emitir una fuente así como el nivel mínimo de potencia que puede incidir en el detector y el tipo de fibra óptica, es función de la distancia, de la razón de bit o del ancho de banda. Lo anterior se ilustra en la figura 2.5 para el caso de una señal digital, donde se observa que:

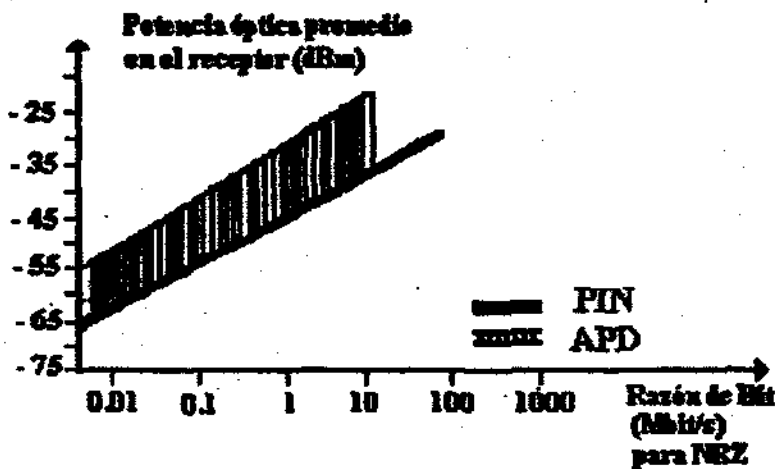


Figura 2.5. Potencia óptica promedio requerido en un sistema digital para una tasa de error de 10^{-9} y formato de la señal NRZ

los niveles típicos de la potencia óptica requeridos en los detectores de silicio en la longitud de onda de 850 nm para una señal digital. El nivel de potencia óptica para una señal analógica aparece en la figura 2.6, donde se aprecian los diferentes niveles de SNR para anchos de banda distintos.

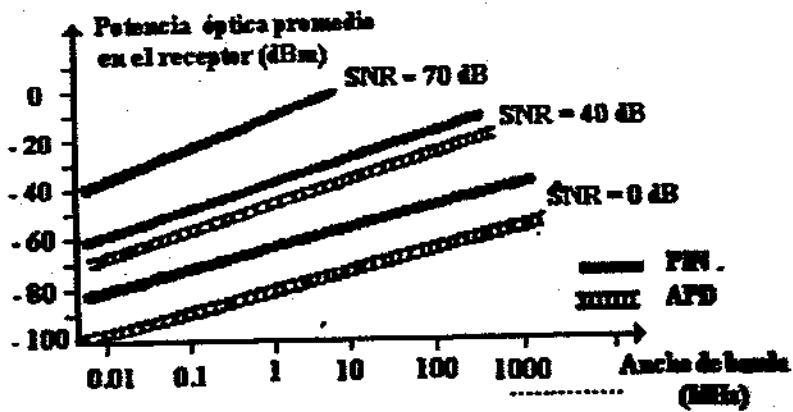


Figura 2.6. Potencia óptica promedio requerido en un sistema analógico.

2.3. – Diagrama a bloques

Las características y los componentes de los sistemas de fibras óptica dependen de su aplicación (TV, telefonía y redes de datos), distancia de transmisión (longitud del enlace) y velocidad de transmisión o ancho de banda, así como del ambiente en el que va a operar.

Un sistema punto a punto simple se encuentra en la figura 2.7, donde se puede observar la conexión entre una computadora con otra, a través de dos hilos fabricados en fibra óptica (cable duplex) para la transmisión y recepción de la señal digital.

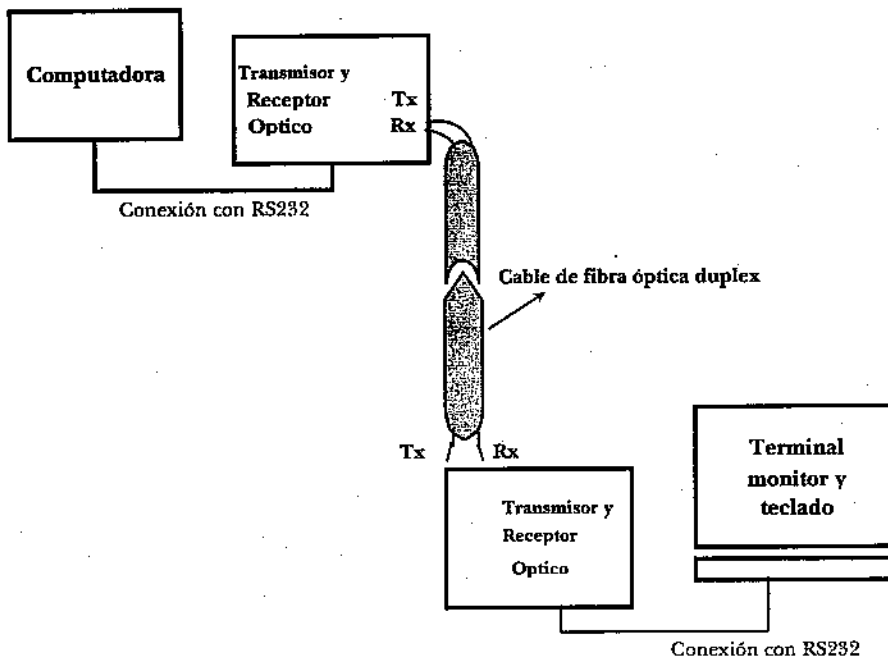


Figura 2.7 Enlace punto a punto con fibra óptica.

Un sistema más elaborado de una red para área local que involucra a la telefonía, datos, video, control y funciones de alarma se ilustra en la figura 2.8.

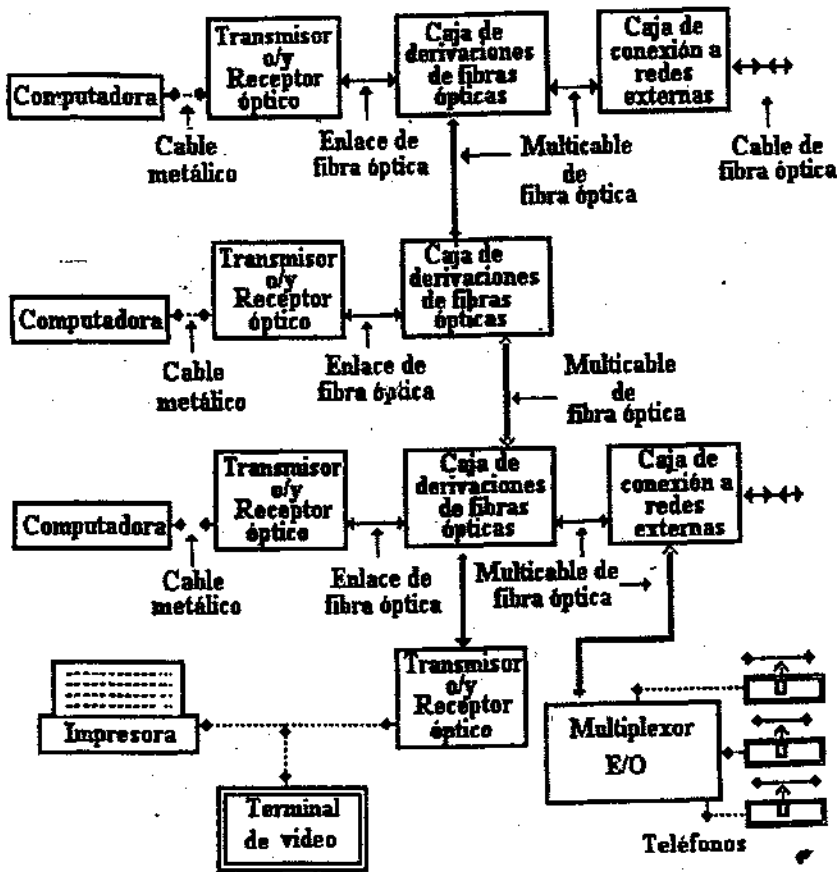
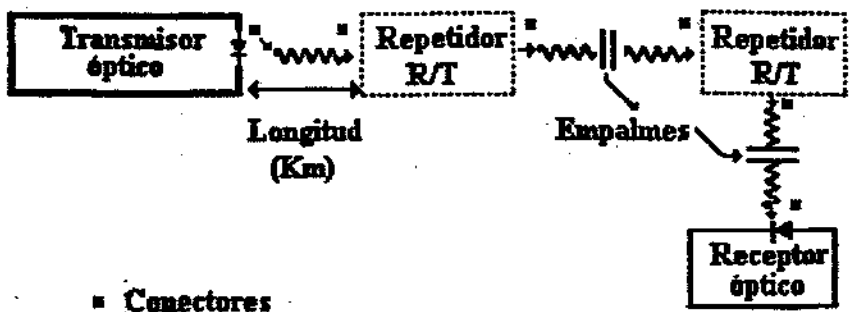


Figura 2.8. Sistema básico de una red de área local con fibra óptica.

Ambos sistemas son instalados con fibras óptica por las ventajas antes anunciadas. La mayoría usa la tecnología de la f. o., en la cual, se emplea una fibra para transmitir y otra para recibir, por lo que sistemas punto a punto requieren al menos dos fibras para una comunicación dúplex.

El diseñador de sistemas debe desarrollar el arreglo esquemático similar al de la Figura 2.9, en donde especifique: la distancia entre el transmisor y los repetidores, así como la del receptor y el número de empalmes requeridos de acuerdo al tramo máximo que proporciona el fabricante.



▪ Conectores

Figura 2.9 Enlace de f. o. con repetidores, empalmes y conectores

2.4. – Niveles de potencia.

La topología en los sistemas de comunicación ópticos y sus componentes, determinan las pérdidas de potencia óptica en cada punto, mostrando algunas en la figura 2.10.

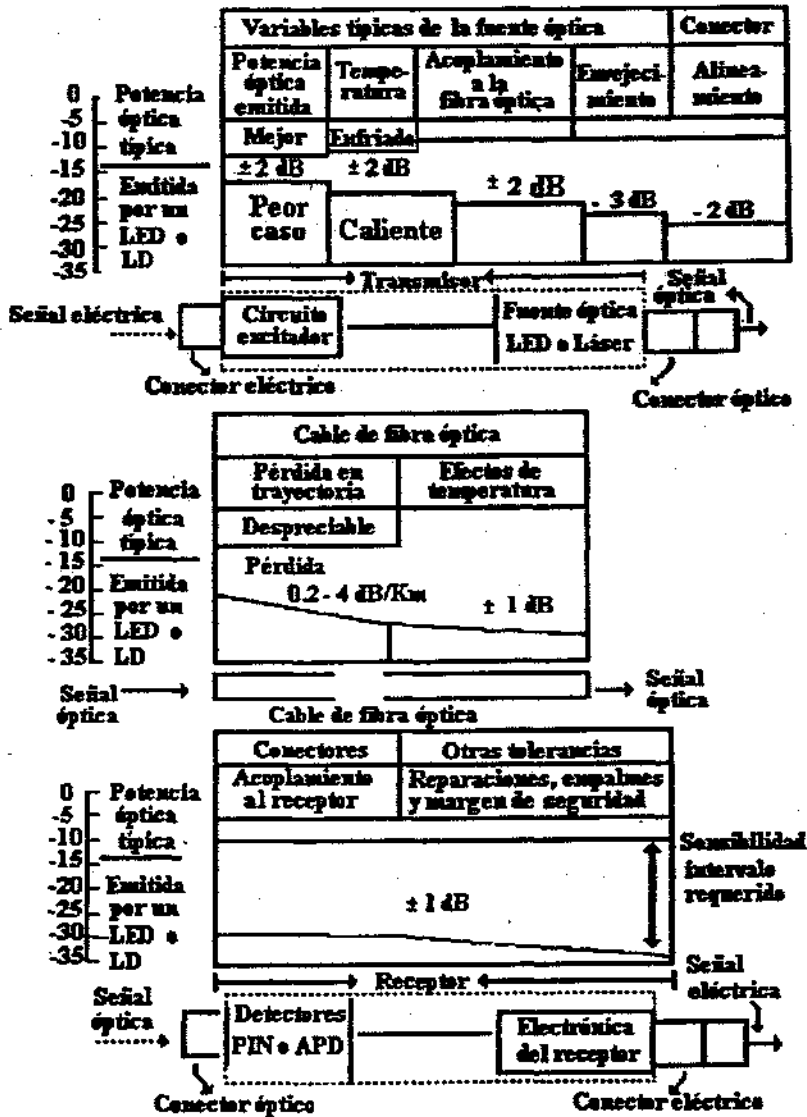


Fig. 2.10. Análisis de potencia en un enlace óptico.

Las fibras ópticas y los conectores tienen un intervalo de pérdida de potencia, debido a las variaciones de su fabricación. Los empalmes también generan en los enlaces, pérdida de potencia y depende del proceso en el que se les fabrique. Para el caso de las fuentes ópticas se requiere especificar las características principales tales como: el intervalo de potencia óptica que emiten (mínimo y máximo), su longitud de onda, el ancho del espectro y su frecuencia de operación.

El intervalo de variación en las características antes mencionadas normalmente se considera no mayor del 60% y para la potencia óptica emitida la variación es menor a los 4dB.

En los detectores se hace presente un intervalo de sensibilidad (potencia óptica mínima detectable) especificada por el fabricante de dispositivos: por lo regular, se especifica la sensibilidad global del sistema que caracteriza a la parte receptiva (receptor) y al elemento que involucra el ruido a la electrónica asociada al detector.

2.5. – Especificaciones.

La instalación de cables de f. o. está compuesta por tramos de cable tendido empalmados unos con otros llevando en sus extremos las conexiones desconectables, llamadas conectores.

Son instalaciones proyectadas para una larga vida útil, que contemplan en la etapa de planeación la inclusión de empalmes ha instalar en caso de emergencia. Esta previsión da apoyo a la comunicación cuando se presenta deterioro alguno por causa del funcionamiento en el sistema, de la construcción, a movimientos de la Tierra o por el cambio de posición en los cables, tomando en cuenta añadir nuevos tramos de cable a la instalación.

El objetivo se caracteriza por el arreglo de los cables (fibra óptica) manejando su protección contra las influencias ambientales de la mejor manera posible. Para evitar percances, es necesario buscar un componente ideal (racks) que cuente con propiedades de apoyo al orden de los cables, distinguiéndose como estándar y los diseñados para un fin particular como los más importantes.

La clasificación con la que cuentan los cables ópticos para su inclusión en un sistema de comunicación es: cables para exteriores, interiores y especiales.

Su instalación requiere información integrada con los pormenores del área en la que va a ser incluida, y de esta forma, organizar los datos necesarios para el desarrollo de los siguientes puntos:

Trazado.

Los planos de sitio y de elevación nos indican subidas y pendientes, así como los cruces a nivel y bajo nivel, en caso de realizar una instalación a través de ríos y calles, además de establecer el número de curvas críticas (indicadas con sus respectivos ángulos).

Características del terreno.

Se verifica el tipo de terreno en el que se va a realizar la instalación del sistema; su clasificación se determina por: zona llana, montañosa, boscosa, pantanosa y de aguas.

Suelo.

La importancia de conocer el tipo de suelo que se tiene para la aplicación de una instalación, particularmente se clasifica en: arcilloso, de humos o arenoso, además de considerar los cuidados pertinentes al trabajar en suelo lleno de impurezas químicas; ya que provoca el deterioro y el mal funcionamiento en la comunicación óptica, al elevar los índices de atenuación.

Tendido

Este proceso determina la diferencia entre cables enterrados o los colocados en surcos introducidos a Tierra tomando como parámetro la temperatura del suelo y la profundidad para su tendido, la introducción de la fibra en conductos tubulares considera la longitud de los cables y el máximo esfuerzo de tracción cuando se aplican amarres.

El orden de los cables está diseñado de acuerdo a las influencias mecánicas, técnicas y químicas de los elementos que integran la red de comunicación para evitar la pérdida o modificación de las características en la comunicación al momento de la transmisión.

Los sistemas de comunicación que desplazan señales de información con forma de luz, se dividen en módulos, cada uno de ellos, son parte ideal en sistemas de comunicación óptica, estos son:

PLAN DE CABLEADO DEL SISTEMA

Características del cable. Este depende del medio ambiente en el que se va a instalar el sistema, las consideraciones más importantes son: la capa protectora, la rigidez, el tipo de conductor, el número de conductores.

Fibra óptica. La selección de la fibra está determinada por las características del sistema; las más importantes son: fibra (plástico o silicio), dimensiones del núcleo y el recubrimiento, el modo en que se va a propagar la señal (monomodo o multimodo), el tipo de índice (gradual o escalonado).

Apertura numérica. Esta característica depende del tipo de fibra que se haya seleccionado.

Longitud de onda. Es el valor nominal de la operación.

Ancho de banda. Se especifica en MHz/Km.

Tiempo de subida. El tiempo de subida de un pulso óptico se determina desde un 20% al 80% de su máxima intensidad, dato definido por el fabricante.

Pérdida en el cable. La atenuación se da en dB por kilómetro.

Conectores. El número de conectores y la pérdida de estos en decibeles.

Interruptores ópticos. En caso de utilizar conectores ópticos, definir la cantidad de estos y la máxima atenuación que se puede permitir.

Empalmes. El número de empalmes y la atenuación en dB de cada uno de estos.

Distancia entre transmisores. La distancia que se manejará entre el transmisor y el receptor.

TRANSMISOR

Señal de entrada. El tipo de la señal a transmitir en la entrada (digital o analógica), si es de forma digital, como es el caso de la señal en TTL o ECL, se necesita especificar la impedancia y el nivel de la señal en volts.

Potencia óptica emitida. La potencia que emite la fuente óptica del transmisor.

Máxima razón de datos o ancho de banda. La máxima velocidad de transmisión en bits/s o la máxima respuesta en frecuencia especificada en Hz.

Tiempo de subida. El tiempo de subida óptico, aproximadamente se encuentra entre un 20% a 80% de la intensidad máxima del pulso. El tiempo de subida eléctrico se encuentra entre un 10% al 90% de la amplitud máxima de la señal.

Tipo de conector. Este elemento debe ser de tipo eléctrico u óptico, especificando el nivel de atenuación que se está introduciendo.

Formato de la señal o código. Determinar el tipo de formato con el que va a contar nuestra señal (RZ o NRZ, código Manchester o MBNB).

Retardo. El tiempo en el que tarda la señal en el transmisor en nanosegundos.

Fuente de alimentación. El voltaje que se requiere para la alimentación del transmisor.

RECEPTOR.

Sensibilidad. Es el nivel de potencia óptica mínima detectable por el receptor, entregada en watts o decibeles referidos a un miliwatt.

Máxima tasa de error (BER) o relación señal a ruido (SNR). Para los sistemas analógicos el SNR se da dB y para sistemas digitales los BER típicos son en nano segundos (10^{-9}).

Formato de la señal o código. El tipo de formato de la señal a recibir (tipo RZ o NRZ, en código Manchester o MBNB).

Tiempo de subida. Es idéntico al tiempo presente en el transmisor.

Señal de salida. Es el nivel de voltaje a la salida o el valor de la impedancia.

Máxima razón de datos o ancho de banda. Es la máxima velocidad de transmisión en Bits/s o la máxima respuesta en frecuencia determinada en Hz.

Fuente de alimentación. Es el voltaje con el que se va a alimentar el receptor.

2.6. – Análisis del ancho de banda.

El ancho de banda es un factor de amplia relevancia en sistemas con fibras, por lo que es indispensable asegurar que en todos los componentes se tenga el suficiente ancho de banda para transmitir la señal requerida con base a las exigencias del sistema. Las redes de área locales típicas requieren fibras con anchos de banda de 20 a 600 MHz /Km. Los sistemas telefónicos cuentan con distancias amplias entre repetidores, necesitando anchos de banda a más de 1000 MHz/Km, acompañados por fibras monomodo.

El ancho de banda de la fibra óptica se especifica cuando la magnitud de la señal óptica disminuye 3 dB (la mitad de la potencia). La conversión del ancho de banda entre el equipo de manipulación de la señal óptica a eléctrica en un sistema de transmisión de este tipo, se presenta en el transmisor, en la fibra y en el receptor, su relación esta en la ecuación:

$$f_c (\text{óptico}) = 1.41 f_c (\text{eléctrico})$$

donde:

f_c es la frecuencia de corte superior.

En gran parte, los fabricantes de transmisores y receptores especifican solamente el tiempo de subida (t_R). El ancho de banda eléctrico (MHz) está relacionado con el tiempo de subida (nanosegundos) por:

$$f_c = 350/t_R$$

En un sistema de transmisión óptica, el ancho de banda total se obtiene de la suma del ancho de banda en cada uno de sus componentes, el resultado dará el valor total que debe tener la señal eléctrica, es decir:

$$\frac{1}{f_c(\text{total})} = \frac{1}{f_c(\text{transmisor})} + \frac{1}{f_c(\text{fibra})} + \frac{1}{f_c(\text{receptor})}$$

Para los sistemas digitales el ancho de banda depende de la razón de datos (R en bits por segundo), que es la velocidad de transmisión y el formato de la señal, se le calcula con:

$$f_c(\text{sistema}) = R / K$$

en donde:

K depende del formato de la señal a utilizar, por ejemplo, para un formato de no retorno a cero (NRZ), K tiene el valor de 1.4 ($K=1.4$) y para un formato que tiene retorno a cero (RZ) K tiene el valor de 1 ($K=1$).

En cualquiera de los sistemas de comunicación, el componente que presenta menor ancho de banda es el que limita al sistema. Sin embargo, en un sistema que utiliza elementos ópticos (fibra óptica) el ancho de banda del sistema es ilimitado por el equipo terminal, ya que la fibra tiene respuesta de frecuencia mucho mayor.

Como recomendación general, el receptor se debe seleccionar con un ancho de banda mayor o igual al requerido por el sistema. En el caso del transmisor y la fibra óptica deberán tener un ancho de banda mínimo de 1.5 a 2 veces mayor que el del receptor.

Entre mayor sean los requerimientos relacionados con la razón de datos a manejar (velocidad de transmisión) los sistemas son más costosos; si la fibra óptica tiene un ancho de banda mayor que el que se requiere, el sistema permitirá un margen de degradación, al presentarse esta condición, se tiene cuidado en la estimación del ancho de banda óptico en MHz /km.

La relación que establece el ancho de banda en la longitud total del cable en la sección de un kilómetro es:

$$F_c(1 \text{ Km}) = f_c(\text{total}) * L^x$$

donde

L es la longitud en km . La x es igual a 1 para cables de longitud de un km o menor, y de 0.75 para longitudes mayores de un km.

2.7. – Selección de los componentes.

A partir de las especificaciones del sistema se examinan los parámetros ópticos, mecánicos y estructurales de la fibra, para determinar cual de ellas es la adecuada. El diagrama de flujo (figura 2.11) ejemplifica la manera más sencilla para la selección de una fibra óptica.

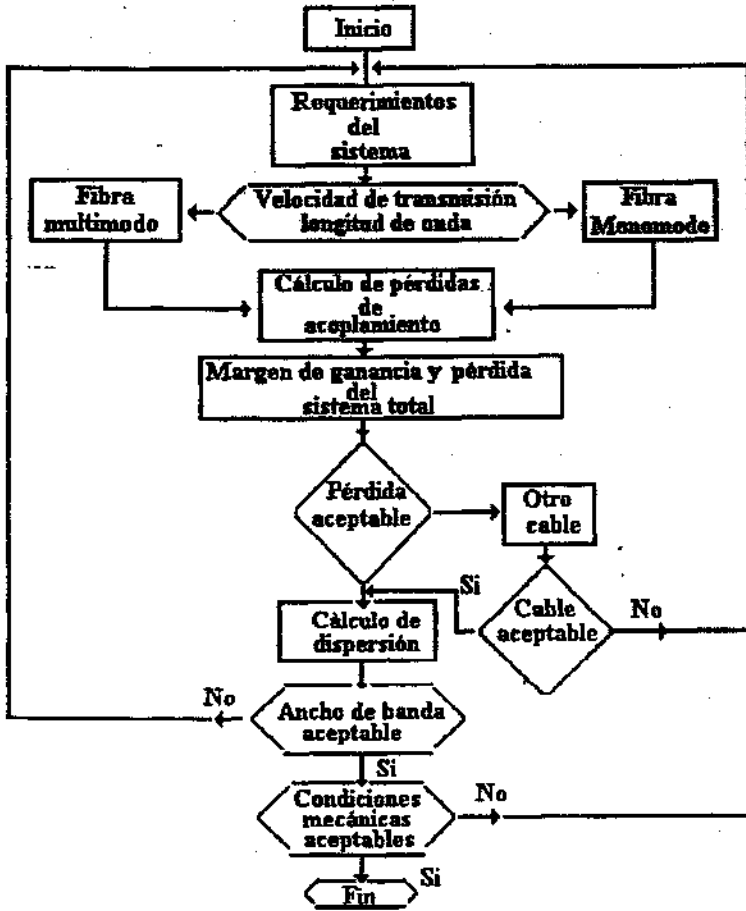


Figura 2.11. Diagrama a bloques para la selección de la F. O.

Las fibras difieren en el material para su fabricación y en los procesos de fabricación del núcleo o recubrimiento, su selección depende del tipo de aplicación; las características sobresalientes se presentan a continuación:

Fibra de vidrio.

Las fibras ópticas de vidrio son extremadamente frágiles y difíciles de manejar en unidades sin una protección adecuada, de tal forma que en el mercado se comercializan las monofibras con diámetros inferiores a los 200 μm , con envoltura de PVC y diferentes materiales de relleno, para lograr el mejoramiento de las características mecánicas en cada hilo.

Esta diseñada para utilizarse en telecomunicación, se aplica para efectos concretos, (en la creación de destellos individuales, de muy reducido tamaño y gran intensidad), especialmente si las longitudes de la fibra son considerables.

El uso de este tipo de fibra presenta una dificultad al verse sometida cierta distancia en la fibra para la inclusión de empalmes, elevando los niveles de pérdida (atenuación).

Su aplicación esta limitada a proyectos con detalles específicos y pequeños como: los instalados para la seguridad, protección, emergencia, sensores, además de sistemas que realizan a la precisión el montaje y desmontaje de fuentes de luz, concluyendo con los elementos que viajan por separado en exposiciones itinerantes proyectadas con la ayuda de una PC.

En la tabla que a continuación se presenta, están los tipos de fibra óptica fabricada en vidrio y las características con las que cuentan para su aplicación en el campo de la iluminación; su formato define el número determinado de fibras muy delgadas con los que está fabricado, protegidos con gelatina hecha a base de petróleo, para lograr un mejor manejo acompañado de algunas hebras textiles para su mejoramiento mecánico.

Tamaño nominal	\varnothing óptico	Área óptica	\varnothing cable	No. de fibras	Radio mín. curatura
1	1,100	0,950	2,30	440	20
1 1/2	1,374	1,437	2,30	560	25
2	1,555	1,899	2,80	880	25
3	1,905	2,850	3,20	1,320	30
4	2,200	3,801	3,80	1,760	30
7	2,910	6,650	4,80	3,080	40
12	3,810	11,400	6,60	5,280	70
16	4,400	15,205	7,30	7,040	70
22	5,159	20,903	7,90	9,680	90
26	5,608	24,700	9,00	11,440	100
30	6,024	28,500	9,20	13,200	120
32	6,222	30,405	9,50	14,080	130
60	8,520	57,012	13,00	26,400	260

Tabla 2.2. Características de F. O. de vidrio

Fibras de silicio.

El vidrio de alta pureza con el que se fabrican las f. o. normales es inútil para la transmisión de rayos ultravioletas. El silicio por el contrario, es transparente a esta gama de longitudes de onda, su viscosidad a muy altas temperaturas (superiores a la de una fusión) la hacen muy útil para la extrusión y fabricación de este medio óptico.

Para la elaboración de la llamada reina de las fibras se utiliza el tetracloruro de silicio, elemento sometido a un proceso de hidrólisis en altas temperaturas para eliminar ácido en forma de vapor, para de esta forma obtener silicio prácticamente puro.

Esta fibra se presenta en formatos como: la 9/125, 50/125 y 62.5/125, en donde el primer valor determina el diámetro del núcleo, mientras que el segundo corresponde al calibre total de la fibra sin protección.

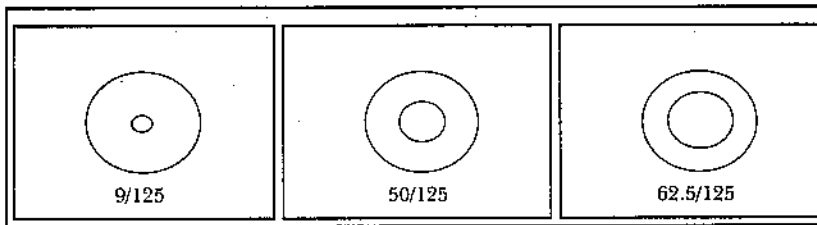


Figura 2.12. Formato de las fibras ópticas de silicio.

Su uso se limita a aplicaciones de alta calidad y rendimiento específicamente en sistemas de telecomunicación. En el área de la iluminación se aplica en pequeños reflectores para joyería, como guías de luz, acentos/destellos para movimientos y para la iluminación de objetos además de encontrarse en sistemas sofisticados de alarma y sensores.

Fibras plásticas.

Acrílico es el nombre genérico que se aplica a los derivados del ácido acrílico de los que el metacrilato de metilo y polimetacrilato de metilo PMMA son los más importantes, se caracteriza por su resistencia a la radiación ultravioleta y transparencia a los colores, contiene además estabilidad dimensional.

Las fibras ópticas plásticas están elaboradas con barras de PMMA con un revestimiento exterior de polímero fluorinado, sus características se obtienen por fabricación producto de dos métodos, por depósito del revestimiento, una vez extruido y calibrado el núcleo; y por extrusión, proceso que provoca la fabricación de fibras de mayor calidad, debido a la aplicación de instrumentos de calibración con mercurio para conseguir fibras bien definidas.

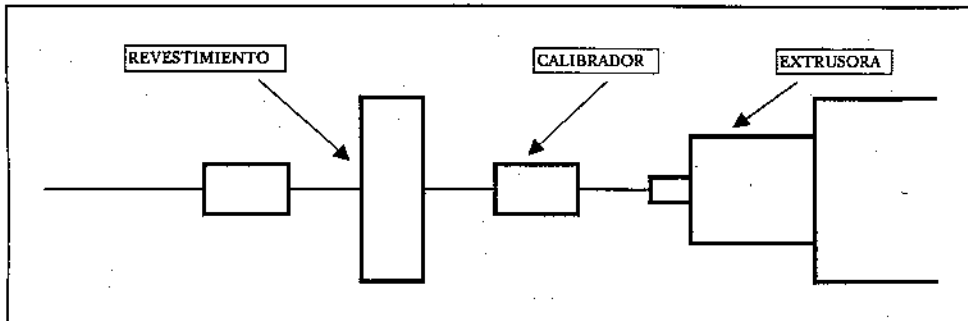


Figura 2.13. Pasos de los procesos para elaborar la f. o. plástica

Como las fibras ópticas de vidrio, las fibras ópticas plásticas se encuentran en gran variedad por todo el mercado, la pureza de su núcleo determina un valor aceptable para propiedades óptica (característica fundamental).

Las ventajas que presentan las f. o. de PMMA (plásticas) sobre las de vidrio se resumen a continuación:

1. – Un considerable ahorro económico con igualdad de prestaciones.
2. – Gran variedad de calidad y formatos.
3. – Manipulación y fabricación más sencilla de sistemas.
4. – Mayor estabilidad mecánica.
5. – Grandes diámetros en mono fibra.
6. – Mayor versatilidad en su uso.
7. – Gran facilidad para la fabricación de efectos especiales, secuencias y movimientos debido a su tamaño y a la facilidad de manipulación.

Ningún material carece de limitantes, por ello las f. o. plásticas adolecen de ciertas desventajas, como son:

8. – Rango de temperatura de uso limitado.
9. – Mayor peligro en el decapado del revestimiento debido a lo tenue y delicado de esta.
10. – El mal desempeño ante productos químicos, adhesivos y especialmente a los disolventes orgánicos.
11. – Aumenta su fragilidad con el envejecimiento del equipo.
12. – La dificultad es mayor en la obtención de buenos acabados ópticos en sus extremos.

Tamaño	∅ Fibra μ	∅ Óptico μ	Área óptica mm
1	93	87	0.0059
2	114	107	0.0090
3	250	240	0.0452
4	500	486	0.1855
5	750	735	0.4242
6	1.000	980	0.7543
7	1.500	1.470	1.6971
8	2.000	1.958	3.0110
9	2.500	2.448	4.7066
10	3.000	2.944	6.8071

Tabla 2.3. Tamaños de f. o. plásticas más usuales.

El desglose de información especificada para el medio de transmisión más novedoso en la transmisión de la información con forma de luz está definido; por otra parte, los elementos requeridos para la estructura, acoplamiento e inclusión al sistema óptico son: equipos de línea (realizan la función de emisión y recepción de información).

Los equipos de línea son equipos electrónicos activos encargados de posibilitar la transmisión de las señales ópticas a través de la fibra óptica, y en función del tipo

de equipo, realizan la conversión opto-eléctrica y/o electro-óptica de la señal presente a la entrada.

Los equipos de línea que se utilizan en las comunicaciones ópticas son:

Transmisores ópticos.

El transmisor óptico realiza la conversión electro - óptica a la señal presente en su entrada, por lo que la señal en su salida es óptica.

Su componente fundamental es el convertidor eletro - óptico (convierte la señal eléctrica en óptica).

En enlaces unidireccionales se ubican siempre en la cabecera de línea, mientras que en un enlace bidireccional se ubica en la cabecera y en el final de la línea.

Receptores ópticos

El receptor óptico realiza la conversión opto - eléctrica de la señal presente en su entrada, por lo que la señal en su salida es eléctrica.

Su componente fundamental es el convertidor opto - eléctrico (convierte la señal óptica en eléctrica).

En enlaces unidireccionales se ubican siempre al final de la línea, mientras que en enlaces bidireccionales se ubican en el final y en la cabecera de línea.

Regeneradores ópticos.

El regenerador óptico realiza una doble y simultanea función, la conversión opto - eléctrica y eletro - óptica de la señal presente en su(s) entrada(s), por lo que la señal a su(s) salida(s) es siempre óptica.

El equipo se conforma de un receptor óptico seguido de un amplificador y de un transmisor óptico, por lo que los convertidores optoelectrónicos, el amplificador de línea y el convertidor eletro - óptico, son sus mejores componentes.

Independientemente de que el enlace sea unidireccional o bidireccional se ubican siempre entre la cabecera y al final de la línea.

2.8. – Diseño del modulo transmisor.

Cuando se realiza un sistema de comunicación con fibra óptica el diseñador, además de elegir el tipo de fibra más idónea, debe seleccionar también las interfaces electrónicas adecuadas (transmisor y receptor), así como: accesorios, empalmes, conectores (Figura 2.14.). La información de tipo eléctrico no es ideal para la transmisión por fibra, debe necesariamente convertirse en luz para ser compatible con ella (fibra). El dispositivo encargado de la conversión (señal eléctrica–señal óptica) es el transmisor.

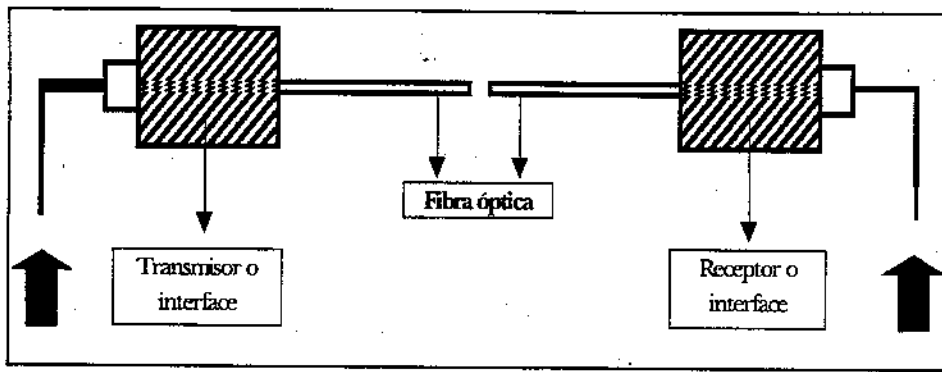


Figura 2.14 Sistema transmisor y receptor para sistema óptico.

Es un elemento fundamental en redes de comunicación ópticas, su componente básico es el convertidor electro – óptico, su función: la conversión de la señal eléctrica de datos en señal óptica (haz luminoso) adecuado para propagarse en el interior de la fibra.

La señal óptica contiene las variaciones y transiciones de su homónima eléctrica. Para corregir estos errores es necesario incluir un circuito de modulación para haz lumínico generado por fuente óptica.

En el caso de que la fuente de luz utilizada sea un diodo láser, se dispondrá de un circuito polarizador que establezca la corriente de excitación del láser dentro de la zona de ganancia o de efecto láser.

En el diagrama de flujo (Fig. 2.15), se presentan las características y los puntos indispensables para el diseño de un transmisor, además de sus datos característicos.

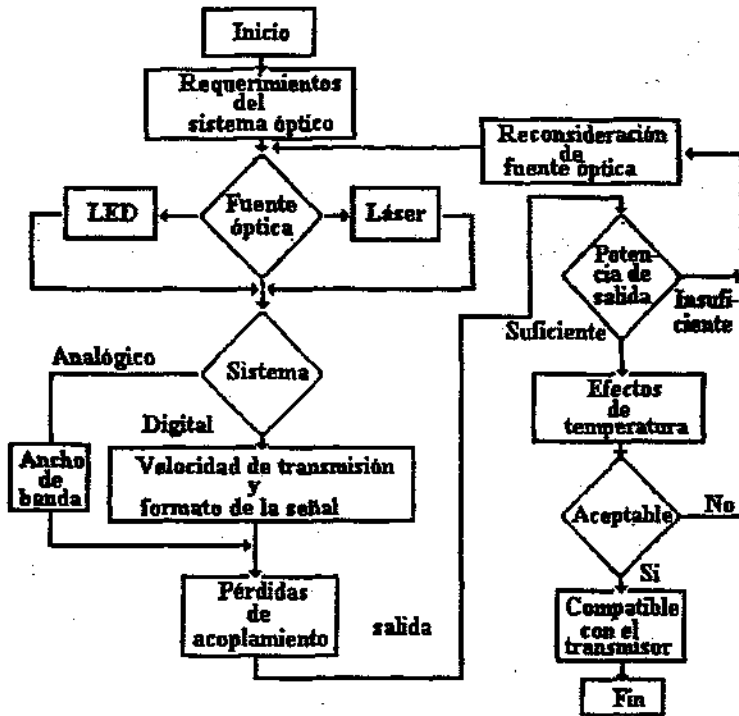


Figura 2.15. Diagrama de flujo para el diseño de un transmisor.

Estabilizar la corriente de excitación en el diodo láser permite mantener constante la potencia de luz a la salida, por estar en función de la corriente de umbral de polarización continua y de la corriente de modulación variable en el tiempo debida a los altibajos en la señal por la transmisión de información en forma conjunta, y es apreciable en circuitos de control o en estabilizadores de temperatura.

Es factor determinante (transmisor) en la vida útil del sistema de comunicación, se somete a la calibración para mantener estabilidad en el dispositivo, en el punto de trabajo y en la potencia lumínica de salida en un diodo láser.

El control, la estabilidad y la calibración de la potencia lumínica generada por la fuente de luz análoga (fuente con diodos láser), producirá que el valor de la potencia lumínica de salida no supere el valor de umbral, aumentando la vida útil en la fuente de luz.

* Definición en la pág. 92

Por tanto, el parámetro a controlar en los transmisores ópticos es la estabilidad de la potencia lumínica de salida en dicho dispositivo.

Esta potencia depende básicamente de la temperatura y de las horas de funcionamiento del transmisor óptico.

En el caso de los diodos láser, la estabilidad depende del número de horas en las que esta funcionando, ya que su desgaste es demasiado rápido al aumentar el número de las mismas, mientras que los diodos tipo led dependen de las horas de funcionamiento pero en un orden menor.

Ahora, para el control de la potencia de salida en un transmisor óptico se aconseja lo siguiente:

1. – Ejercer un control directo sobre la potencia lumínica de salida, el cual consiste en realizar un muestreo a una fracción de la misma, al obtener el valor que actúa sobre el circuito de control, el circuito antes mencionado realizará de manera propia las correcciones necesarias para mantener la estabilidad en la potencia lumínica.
2. – Por el contrario cuando se utiliza el control indirecto (no se utiliza el muestreo a una fracción de la potencia lumínica de salida) se actúa sobre la corriente de excitación en la potencia de salida entregada por su temperatura, y se comparan los valores con los dispuestos en las gráficas de variación de ambas, suministradas por el fabricante para mantener su control.

En el método de control directo la muestra se toma por medio de un fotodiodo colocado en la parte trasera de la fuente de luz.

La señal eléctrica presente a la salida del fotodiodo es proporcional a la luz detectada y por tanto, a la potencia lumínica que entrega la fuente.

Otra posibilidad es ubicar el fotodiodo acoplado a la fibra óptica, enlazando las salidas ópticas de la fuente de luz y del transmisor (esto se obtiene al desnudar la f. o. de las protecciones secundarias) permitiendo al fotodiodo detectar los modos de orden superior que viajan por el revestimiento de la fibra, para ser proporcional a la potencia lumínica entregada por la fuente.

El método de control directo es más preciso, pues el método de control indirecto no se considera por el envejecimiento sufrido por los componentes.

El envejecimiento que sufren los componentes de los transmisores ópticos se acentúa en los generadores de luz, particularmente en los diodos láser

provocando, una variación en las características nominales y la imprecisión en el control de la potencia lumínica a la salida de la fuente.

El factor de mayor cuidado es la estabilidad del nivel de temperatura, parámetro presente en los equipos de comunicación (su valor debe ser llevado por debajo de la temperatura ambiente para garantizar la vida útil de los mismos).

El diagrama de bloque que se representa en la figura 2.16 ilustra un transmisor óptico en el que la fuente de luz está equipada con un control directo de la potencia lumínica.

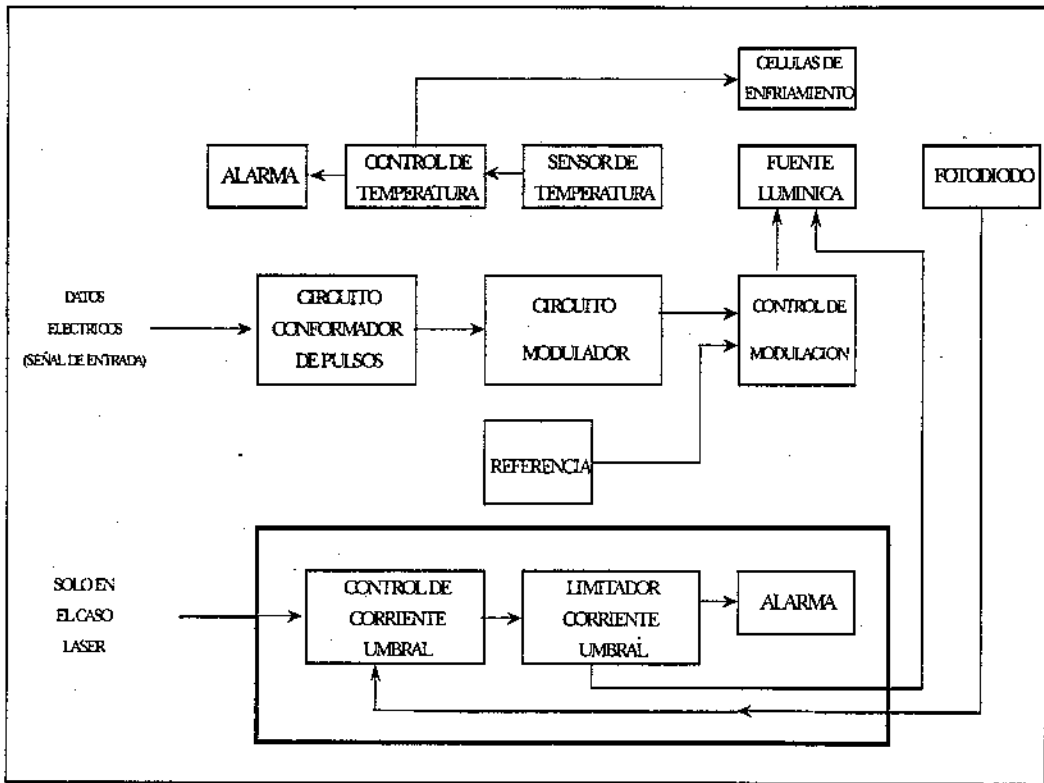


Figura 2.16. Transmisor óptico equipado con un control directo de potencia.

El diagrama a bloques de la figura 2.17. representa un transmisor óptico en el que la fuente de luz está equipada con un control indirecto de la potencia lumínica.

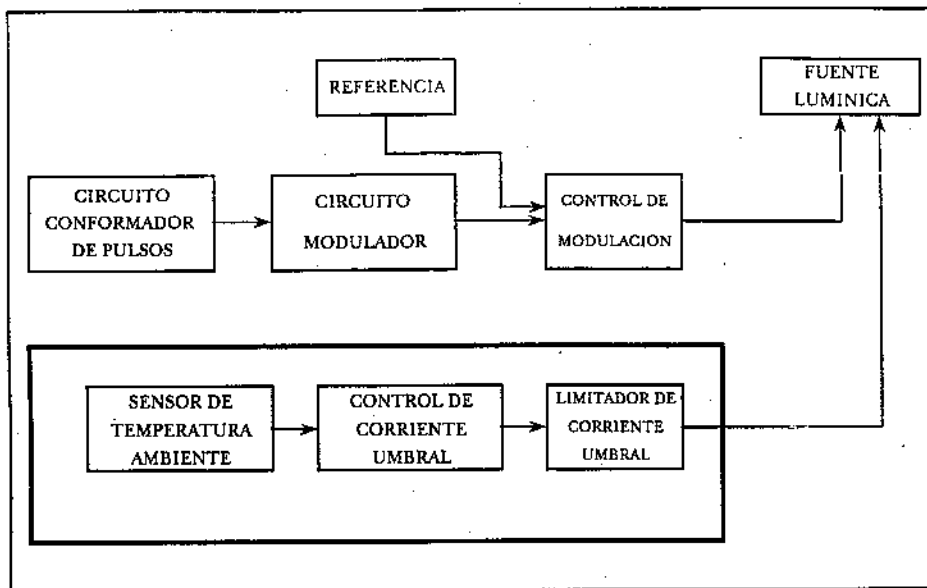


Figura 2.17. Transmisor óptico equipado con un control indirecto de potencia.

2.9. – Diseño del modulo receptor.

La recepción cuenta con un elemento útil en redes de comunicación óptica, su composición esta representada por el convertidor opto – eléctrico (realiza la conversión de haz luminoso propagado a través de la fibra en señal eléctrica), este componente es el receptor.

Existe toda una serie de metodologías para la selección de receptores ópticos, a continuación se presenta un resumen de estos a través de un diagrama de flujo (figura 2.18).

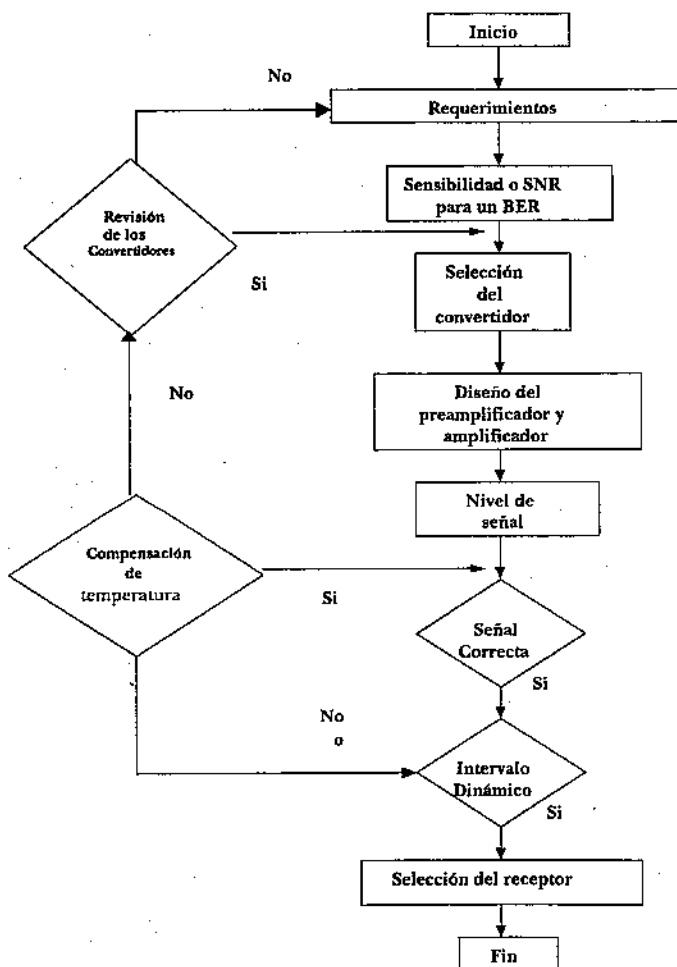


Figura 2.18. Metodología para la selección de receptores ópticos

El convertidor opto-eléctrico realiza el proceso de la fotodetección (transformación de fotones a electrones).

El receptor óptico está formado por el convertidor opto-eléctrico, una serie de circuitos adicionales que controlan el nivel de la señal y el ancho de banda, que evitan no distorsionar la información en esta.

La señal eléctrica sigue las variaciones y transiciones de su homónima óptica. Por lo que es indispensable la inclusión de un circuito de demodulación cuando la señal fue modulada por el transmisor óptico.

Los parámetros principales para receptores ópticos son:

Tasa de error de bit BER (bit error rate)

La tasa de error de bit es el máximo número de bits erróneos admisibles en recepción con respecto al número total de bits presentes en la emisión.

Su valor determina la calidad del equipo transmisor y receptor óptico, cuando son procesadas señales digitales.

La tasa de error de bit que habitualmente se exige a los sistemas de comunicaciones digitales por fibra óptica es del valor de 1×10^{-10} , representado por el valor señal/ruido de 22dB (en el receptor).

La figura 2.19. representa la correspondencia que existe entre la tasa de error de bits y la relación señal/ruido expresada en dB presente en el receptor para sistemas digitales.

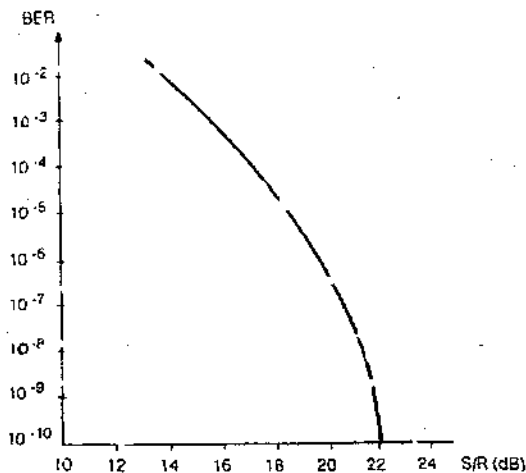


Figura 2.19. Variación del BER contra la relación señal a ruido

Margen dinámico

Es el término característico de un receptor óptico definido por el valor comprendido entre la mínima potencia óptica presente en la entrada del convertidor opto - eléctrico (que garantiza obtener la tasa de error de bit deseada) y el valor de la máxima potencia óptica soportada por el receptor óptico sin producir variación alguna en la tasa de error de bit preestablecida.

El margen es acotado entre dos valores de potencia óptica expresados en unidades de potencia eléctrica dBm o μm , en el que el valor de BER especificado no debe cambiar.

Sensibilidad

Es la segunda característica fundamental del receptor óptico, definida como la mínima potencia óptica presente a la entrada del convertidor opto - eléctrico necesaria para tener una tasa de error de bit deseada.

Por tanto, los dos valores inferiores de la potencia óptica determinan la sensibilidad, mientras su protección (receptor óptico) es definida por el valor superior.

Topología para receptores ópticos.

Los elementos o etapas que caracterizan a un receptor óptico deberán permanecer inalterables con la excepción del convertidor opto - eléctrico y su circuito de polarización asociado, por su utilidad en la función del modulador para el sistema analógico o del decodificador en caso de un sistema digital.

El diagrama a bloques de la Figura 2.20 representa un receptor óptico en el que están consideradas las etapas características.

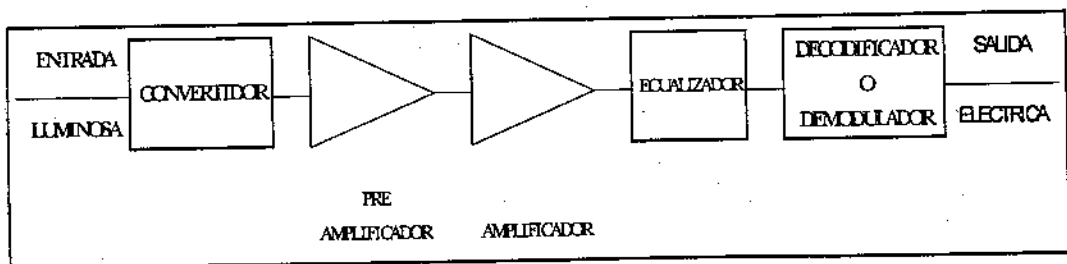


Figura 2.20 Etapa características de un receptor óptico

La configuración del convertidor opto - eléctrico y su circuito de polarización asociado se construyen con base a dos criterios (topologías de entrada básicas), una de ellas es la etapa con alta impedancia de entrada y la otra es la etapa con entrada por transimpedancia.

En la segunda topología, la etapa de entrada se utiliza como una realimentación en paralelo para elevar la ganancia del preamplificador, teniendo ventaja, al contar con un valor elevado en el margen dinámico para el receptor (no esta obligado a realizar el proceso de ecualización) provocando el inconveniente de arrojar una sensibilidad receptiva desfavorable.

En la otra topología la etapa de entrada es caracterizada por alta impedancia, aquí se utiliza un amplificador sin realimentar, para obtener un nivel de ruido térmico mínimo y aumentando a la par la sensibilidad del receptor con margen dinámico aceptable.

El margen dinámico de la primera topología es suficiente para mantener la operación si bien no es tan elevado como el de la segunda, presenta el problema de encontrarse determinado por el tipo de código de línea utilizado, provocando así, desequilibrio en el punto de trabajo destinado al preamplificador, obligando al uso de la etapa de ecualización.

Esta topología permite aproximarnos a los valores teóricos máximos de sensibilidad, a pesar de ser la más difícil de diseñar.

Apoyados en la función del conversor opto - eléctrico a utilizar, se seleccionará la topología del receptor óptico.

Con los fotodetectores se utiliza la topología de entrada por transimpedancia, para detectores con PIN o PIN - FET se adopta la topología de alta impedancia de entrada.

Actualmente los receptores ópticos se construyen de convertidor opto - eléctrico PIN - FET y topología de alta impedancia de entrada.

La figura 2.21 representa la comparación entre sensibilidad y velocidad de transmisión en los receptores ópticos para una longitud de onda de 850 nm con tasa de error de bit de 1×10^{-9} .

El eje de las abscisas representa la velocidad de transmisión expresada en Mbit/s, mientras que el eje de las ordenadas representa la sensibilidad expresada en dB.

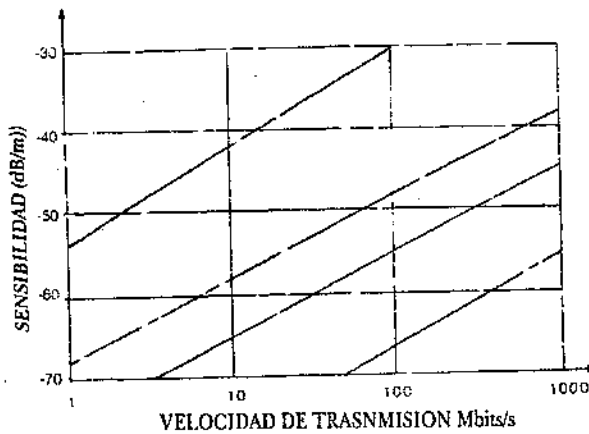


Figura 2.21 Gráfica comparativa entre velocidad de transmisión y sensibilidad.

Ahora, en la figura 2.22 se muestra la gráfica de la comparación entre la sensibilidad y la velocidad de transmisión de los tres tipos de receptores ópticos para una longitud de onda de 1300 nm con tasa de error de bit de 1×10^{-9} .

El eje de las abscisas representa la velocidad de transmisión expresada en Mbits/s, mientras que el eje de las ordenadas representa la sensibilidad expresada en dB.

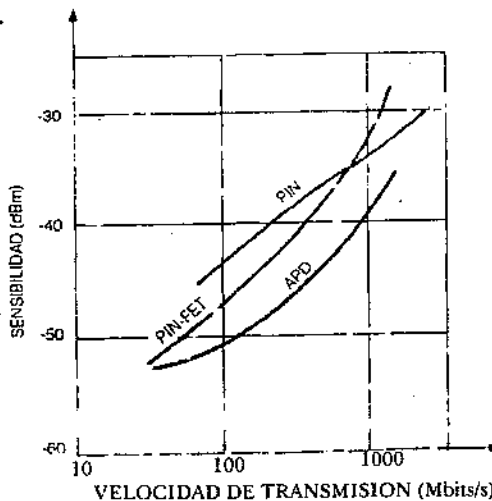


Figura 2.22 Gráfica comparativa entre la sensibilidad y velocidad de transmisión de los tres tipos de receptores ópticos para longitudes de 1300 nm.

Parámetros de los Componentes Opto - Eléctricos

Como el convertidor opto - eléctrico es el componente básico de los receptores ópticos, a continuación se describen los parámetros característicos que definen la calidad de estos dispositivos.

- Eficiencia cuántica.

Es la relación existente entre el número de electrones generados y el número de fotones incidentes.

- Factor de multiplicación.

Es el factor de proporcionalidad existente entre cada electrón primario generado por un fotón y los electrones secundarios generados por el propio convertidor. Es un parámetro exclusivo de los fotodetectores de avalancha.

- Factor de exceso de ruido.

Determina el valor del ruido asociado a la señal.

- Responsividad.

Es la relación existente entre la intensidad de la corriente eléctrica generada por el convertidor y la potencia lumínica incidente en el mismo convertidor, representa por tanto, el rendimiento del dispositivo (convertidor opto - eléctrico).

- Resistencia equivalente.

Es el valor expresado en ohmios de la resistencia total eléctrica del dispositivo (convertidor opto - eléctrico).

- Respuesta temporal.

Representa el tiempo de respuesta o retardo con que el convertidor opto - eléctrico responde ante los impulsos lumínicos incidentes.

- Corriente de oscuridad.

Es el valor de la corriente presente en la salida del convertidor en ausencia de impulso lumínico incidente en la entrada del convertidor.

- Potencia equivalente de ruido NEP(noise equiv power)

Es la potencia lumínica necesaria en la entrada del convertidor para lograr una relación señal/ruido igual a la unidad para un valor determinado del ancho de banda.

2.10. – Modulo regenerador.

El dispositivo que mantiene la capacidad de la señal (valor constante de la potencia a todo lo largo de la fibra) en las redes de comunicación ópticas se llama regenerador, porque amplifica la señal en forma de luz presente a la entrada para su regeneración, entregando siempre a la salida una señal óptica.

Independientemente de que el enlace sea unidireccional o bidireccional, son elementos unidireccionales que se ubican entre las partes intermedias de cada línea cuando la distancia es larga.

Estos elementos ópticos al igual que todos los equipos que se utilizan en las comunicaciones ópticas (sistemas de transmisión óptica o equipos de línea ópticos) se caracterizan de forma análoga a sus homónimos eléctricos por trabajar con energía eléctrica sin depender de parámetros totalmente ópticos (en estudio actualmente).

El parámetro característico de los regeneradores ópticos esta en los enlaces ópticos y se constituye por una sección de regeneración para enlace, representando el alcance máximo o la distancia máxima posible de cubrir con un transmisor y un receptor óptico sin regenerar la señal.

En caso de que la distancia que hay que cubrir en el enlace fuese mayor a la sección de regeneración del enlace, será necesario el uso de regeneradores ópticos encargados de la amplificación y regeneración de la señal óptica.

La sección de regeneración del enlace depende del nivel de potencia óptica presente en la salida del transmisor óptico y del margen dinámico del receptor óptico.

La sección de regeneración del enlace depende de varios factores, como:

- Características de la fibra óptica.
- Características de los equipos de línea.
- Características de las señales por transmitir.
- Distancia del enlace.

Los equipos regeneradores de línea utilizados en comunicaciones ópticas son los equipos de supervisión, control de fallas o error en la transmisión; los equipos de protección y desconexión automática en caso de una interrupción en la fibra óptica están formados principalmente por transmisores ópticos implementados con diodos láser.

En función de la técnica empleada para la amplificación y regeneración de la señal óptica es posible distinguir dos tipos de regeneradores ópticos: regeneradores ópticos convencionales y regeneradores ópticos de fibra activa.

Regeneradores ópticos convencionales

Dispositivos convencionales que realizan una doble y simultánea conversión opto-eléctrica de la señal presente en su(s) entrada(s), por lo que la señal en su(s) salida(s) es siempre óptica.

El equipo está conformado por un receptor óptico seguido de un amplificador y un transmisor óptico, sus componentes fundamentales son el convertidor opto-eléctrico, el amplificador de línea y el convertidor electro-óptico.

Las señales presentes a la entrada de los transmisores ópticos y en la salida de los receptores ópticos son siempre señales eléctricas convertidas en luz permitiendo su propagación por la fibra óptica.

Como primer paso se realiza la conversión opto-eléctrica de la señal, para seguidamente, iniciar el proceso de regeneración y amplificación, en la segunda conversión electro-óptica de la señal.

En los regeneradores ópticos normales las señales presentes en las entradas y salidas son siempre ópticas, sin embargo, estos equipos se caracterizan por usar parámetros eléctricos (energía eléctrica) para funcionar.

Los valores normales de las secciones de regeneración (en regeneradores ópticos convencionales) equipados con diodo láser y fibras ópticas monomodo optimizadas para trabajar a una longitud de onda 1310 nm, son del orden de 45 kilómetros.

Regeneradores ópticos de fibra activa (EDFA)

Los regeneradores ópticos de fibra activa (conocidos como amplificadores ópticos de fibra activa o amplificadores ópticos de fibra óptica dopada con Erblio), son los únicos capaces de presentar en su salida una señal óptica íntegra tras realizar la conversión óptica-óptica de la señal presente en su entrada.

Se trata del único tipo de regenerador en el que se realiza la "amplificación y regeneración óptica" de la señal en el más estricto sentido del término.

Este tipo de regenerador emplea la tecnología de la fibra óptica activa y se implementa mediante la inclusión de un tramo de fibra óptica dopada con Erblio (EDFA) donde se produce la conversión de energía lumínica aportada por una fuente de diodo láser externo; esta energía lumínica contiene las mismas características que la señal óptica de entrada. Obteniendo de este manera, una señal óptica de salida con mayor potencia lumínica e idénticos valores de longitud de onda y fase a la señal óptica presente en la entrada.

La utilidad de las fibras ópticas dopadas con Erblio en los regeneradores ópticos, se basa en la función de los iones de Erblio; absorción de fotones bombeados por la fuente láser externa provocando un incremento en la banda de energía a sus electrones, alcanzando un nivel en los mismos como si la fuente láser se encontrara en estado de reposo.

Desde este nuevo nivel, los electrones descienden a un nuevo estado llamado metaestable, una vez aquí, la incidencia de un fotón de señal en el tramo de la fibra óptica dopada con Erblio obliga a un electrón en estado metaestable, a retornar a su nivel de reposo liberando su energía en forma de un fotón estimulado con idéntica longitud de onda y fase que el fotón de la señal de incidencia.

La repetición de este proceso de forma sucesiva a lo largo del tramo de fibra óptica dopada de Erblio, provoca la amplificación óptica de la señal incidente en el mismo.

Los amplificadores ópticos de fibra dopada de Erblio, son elementos ópticos activos unidireccionales que realizan la amplificación del nivel de la señal óptica presente en su entrada de forma directa y sin pasos intermedios entre las conversiones opto-eléctrica y eletro-óptica.

La siguiente figura (Figura 2.23) representa el diagrama a bloques característico de un amplificador óptico realimentado con la tecnología de la fibra activa.

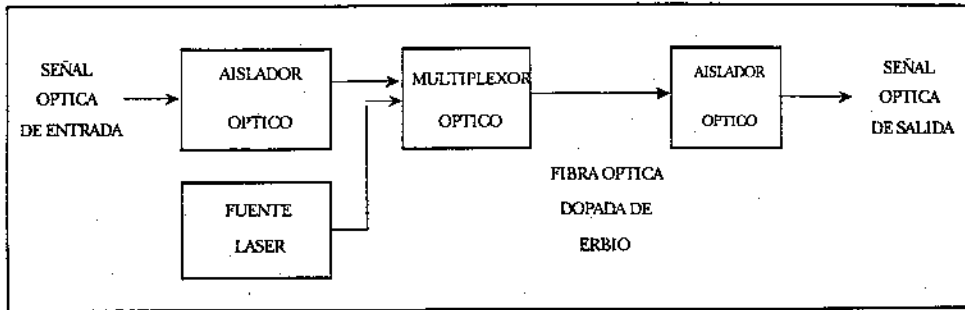


Figura 2.23. Diagrama a bloques de amplificador dopado de Erblio.

La señal óptica de entrada incide en un aislador óptico que permite únicamente propagar al haz lumínico en un solo sentido, y lo guía hacia uno de los puertos de entrada del multiplexor.

En el puerto de entrada restante del multiplexor óptico se inserta el haz lumínico bombeado por una fuente de luz (diodo láser).

El haz lumínico presente en el puerto (de salida) del multiplexor óptico se encuentra acoplado de forma simultánea a la señal óptica de entrada y al pulso lumínico bombeado por el diodo láser.

Enseguida, el pulso lumínico multiplexado en longitud de onda se inserta en el tramo de fibra óptica dopada con Erblio para producir la amplificación óptica de la señal, obteniendo en el puerto de salida una señal con mayor potencia óptica e idénticos valores (longitud de onda y fase) que la señal a la entrada.

El último paso consiste en obligar a la señal óptica de entrada amplificada ópticamente a incidir en un nuevo aislador óptico que, permite únicamente propagar al haz lumínico en el sentido de propagación estipulado, para encontrarse con la señal óptica amplificada ópticamente en el puerto de salida del amplificador óptico.

En el caso de los amplificadores ópticos comerciales basados en esta técnica, para enlaces en los que se utilizan fibras ópticas monomodo conforme a la recomendación G-653 del C.C.I.T.T. los valores de longitud de onda están comprendidos desde 1530 nm hasta 1560 nm, mientras que el valor de la longitud de onda de trabajo para el diodo láser está prefijada en 980 nm.

TEMA 3. TRANSMISION Y RECEPCION DE DATOS PUNTO A PUNTO.

3.1. – Protocolo de Comunicación (Modbus)

Es un lenguaje utilizado por todos los controladores Modicon. Este protocolo (Modbus) define una estructura de mensajes que ayuda al intercambio de información, sin tener daño alguno en la red que se utilice al momento del enlace de comunicación. Su función define el proceso que utiliza un controlador para solicitar acceso a otro dispositivo, las respuestas a las peticiones desde otros dispositivos y la detección o notificación de errores, estipulando un formato para disponer y conocer la información con la que se cuenta para la comunicación.

Método estándar ubicado en el interior de los controladores para el análisis de mensajes durante la comunicación, asignando una dirección al dispositivo para su identificación, conociendo de este forma el destino del mensaje, cuenta con un programa inteligente que establece el tipo de acción a tomar, logrando la extracción de datos u otra información dentro del mensaje. Si se requiere de una respuesta, el controlador construirá el mensaje respuesta y lo enviará con ayuda del protocolo Modbus.

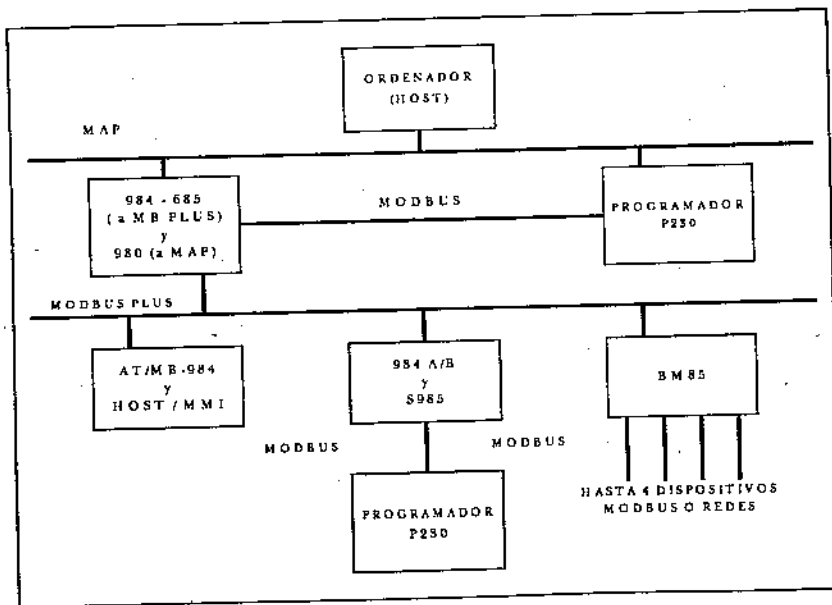


Figura 3.1. Vista general de aplicación del protocolo Modbus

En la figura 3.1 se muestra la interconexión de dispositivos en jerarquía de redes que emplean técnicas de comunicación que difieren ampliamente. En la transacción de mensajes, el protocolo Modbus integrado en la estructura de paquetes (de una red), proporciona el lenguaje común para que los dispositivos pueden intercambiar los datos.

Los puertos estándar de los controladores utilizan una interfase serie compatible (RS-232). Esta interfase pertenece a la norma EIA-232 y las patillas definen el conector, cableado, nivel de la señal, velocidad de transmisión y control de paridad; los controladores pueden ser conectados directamente a red directamente o vía modems.

Estos dispositivos (controladores) se comunican usando la técnica de maestro esclavo, en la cual sólo un dispositivo (maestro) puede iniciar transacciones (peticiones - "queries"), mientras que el otro (esclavo) responde suministrando al maestro el dato solicitado o la acción solicitada en la petición por realizar. Como (dispositivo) maestro típicos se conocen los procesadores centrales y los paneles de programación, el (dispositivo) esclavo está incluido en los PLC's (controladores programables).

La importancia de utilizar este lenguaje de comunicación radica en el uso de peticiones y respuestas, su definición es descrita a continuación;

Petición.

El código de función en la petición es, indicar al dispositivo esclavo seleccionado el tipo de acción a realizar. Los bytes de datos contienen cualquier información adicional que el esclavo necesitará para llevar a cabo la función. Por ejemplo, el código de función 03 pedirá al esclavo que lea los registros mantenidos (holding regs.) y responda con sus contenidos. El campo de datos debe contener la información que de la indicación al esclavo del registro en el que va a comenzar y cuántos va a leer. El campo de comprobación de error proporciona el método para que el esclavo valide la integridad del contenido del mensaje recibido.

Respuesta.

Si el esclavo elabora una respuesta normal, el código de función contenido en la respuesta es una replica del código de función enviado en la petición. Los bytes de datos contienen información recolectada por el esclavo como, valores de registros o estados. Ocurre un error, cuando el código de función contenido en la respuesta es diferente al código de función enviado en la petición, indicando de

esta manera que la respuesta es un error y los bytes de datos contienen un código que demuestra la presencia de un error. El campo de comprobación de error permite al maestro confirmar que los contenidos del mensaje son válidos: para ello se establece el ciclo petición - respuesta, y esta ilustrado en la figura 3.2.

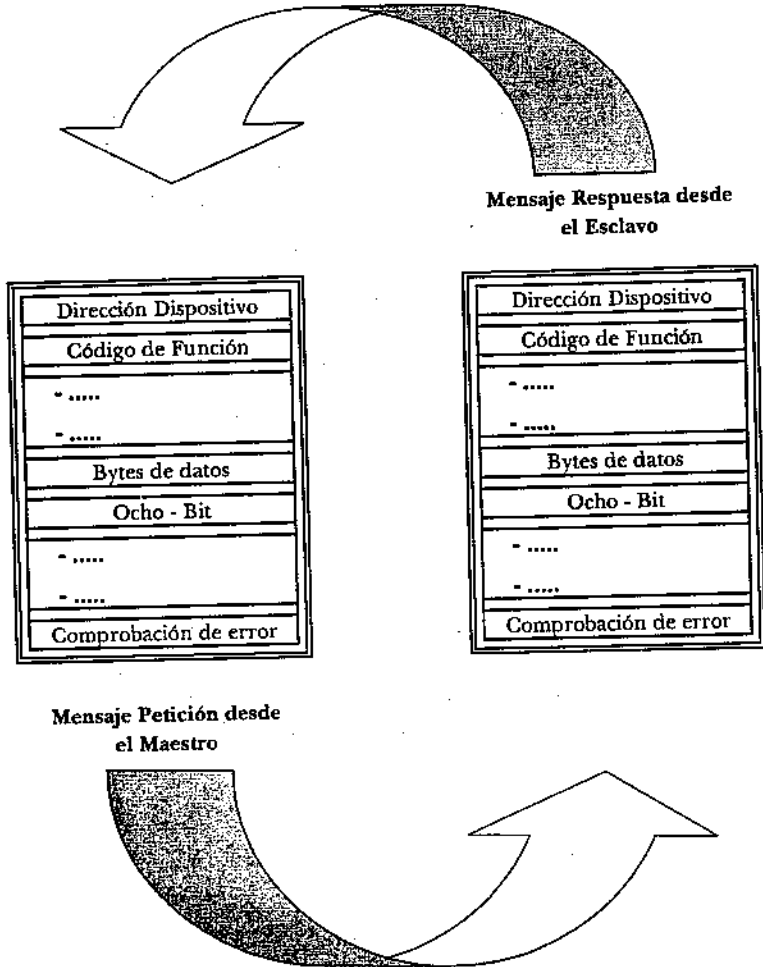


Figura 3.2. Esquema de la acción realizada por el Protocolo en un Ciclo de petición - respuesta.

3.1.1. Modos de transmisión

El formato para cada byte en modo ASCII es:

Sistema de codificación:	Hexadecimal, caracteres ASCII 0-9, A-F. Un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII de mensaje.
Bits por byte:	1 bit de arranque. 7 bits de datos, el menos significativo se envía primero. 1 bit para paridad Par o impar; ningún bit para no-paridad. 1 bit de paro si se usa paridad; 2 bits si no hay paridad.
Campo de comprobación de error:	Comprobación Longitudinal Redundante (LRC).

Modo RTU

Cuando los controladores son configurados para realizar la comunicación en modo RTU (Remote Terminal Unit) cada byte de 8 bits en un mensaje contiene dos dígitos hexadecimales de 4 bits. Su ventaja se determina por la alta densidad en carácter, permitiendo un mejor rendimiento en comparación con el otro modo a la misma velocidad de transmisión, enviando en flujo continuo cada mensaje.

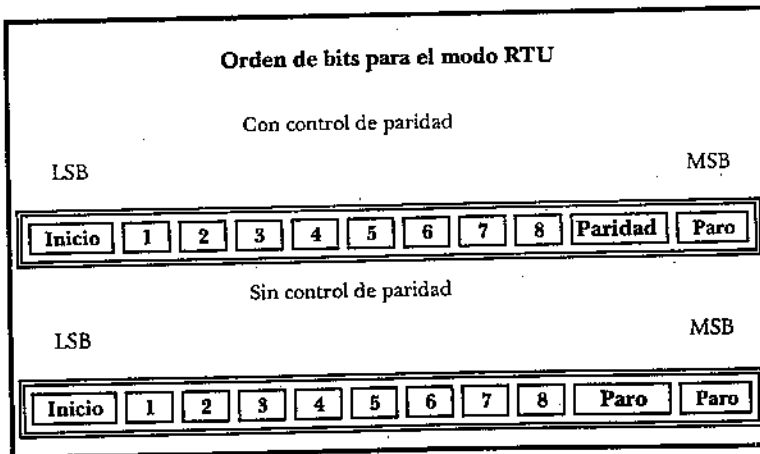


Fig. 3.4. – En dicha figura se puede ver cuando los mensajes son transmitidos y cada carácter es enviado de izquierda (LSD) a derecha (MSD).

El formato para cada byte en modo RTU es:

Sistema de codificación:	Binario 8-bits, hexadecimal 0-9, A-F. Dos dígitos hexadecimal contenidos en cada campo de 8 bits del mensaje.
Bits por byte:	1 bit de arranque. 8 bits de datos, el menos significativo se envía primero. 1 bit para paridad Par o Impar: ningún bit para no Paridad. 1 bit de paro si usa paridad; 2 bits si no lo hay.
Campo de comprobación de error:	Comprobación Cíclica Redundante (CRC).

3.1.2. Modos de comprobación de error.

Comprobación longitudinal redundante (LRC)

En el modo ASCII, los mensajes incluyen un campo de comprobación de error basado en un método conocido como LRC. Este campo (LRC) controla el contenido del mensaje, a excepción de los dos puntos (:) del comienzo y el par CRLF. Se aplica independientemente de cualquier método de paridad a utilizar para caracteres individuales en cada mensaje.

Este campo (LRC) es un byte, contiene un valor binario de ocho bits. El valor LRC es calculado por el dispositivo emisor, que añade el LRC al mensaje. El dispositivo receptor calcula el LRC durante la recepción del mensaje y compara el valor calculado con el valor recibido en dicho campo. Si los dos valores no son iguales, resulta un error.

El valor LRC se calcula sumando entre sí los bytes sucesivos del mensaje, descartando cualquier acarreo, complementando a dos el valor resultante. Se realiza sobre el contenido del campo de mensaje ASCII excluyendo el carácter simbolizado por dos puntos (:) en el comienzo (del mensaje) y la exclusión del par CRLF al final del mensaje.

En la lógica de programación de controladores, la función CKSM calcula el LRC en base al contenido del mensaje.

Comprobación de redundancia cíclica (CRC)

En modo RTU, los mensajes incluyen un campo de comprobación de error con base en un método de redundancia cíclica (CRC). El campo CRC controla el contenido del mensaje completo. Se aplica independientemente al tipo de método de control de paridad utilizado por los caracteres individuales del mensaje.

El campo (CRC) es de dos bytes, conteniendo un valor binario de 16 bits. Su valor es calculado por el dispositivo emisor, que añade el CRC al mensaje. El dispositivo receptor calcula el CRC durante la recepción del mensaje y lo compara con el valor recibido en el campo. Si los dos valores no son iguales, resulta un error.

Para el cálculo del valor CRC, Modbus sé precarga con un registro de 16 bits, todos ellos al estado lógico 1. A continuación inicia el proceso para la toma de los bytes sucesivos al mensaje y los opera con el contenido del registro, actualiza los

bytes sucesivos al mensaje y los opera con el contenido del registro, obteniendo un resultado actual. Sólo los 8 bits de dato de cada carácter son utilizados para generar el CRC. Los bits de arranque, par y el bit de paridad, no se toman en cuenta para el CRC.

Durante la CRC, se efectúa una operación booleana OR exclusivo (XOR) a cada carácter de 8 bits con el contenido del registro. Por tanto, al resultado se le aplica un desplazamiento de bit en la dirección del bit menos significativo (LSB), rellenando la posición con el bit más significativo (MSB) con un cero. El LSB es extraído y examinado. Si el LSB extraído fuese un 1, se realiza un XOR entre el registro y un valor fijo preestablecido (A001 No. Hexadecimal correspondiente al polinomio generador CRC16 "Inverso", que es aplicado al CRC en Modbus). Si el LSB fuese un 0, no se efectúa el XOR.

Este proceso se repite hasta cumplir 8 desplazamientos. Después del último desplazamiento (el octavo), el próximo byte es operado XOR con el valor actual del registro y el proceso es repetitivo así hasta ocho desplazamientos más con todos los bytes del mensaje. El contenido final del registro, después de que todos los bytes del mensaje son procesados, cuenta con el valor de CRC.

Cuando el CRC es añadido al mensaje, primero se añade el byte de orden bajo seguido del byte de orden alto.

3.2. Estandar de comunicación EIA-232

El estándar de comunicación EIA-232 esta representado por un puerto serial conocido como RS-232 (disponible en los ordenadores actuales), es fabricado en base a la tercera revisión de la antigua norma que había sido propuesta por la EIA(Asociación de Industrias Electrónicas) se creó con el propósito de contar con una interfaz entre equipos terminales de datos(Data Terminal Equipment, **DTE**) y el equipo de comunicación de datos(Data Communications Equipment, **DCE**), para emplearse en el intercambio serial de datos binarios.

El dispositivo RS-232 tiene una velocidad máxima de 19,200 baudios y una longitud máxima de cable de 50 pies (aproximadamente 16 metros), actualmente con la incursión de la fibra óptica como medio de comunicación, una fibra tipo monomodo hace posible establecer una recepción y transmisión de datos hasta por 50 Km de distancia como mínimo.

Este elemento serial (RS-232) se forma con un conector tipo DB-25 de 25 pines, aún cuando la configuración original del estándar no especifica un conector en particular, es común encontrarlo en la versión de 9 pines (DB-9), que es más barato y útil para cierto tipo de periféricos, además es un conector indispensable para dar paso a una comunicación asíncrona.

Las señales con las que trabaja este puerto son digitales, de +12 v (0 lógico) y -12v (1 lógico), para entrada y salida de datos; a la inversa es útil para señales de control, el estado de reposo a la entrada y a la salida de información se encuentra en los -12v.

Los circuitos con los que cuenta este dispositivo, se identifican con letras, tienen un número de poste cada patilla del conector DB-25 o DB-9 y una función específica para la señal de información a manipular, el ejemplo se presenta a continuación:

- | | |
|---|------------------------------|
| A | Circuito común |
| B | Circuito de señal |
| C | Circuito de control |
| D | Circuito de cronometrización |

Con la intención de establecer la mejor interpretación posible de los circuitos anteriores, se muestra en la tabla 3.1. el contenido de la estructura del dispositivo, el número de pines y la actividad a realizar por cada uno de ellos.

Circuito	No. de circuito V.24	No. de poste DB-25	No. de poste DB-9	Nombre de la señal
AA	101	1	-	Protección a tierra
AB	102	7	5	Tierra
BA	103	2	3	Transmisión de datos (TX)
BB	104	3	2	Recepción de datos (RX)
CA	105	4	7	Solicitud de envío (RTS)
CB	106	5	8	Autorización de envío (CTS)
CC	107	6	6	Datos listos para enviar (DRS)
CD	108	20	4	Terminal de datos lista (DTR)
CE	125	22	9	Detector de llamada
CF	109	8	1	Detección de portadora (DCD)
CG	110	21	-	Detección de calidad de señal
CH/CI	111 / 112	23	-	Selector de velocidad de señal de datos
DA	113	24	-	Cronómetro de la señal emisora (DTE)
DB	114	15	-	Cronómetro de la señal de transmisión del transmisor (DCE)
DD	115	17	-	Cronómetro de la señal del receptor
SBA	118	14	-	TX secundario
SBB	119	16	-	RX secundario
SCA	120	19	-	RTS secundario
SCB	121	13	-	CTS secundario
SCF	12	12	-	Detector de portadora (CD) secundario
		9	-	Reservado Positivo de prueba
		10	-	Reservado Negativo de prueba
		11	-	S / C
		18	-	S / C
		19	-	S / C

Tabla 3.1. - Circuitos en el conector DB - 25.

AA: Protección a tierra.

Esta línea va conectada al neutro de la línea de alimentación del adaptador serial. No debe ser utilizada como tierra de la señal, sino que debe de ir conectada al blindaje del cableado, si existe. Es implementada en ambos lados de la comunicación para asegurar que no haya grandes corrientes fluyendo en la tierra de la señal debido a un efecto de aislamiento o algún otro defecto en cualquier punto del cableado.

Por otra parte, cuando dos dispositivos están separados por grandes distancias no debe utilizarse, debido a la diferencia de potencial que existe entre los equipos y puede dar origen a la conducción de, una posible corriente importante como bucle a tierra; produciendo en todo caso una falla en la línea (causando interferencia eléctrica).

AB: señal de tierra

Esta es la tierra lógica utilizada como punto de referencia para todas las señales recibidas y transmitidas. Es indispensable por su presencia en las comunicaciones.

BA: Transmisión de datos (TX)

Esta línea es utilizada para transmitir datos desde el DTE al DCE. Es mantenida en estado lógico 1 cuando nada se transmite. La terminal comenzará a transmitir cuando un 1 lógico se encuentre presente en las siguientes líneas:

- Autorización de envío.
- Terminal de datos lista.
- Datos listos para enviar.
- Detección de portadora.

BB: Recepción de datos (RX)

Este circuito se utiliza para recibir datos desde el DTE al DCE. La terminal comenzará a transmitir cuando un 1 lógico está presente en las siguientes líneas:

- Autorización de envío.
- Terminal de datos lista.
- Datos listos para enviar.
- Detección de portadora.

El estándar especifica que los niveles de salida son -5 a -15 volts para el 1 lógico y +5 a +15 volts para el 0 lógico, mientras que los niveles de entrada son -3 a -15 volts para un 1 lógico y +3 a +15 volts para un 0 lógico.

Con esto, se asegura la forma correcta de lectura para los bits sin importar la distancia entre la DTE y la DCE, por que cuenta con soporte a mayor distancia con la ayuda de la fibra utilizada.

CA: Solicitud de envío (RTS)

En esta línea el DTE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DCE. El DCE revisa esta línea para conocer el estado del DTE y conocer si puede enviar datos.

CB: Autorización de envío (CTS)

En este circuito el DCE envía una señal cuando está listo para recibir datos del DTE.

CC: Datos listos para enviar (DRS)

Cuando este circuito está en estado lógico 1 indica al DTE que el DCE está listo para el envío de datos.

CD: Terminal de datos lista (DTR)

Cuando ésta línea se encuentra en el estado 1 lógico se puede comenzar a enviar y recibir datos. Cuando esta línea está en nivel lógico 0, el DCE terminará la comunicación.

CF: Detección de portadora (BCD)

En esta línea el DCE indica al DTE que ha establecido una línea portadora (una conexión) con un dispositivo remoto.

CE: Indicador de llamada (RI)

Esta línea se utiliza comúnmente por el software de comunicación cuando el dispositivo no está en modo de auto respuesta indicando que un dispositivo remoto está llamando. Esta señal es optativa cuando no se utiliza un software que contesta la llamada automáticamente.

CG: Calidad de la señal (SQ)

Esta línea, raramente se utiliza, puesto que sirve para indicar al DTE que la calidad de la señal es pobre o simplemente no es lo suficiente buena para mantener una conexión.

CH: Selector de velocidad de la señal de datos (DSRS)

Se utiliza cuando se tiene un módem capaz de manejar diversas velocidades de conexión, la DTE puede elegir la velocidad a la que se conecte. Usualmente esta señal se mantiene en el nivel de 0 lógico para seleccionar la máxima velocidad posible.

CI: Selector de velocidad de la señal de datos (DSRSb)

Esta señal funciona de la misma forma que el circuito CH, tomando en cuenta que tiene una varianza determinada por la velocidad con la que el DTE se comunica, seleccionada por el módem.

Circuitos de cronómetro.

En modo síncrono es necesario tener alguna forma de intercambiar señales de reloj. Son 3 los circuitos de cronómetro que se utilizan en este protocolo.

DA & DB: Cronómetro de señal del transmisor

- DA: DTE hacia DCE (elemento reloj del DTE)
- DB: DCE hacia DTE (elemento reloj del DCE)

Éstos dos circuitos se utilizan para sincronizar el flujo de datos. La cronometría es determinada por la DTE o la DCE pero nunca de ambos al mismo tiempo. Usualmente los datos son transmitidos al módem, o su propio reloj controla el circuito DB.

DD: Cronómetro de señal del receptor (DCE)

- DD: DCE hacia DTE (elemento de reloj del DCE)

Este circuito es utilizado para sincronizar los datos recibidos desde el DTE. La señal de reloj recibida en esta línea indica al DTE en qué instante debe hacer un muestreo de los datos recibidos en la línea BB.

Tabla de verdad del RS-232

Señal $> +3v = 0$ Lógico
Señal $< -3v = 1$ Lógico

La señal de salida oscila comúnmente entre $+12v$ y $-12v$. El punto cero entre $+3v$ y $-3v$ y está diseñado para recibir ruido de la línea, este punto cero puede variar y mucho en los dispositivos RS-232 por la generación de sensibilidad al recibir una diferencia de potencial de 1 volt o menos.

3.3. – Transmisor – Receptor de datos punto a punto.

3.3.1. – Descripción.

El transmisor-receptor (Transceptor RS-232/422) de datos serie D1000 de la IFS permite la transmisión punto a punto de señales de datos simple o doble EIA RS232/RS-422 mediante una o dos fibras ópticas. Los transceptores son transparentes para codificación de datos permitiendo compatibilidad para alcances lejanos, con transceptores de derivación y repetición de datos serie D2100 de la IFS cuando son utilizados como dispositivos de destino de línea. Los modelos de esta serie están disponibles para su uso con f.o. monomodo y multimodo. Incluye el proyecto llamado "Plug and Play" que permite una fácil instalación, evitando la necesidad de realizar algún ajuste eléctrico u óptico, además de contar con LEDS indicadores de estado en los datos de alimentación y en los de transmisión-recepción para acompañar correctamente la operación del sistema. Los módulos están disponibles como unidades autónomas o para armado en bastidores.

3.3.2. – Características.

- Atiende las especificaciones EIA RS-232/422 (Simple o Duplex)
- Cumple con las especificaciones NEMA TS-1/TS-2 & Caltrans (Temperatura-Humedad, choque-vibración y protección transitoria de voltaje)
- Topología punto a punto
- Transparente a la codificación de datos / Compatible con protocolo de datos principales.
- Tasa de datos hasta 1.5 Mbps
- No requiere ningún ajuste eléctrico u óptico en campo.
- Lleva LEDS indicadores de estado de datos de alimentación, transmisión y recepción.
- WDM integrado para mayor confiabilidad del producto
- Limitadores de corriente en estado sólido de rearme automático
- Módulos de bastidor sustituibles en funcionamiento
- Alcance de hasta 37 millas (60 Km)
- Garantía de por vida comprensiva

3.3.3. - Especificaciones de enlace para comunicación.

DATOS

Eterfase de datos:	RS-232(sólo para líneas de datos)
Tasa de datos:	CC-1.5 Mbps (NRZ)
Modo operacional:	Asíncrono, simplex o totalmente duplex
Velocidad de error de bit:	< 1 en 10

AMPLITUD DE ONDA

D1010:	850 nm, Multimodo
D1010WDMA:	850/1310 nm, Multimodo
D1010WDMB:	1310/850 nm, Multimodo
D1020:	1310 nm, Multimodo
D1030:	1310, Monomodo
D1030WDMA:	1310, Monomodo
D1030WDMB:	1550 nm, Multimodo

NUMERO DE FIBRAS

D1010:	2	D1030:	2
D1010WDMA:	1	D1030WDMA:	1
D1010WDMB:	1	D1030WDMB:	1
D1020:	2		

CONECTORES

Optico:	ST o estándar
Datos y alimentación:	Cierre de contacto con tornillos de fijación

3.3.4. - Especificaciones eléctricas y mecánicas.

Montaje de superficie:	12 VCD @ 150 mA
Rack:	Desde el Rack
Números de ranuras del Rack:	1
Protección de corriente:	Limitadores de corriente de estado sólido de rearme automático.
Placa de circuito:	de acuerdo con padrón IPC.

Dimensiones	(in./cm.) (CxLxA)
Armado de superficie:	4.2 x 3.5 x 1.0 in. ; 10.7 x 8.9 x 2.5 cm.
Armado en bastidor:	7.0 x 4.9 x 1.0 in. ; 17.8 x 12.5 x 2.5 cm.
Peso de transporte:	< 2 lbs / 0.9 Kg.

3.3.5. - Especificaciones Ambientales.

MTDF:	>100,000 Horas
Temperatura de operación:	-40° C hasta +74° C
Temperatura de almacenamiento:	-40° C hasta +85° C
Humedad relativa:	de 0 % a 95% (sin condensación)

3.3.6. - Ejemplos de aplicación.

- Sistemas de Control de Acceso
- Automatización de Edificios y Sistemas de Control Ambiental
- Computadora y Equipo de Datos
- Sistemas de Fuga & Alarma
- Equipo de Control de Señal de Tráfico

3.3.7. - Datos de desempeño.

El alcance de transmisión óptica es limitado por la pérdida de la fibra y cualquier pérdida adicional proveniente de los conectores, empalmes y cuadros de conexión. El alcance también puede ser limitado por la amplitud del ancho de banda. Los datos aparecen en la tabla 3.2.

FIBRA	LONGITUD DE ONDA	TRANSCIVER			TOLERANCIA DE POT. OPTICA	DISTANCIA MAX.
		MODELO	SALIDA	SENSIBILIDAD		
Multimodo 62.5/125 μ m	850 nm	D1010 D1010WDM A D1010WDM B	25 μ m (-16 dB)	1 μ w (-30dB)	14 dB	2 millas (3.5 Km)
		D1020	20 μ m (-17 dB)		13 dB	8 millas (13 Km)
Monomodo 9/125 μ m	1300 nm	D1030 D1030WDM A D1030WDM B	100 μ m (-10dB)		20 dB	37 millas (60 Km)
				20 dB	37 millas (60 Km)	
				20 dB	37 millas (60 Km)	

Tabla 3.2. - Datos de desempeño

3.4. – Medio de Comunicación

La fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz (un camino para los rayos de luz por el centro de la fibra; ver fig. 3.3.). Esta característica es lograda debido a la reducción del núcleo en la fibra hasta un tamaño que sólo permite un modo de propagación. El tamaño del núcleo de la fibra mencionada está comprendido entre los $8 \text{ v } 10 \mu\text{m}$.

El perfil del índice de refracción de una fibra monomodo es similar al de una fibra multimodo; debido al tamaño pequeño del núcleo, es muy difícil el acoplamiento de la luz a la fibra, para lograrlo es necesario el uso de un láser de estado sólido. Para las conexiones y empalmes de la fibra, es necesario la utilizar componentes de mayor precisión.

Con la cualidad de la propagación de la luz en un solo modo, se elimina el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal, permitiendo velocidades de transmisión de datos mucho mayores sobre distancias más largas; estas velocidades de transmisión se encuentran por encima de los 2 Gb/s (Gigabytes por segundo). Las compañías telefónicas son los principales usuarios de esta tecnología, debido al manejo de tráfico a largas distancias. La propagación de la luz se muestra dentro de la figura 3.5.

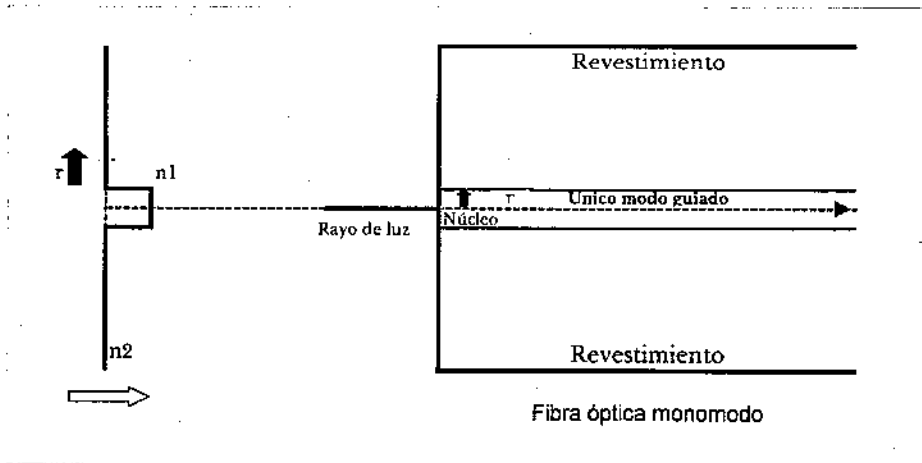


Figura 3.5. – Propagación de la luz en una fibra monomodo.

3.4.1. - Tipo de fibra comercial.

Nombre:

**Hilo de guarda óptico (OPGW)
con tubo de aluminio.**

Especificaciones:

- IEEE 1138
- CFE-E000021/02
- IEC 60794-4-1
- Certificado A12354 para el sistema de aseguramiento de calidad, bajo norma ISO-9001-2000

Aplicaciones y propiedades:

- En líneas de transmisión eléctrica que incluyan fibras ópticas para intercomunicación, señalización o enlaces telefónicos de larga distancia.
- Máxima protección a las fibras ópticas contra vandalismo y medio ambiente.
- Resistencia mecánica y conductividad eléctrica para cumplir con la función de hilo de guarda.
- Temperatura de operación de -40°C a $+70^{\circ}\text{C}$.
- Hasta 36 fibras.

Características:

Numero de fibras	Diámetro del cable	Masa	Resistencia a c.d. @ 20°C	Corriente de cortocircuito	Tensión max. de operación	Tensión de ruptura	Radio mínimo de curvatura de operación	Longitud nominal en tramos
	mm	Kg/km	mO /km	kA's	N	N	mm	m
12 a 36	15.1	570	600	90*	50,000	80,000	400	4,000
48 a 72	16.2	597						

Tabla 3.3. - Características de la f.o.

Descripción de componentes:

1. - Elemento central dieléctrico.
2. - Tubos termoplásticos rellenos contra agua, con 6 o 12 fibras.
3. - Cinta o hilos bloqueadores contra agua.
4. - Tubo de aluminio.
5. - Alambres de acero recubierto con aluminio.

Definición de términos técnicos

Ruido Modal.

Parte del ruido en sistemas ópticos que se produce debido a la combinación de la atenuación modal, la desigual subdivisión de la energía total y las fases relativas de los modos guiados. Es más extenso cuanto mayor es la coherencia de la radiación del diodo láser. Se logra una reducción de ruido mejorando la técnica en la inclusión de conectores y empalmes; así como el empleo de diodos emisores de luz o diodos láser multimodo de amplio espectro, aunque es mayor esta reducción cuando se hace uso de conductores de fibra óptica monomodo.

Corriente de Excitación.

Es la energía generada por la fuente de luz que está incluida en el haz luminoso irradiado por todo el núcleo de conductor de fibra óptica, con el propósito de excitar a cada uno de los puntos en la fibra (modos de orden superior e inferior), para la correcta propagación del rayo en el medio.

Corriente de Umbral.

Intensidad de corriente sobre la cual la amplificación de una onda de luz en un diodo láser se incrementa (más que las pérdidas ópticas), de modo que comienza la emisión estimulada. La corriente de umbral depende en alto grado de la temperatura.

Corriente de oscuridad.

Es el valor de la corriente presente en la salida del convertidor en ausencia de impulso lumínico incidente en la entrada del convertidor.

Umbral.

En un sistema de modulación el menor valor de la relación portadora/ruido en la entrada del demodulador para todos los valores por encima de los cuales una pequeña variación de porcentaje de la razón portadora de entrada/ruido produce una variación sustancialmente igual o más pequeña que la relación señal de salida/ruido.

CONCLUSIONES

El sistema de comunicación óptico, es una estructura que cuenta con un medio de transmisión muy interesante, esta formado por elementos que manejan la información en forma de luz, ampliando su vida útil, siendo benéfico por su bajo costo, cuenta con el apoyo de la tecnología al incluir el rayo láser en su estructura; mientras más desarrollado y definido se encuentre (láser) acarreará mejoras a la transmisión y recepción de la información.

La reflexión es un fenómeno originado en el interior de la fibra, al incluir la luz en el interior de esta (a través del diminuto núcleo con el que cuenta el medio), se propaga con la ayuda de rebotes en las paredes de la fibra, consiguiendo una transmisión de información ideal necesaria para un sistema de comunicación.

Para evitar complicaciones, es necesario respetar la interconexión del láser transmisor (cono de aceptación) y la fibra, para mantener el nivel de potencia, evitar el ensanchamiento del haz lumínico y olvidar la pérdida de información en el sistema.

El sistema es totalmente seguro por la inmunidad que presenta ante la atenuación y no refleja alteración alguna en el momento de su función.

El nombre de sistema óptico no establece que los elementos que efectúan su funcionamiento sean 100% ópticos, por el contrario cabe mencionar que, estos dispositivos necesitan alimentación eléctrica encontrando en los módulos transmisor, receptor y medio de comunicación (fibra óptica) su esquema principal.

Los protocolos son los requerimientos técnicos (en las comunicaciones) para establecer el envío y recepción de información, voz y datos, en este caso, se utiliza Modbus su mayor característica se encuentra en, el manejo de peticiones y respuestas (entre el sistema maestro y el esclavo), logrando la congruencia necesaria para la organización de la información, protegido con el dispositivo trans-receptor (transmisor-receptor), la combinación de todos estos elementos ejecutarán todo lo que el usuario desea realizar el ejemplo es, la transmisión de información de una PC a otra.

Por último se concluye que, los sistemas de comunicaciones ópticas son una opción interesante para la transmisión y manejo de altos volúmenes de información, con la finalidad de satisfacer al cliente y ampliar su proyección a empresas que requieren de comunicación sólida, confiable y segura, sin la desconfianza de instalarlo en terrenos con alta tensión y evitando los índices de atenuación presentes en sistemas de comunicación convencional (cables de cobre).

BIBLIOGRAFIA

1. – Introducción a la ingeniería de la Fibra Optica.
Autor: Rubio Martínez, Baltazar
2. – Sistemas de Comunicaciones por Fibras Opticas.
Autor: Jardón Aguilar, Hildeberto
3. – Todo sobre Fibras Opticas
Autor: Tur Terraza, Juan
4. – Protocolo MODBUS
Página Web: [http://www. PI-MBUS-300 Rev.J](http://www.PI-MBUS-300 Rev.J)
5. – Estándar EIA-232
Página Web: <http://www.tecnotopia.com.mx/mecatronica/puertors232.htm>
6. – Transmisor y receptor de Datos
Página Web: <http://www.ifs.com>
7. – Fibra Optica. Fundamentos, técnicas y aplicaciones
Autor: Chamycz, Bob
8. – Fiber-optic communications system
Autor: Agrawal R., Gavind
9. – Optical communications components and system
Autor: Jaini K., Virander
10. – Optical components, system and measurement
Autor: Sironi S., Rajpal; Kothiyal P. Mahendra