

O/U 151  
M 32  
I  
(92)

43436

# GESTION PARA EL CONTROL DE ENLACES DIGITALES Y TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN

SECRETARIA DE TECNOLOGIA  
DE LA INFORMACION

130	25	11	02
HORA	DIA	MES	AÑO

RECIBIO *[Signature]*



## TOMO I



## TOMO I

# Trasmisión Óptica

### INDICE

	<b><i>Página</i></b>
Resumen Ejecutivo .....	2
Tarea 1 .....	4
Tarea 2.....	36
Tarea 3.....	83
Anexo .....	107
Glosario .....	112
Bibliografía .....	121



## **RESUMEN EJECUTIVO**

El contexto mundial muestra hoy en día un sector público movilizado e involucrado en iniciativas y proyectos con el objetivo de:

- Enfrentar nuevas necesidades sociales
- Eliminar barreras y obstáculos que limitan el potencial de desarrollo de la Administración Pública.
- Contar con infraestructuras y herramientas adecuadas para reposicionar el Estado Provincial en el sistema país.

Tres son los factores que condicionan y, de alguna forma, direccionan todo el proceso de cambio:

- La globalización
- La explosión de las nuevas tecnologías
- La conciencia de una mejora de la eficiencia operativa y una mayor oferta de servicios integrados.

La Autopista de la Información es uno de los proyectos más importantes del país en lo que hace a las Tecnologías en Telecomunicaciones, por lo que se implanta la necesidad de llevar a cabo un estudio y análisis concerniente al control, administración y aprobación de las distintas áreas de infraestructura de comunicación.

Es propósito del proyecto establecer pautas generales del control, auditoría y certificación en las distintas vías de comunicación establecidas en el marco del proyecto de la Autopista de la Información:

- Presentando enlaces digitales en su estructura funcional con sus Normas y Estándares respectivos.



- Desplegando y controlando enlaces digitales para la transmisión de Voz, datos y video, integrados en una misma infraestructura de red.
- Ampliando una metodología uniforme de control Radio Enlaces. Generando los procedimientos de monitoreo y seguimiento.
- Administrando, aprobando y controlando normas específicas y estudios de avance tecnológico. Definiendo pautas generales para el crecimiento de los enlaces.



## **TAREA 1**

### **PLATAFORMAS PARA LA DEFINICION DE ORGANISMOS VINCULADOS**

#### **POR MEDIO ÓPTICO**

#### **Objetivo**

Confeccionar normas, esquemas y certificaciones para cumplir con los requerimientos mínimos en los enlaces Digitales y funcionar en los medios de transmisiones más confiables y de mejor calidad.

#### **Enunciado**

Desarrollo de definiciones y procedimientos de aprobación de vínculos ópticos

- Definición de organismos para conectar fibra óptica
- Aprobación del enlace, vinculo para la utilización de Voz, Datos y video.

#### **DESARROLLO**

Para llevar a cabo el desarrollo de esta tarea, se estructurará según el siguiente índice:

#### **INDICE**

1. Introducción
2. Conceptos
  - 2.1 WLL
  - 2.2 Radio enlace



## 2.3 Fibra óptica

## 2.4 Satelital

## 3. Tecnología de la comunicación

### 3.1 Descripción

### 3.2 Funcionamiento

### 3.3 Características y tipos

### 3.4 Transmisión

### 3.5 Múltiplexación

### 3.6 Ventajas

## 4. Organismos vinculados

### 4.1 Anillo de Fibra óptica

## 5. Protocolo de aceptación de los enlaces

### 5.1 Inspección visual

### 5.2 Medición de atenuaciones y empalmes

### 5.3 Inspección microscópica

## 6. Conclusiones

## **1. Introducción**

Las telecomunicaciones constituyen uno de los sectores más dinámicos de la economía de los países, y Argentina no es la excepción. Los servicios que se brindan son cada vez más numerosos y variados, y su disponibilidad es de vital importancia para el desarrollo de las distintas regiones del país.

La adopción exitosa de las nuevas tecnologías de comunicación, requiere estrategias concurrentes que traten de la infraestructura, el desarrollo y los contenidos en forma conjunta. Estas Técnicas permiten la adquisición,



producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, en forma de voz, imágenes y datos.

El perfeccionamiento de las comunicaciones para brindar los servicios de telecomunicaciones, tanto fijos como móviles, hace uso cada vez más frecuente de las técnicas ópticas.

La necesidad de nuevos planteamientos en las comunicaciones surgió en países telefónicamente avanzados, en los que su red pedía soluciones a problemas de saturación, y cuya solución era conseguir medios de mayor capacidad que los existentes.

Las investigaciones hechas en la década de los años sesenta en torno a la fibra óptica y sus posibles aplicaciones como guía de onda sirvieron de base para el nuevo camino que se pretendía emprender.

El enlace vía óptica en el proyecto de la Autopista de la Información es de vital importancia en la vida de los ciudadanos, habitantes de áreas rurales o áreas remotas de la provincia. La autopista de la información tiene como objetivo, proveer una mejora fundamental en la calidad de vida, llegando mediante la infraestructura de la red de comunicaciones a:

- **todas las Escuelas:** permitiendo a los alumnos de éstas progresar en sus oportunidades de estudio mediante el acceso a programas de investigación y bases de conocimientos. Admitirá proveer un amplio espectro de experiencia educativas y capacitación a los estudiantes mediante la disponibilidad de acceso a la red de la Autopista de la Información;
- **mejor prestación de servicios de salud:** enfermeras y médicos recibirán capacitación médica y acceso al conocimiento de especialistas. Esto permitirá mejorar la salud de los ciudadanos de San Luis mediante la explotaciones de



soluciones basadas en la tecnología y la capacitación de profesionales de la salud;

- **acceso para los ciudadanos:** éstos accederán a los servicios a través de los aplicativos montados sobre la red de Gobierno mediante los organismos gubernamentales cercanos a sus hogares;

- **servicio de gobierno en línea:** los funcionarios de gobierno prestaran servicios eficaces y de orden informativo del Estado Provincial a la ciudadanía.

## **2. Conceptos**

El avance de la actividad requieren conocer conceptos importantes relacionados al tipo de tecnología empleada. En los puntos siguientes se desarrollara los conceptos necesarios para comprender cada tecnología en particular y sus diferentes características.

### 2.1 WLL (Wireless local loop)

A veces llamada RITL "Radio in the loop" (Radio en bucle) o FRA "Fixed-Radio Access", Acceso de radio fijo. La tecnología WLL es un sistema que conecta a usuarios con la red de Telecomunicaciones, mediante señales electromagnéticas. Esto incluye sistemas inalámbricos de acceso a datos y el acceso de radio fijo.

Desde el advenimiento del sistema de teléfono, el alambre de cobre ha proporcionado tradicionalmente a la conexión en el enlace local (local loop) y entre el suscriptor del teléfono y el equipo de intercambio local (local Exchange).

Los imperativos económicos y las tecnologías que emergen están abriendo la puerta para las soluciones de WLL. La tecnología WLL utiliza la técnica



inalámbrica adjuntada con las interfaces de línea y el otro trazado de circuito para terminar entre cliente y el equipo que realiza la conexión o intercambio. En la figura siguiente no nuestra una infraestructura de red de comunicaciones via WLL.



En economías desarrolladas, los costos del despliegue y de mantenimiento de la tecnología inalámbrica son relativamente bajos y las ventajas hacen WLL una solución competitiva y un alternativa viable. Dos condiciones determinarán cómo WLL será desplegado rápidamente en mercados desarrollados: costo y ancho de banda.

La demanda creciente para la transmisión de un alto ancho de banda capaz de soportar gran transferencia de datos a diferentes lugares es requisitos adicionales en un sistema WLL. Los operadores deben evaluar las técnicas basadas en su capacidad, para ofrecer velocidades en transferencia de hasta de redes integradas.

El funcionamiento, características, descripción y su distribución dentro del proyecto de la Autopista de la Información, se desarrollara en la actividad N°4.

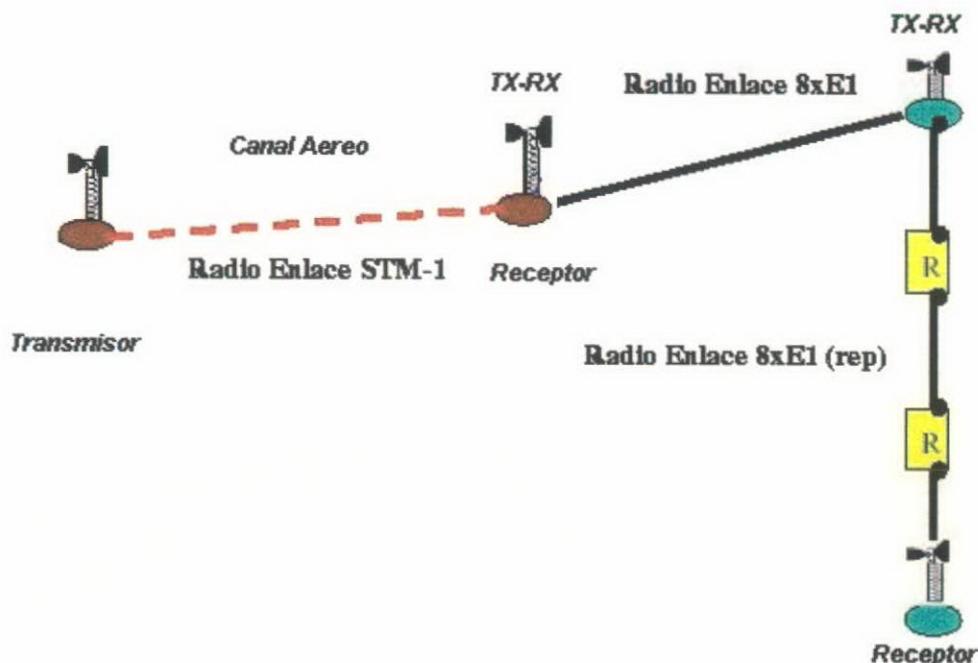
## 2.2 Radio enlace



Un enlace vía microondas, también llamado radio enlace consiste en tres componentes fundamentales:

- El Transmisor
- El receptor
- El Canal Aéreo.

En el grafico siguiente nos muestra las columnas principales de una comunicación vía radio enlace, contemplando los distintos tipos de conexión y ancho de bandas entre un Trasmisor y un receptor.



El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, El Canal Aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.



El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir, además esta distancia debe ser libre de obstáculos, por lo que el terreno cumple un papel muy importante.

La mayor parte de los sistemas de radio por microondas están comprendidos dentro de tres categorías principales: Sistemas de Línea de Vista (LDV), sistemas sobre el horizonte y sistemas satelitales.

La posibilidad de usar enlaces de radio en las bandas de VHF y UHF fue puesta a prueba inicialmente en experimentos previos a la segunda guerra mundial. La calidad y disponibilidad de esos enlaces pudo hacerse comparable a la de enlaces con cable coaxial.

Como la necesidad de mayores anchos de banda se incrementó en años subsiguientes, las frecuencias en UHF y SHF fueron usadas para tráfico telefónico y transmisión de TV; los enlaces de microondas son diseñados para transmitir a distancias de varios miles de kilómetros con anchos de banda de 10 MHz y

altos estándares de calidad y confiabilidad, requerimientos esenciales para comunicaciones de largo alcance.

Los sistemas LDV proveen un amplio rango de aplicaciones, por ejemplo, desde sistemas con un pequeño número de canales telefónicos de corto alcance hasta sistemas con varios cientos de canales para datos con altos estándares de calidad y confiabilidad.

La mayor parte del desarrollo de sistemas de propagación de comunicaciones de radio enlaces tuvo lugar durante la II guerra mundial en la banda de VHF. La popularidad en el uso de LDV puede atribuirse a las siguientes ventajas:



- Alta y flexible capacidad de canales (desde unos pocos canales de voz hasta varios canales de TV).
- Capacidad de expansión
- Corto tiempo de instalación
- Excelente adaptación a dificultades de terrenos y barreras naturales.

Las principales aplicaciones de los sistemas LDV son:

- Sistemas fijos integrados para voz multicanal, formando parte de redes nacionales e internacionales
- Sistemas fijos no integrados para voz, no interconectados a las redes nacionales o internacionales
- Sistemas móviles, conectados o no a las redes nacionales e internacionales.

En general, las redes integradas por sistemas de microondas pueden formar parte de conexiones internacionales de varios miles de kilómetros de longitud, por lo que las características de transmisión con respecto al ruido, estabilidad de ganancia, ancho de banda, linealidad de amplitud y distorsión de forma de onda, deben permitir lograr comunicaciones satisfactorias a grandes distancias. Primitivamente dos organismos internacionales que hoy forman parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), eran responsables de la preparación de recomendaciones que faciliten el funcionamiento de circuitos internacionales de larga distancia. Estas organizaciones fueron el Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) y el Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía (CCITT). El CCIR era responsable de la preparación de recomendaciones relacionadas con sistemas de microondas y el CCITT de la reglamentación para la introducción de dichos sistemas en la red general de



telecomunicaciones. El CCIR y el CCITT estaban entonces relacionadas con la formulación de requerimientos de transmisión en sistemas internacionales de microondas. Actualmente, el CCITT y el CCIR han sido reestructurados dentro de la ITU como ITU-R e ITU-T.

En un sistema de microondas, las especificaciones de ruido son de particular importancia, ya que estas determinan la potencia de transmisión, el tamaño de la antena y otros parámetros del sistema. Además del ruido térmico inherente a los equipos, pueden introducirse ruidos adicionales, entre otros, producto de la intermodulación de señales de diferentes canales. Este ruido es máximo cuando todos los canales están activos, o sea, en las horas pico.

Los niveles permitidos de ruido están definidos internacionalmente en términos de circuitos de referencia hipotéticos de 2500 kms de largo con un número específico de estaciones de modulación y demodulación.

En la actividad N° 4 describiremos el principio de funcionamiento y las características de los sistemas y estudiaremos con detalle el principio de funcionamiento, las características y el diseño de sistemas.

### 2.3 Fibra Óptica

Para el desarrollo de los conceptos de fibra óptica es necesario dividir en dos grandes grupos:

#### 2.3.1 Evolución

#### 2.3.2 Funcionamiento

#### 2.3.1 Evolución



La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser. Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información se puede explicar de la siguiente manera: Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta



multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

En la figura siguiente nos muestra la evolución del par trenzado a fibra óptica. Estos dos componentes actualmente se utilizan en determinadas características de conexión y costos.



### 2.3.2 Funcionamiento

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay



problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre. Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin que halla necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

En la figura se observa la descripción de una fibra óptica convencional.



## 2.4 Satelital

Para el desarrollo de los conceptos de Enlace Satelitales es preciso dividir en dos grandes grupos:

### 2.4.1 Introducción y Funcionamiento

### 2.4.2 Características

#### 2.4.1 Introducción y funcionamiento

Las comunicaciones por satélite son en nuestro tiempo de extrema importancia. Debemos definir a el satélite de comunicaciones como "un repetidor radioelectrico ubicado en el espacio, recibe señales generadas en la tierra, las amplifica y las vuelve a enviar a la tierra". Es decir es un centro de comunicaciones que procesa datos recibidos desde nuestro planeta y los envía de regreso, bien al punto que envió la señal, bien a otro distinto. Los satélites pueden manipular datos, complementándolos con información del espacio exterior, o pueden servir sólo como un espejo que rebota la señal.

Muchos funcionan a partir de celdas solares, que alimentan sus centros de energía al convertir los rayos solares en energía eléctrica (las enormes aspas de molino que los caracterizaron durante años). No obstante, dicha tecnología va siendo sustituida por turbogeneradores que producen energía a partir del calor solar y de las reacciones nucleares, que son más pequeños y livianos que las celdas. Actualmente se desarrolla el uso de radioisótopos como fuentes de



poder, pero todavía están en periodo de prueba.

Las fuentes de alimentación y el volumen de los satélites cumplen un papel fundamental, ya que su reducción en peso y volumen redundan en una reducción del costo de puesta en el espacio. Este costo es preponderante al del cálculo del uso del satélite y por ende el costo de las comunicaciones.

La velocidad con que un satélite gira alrededor de la tierra está dada por la distancia entre ambos, ya que el mismo se ubicará en aquellos puntos en los que la fuerza de gravedad se equilibre con las de fuerza centrífuga; cuanto mayor es esa distancia, menor es la velocidad que necesita el mismo para mantenerse en órbita.

Los satélites son controlados desde estaciones terrestres que reciben su información y la procesan, pero que también monitorean el comportamiento y órbita de los aparatos. Por lo general, los centros terrenos no son aparatosas instalaciones, sino más bien pequeños tableros con poco personal que sin embargo controlan funciones geoespaciales especializadas.

#### 2.4.2 Características

Un sistema de comunicaciones por satélite está compuesto por los siguientes elementos:

- 1.) satélite
- 2.) centro de control
- 3.) estación terrena

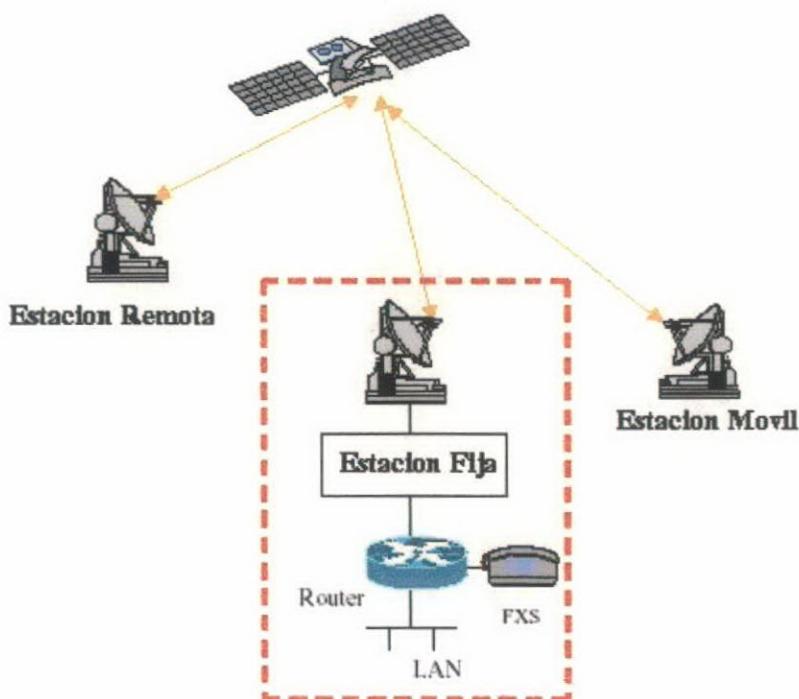
1.-) Satélite. Constituye el punto central de la red y su función es la de establecer comunicaciones entre los diversos puntos de la zona en la que



atiende. En un sistema puede haber mas de un Satélite, uno en servicio y otro de reserva ( que puede estar en orbita o en tierra), o bien uno en servicio, otro de reserva en orbita y un tercero de reserva en tierra. La posición adoptada dependederá de la confiabilidad que se pretende obtener.

2.-) Centro de control. Que también se le llama TT&C (telemedición, telemando y Control), realiza desde tierra el control del satélite.

3.-) Estación terrena. Forma el enlace entre el satélite y la red terrestre conectada al sistema. Un sistema puede operarción algunas decenas o centenas de ellas, dependiendo de las servicios brindados.



### 3. Tecnología de la comunicación

En las tecnologías de la comunicación existe un sistema de trasmisión para cada tecnologías, en este ítem explicaremos las características del medio en el cual se efectúa la transferencia de información y la modulación digital al cual esta sometido.



### 3.1 Descripción

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales), del espesor de un pelo, existen distintos prototipos según su utilización:

- *Fibras de silicio ultra-puro*: son difíciles de fabricar pero son las que menor pérdida de señal tienen.
- *Fibras de cristales*: son usadas para enlaces de largas distancias y su costo es menor que la anterior pero se considera que sus prestaciones son suficientes.
- *Fibras plásticas*: se usan en distancias cortas (patchcord), pero se utilizan mucho más, por su menor costo, en aplicaciones en las cuales son aceptables las altas pérdidas.

Es un medio fino (entre 2 y 125 $\mu$ m), como se observa en la figura. Llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción.



Estos elementos ahora se usan como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos

(tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas).

### 3.2 Funcionamiento



En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

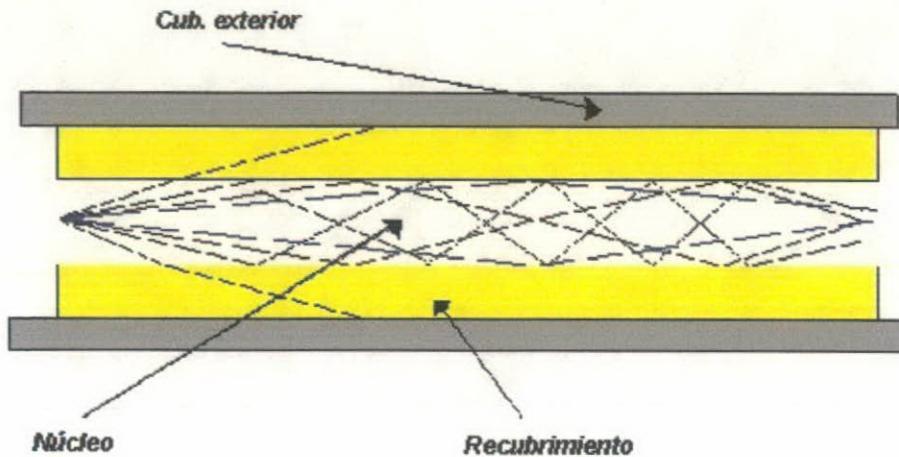
La transmisión por medio óptico es un proceso de comunicación y la fibra óptica es el medio de transportación de la señal luminosa (información).

### 3.3 Características y tipos

Tipos básicos de fibras ópticas:

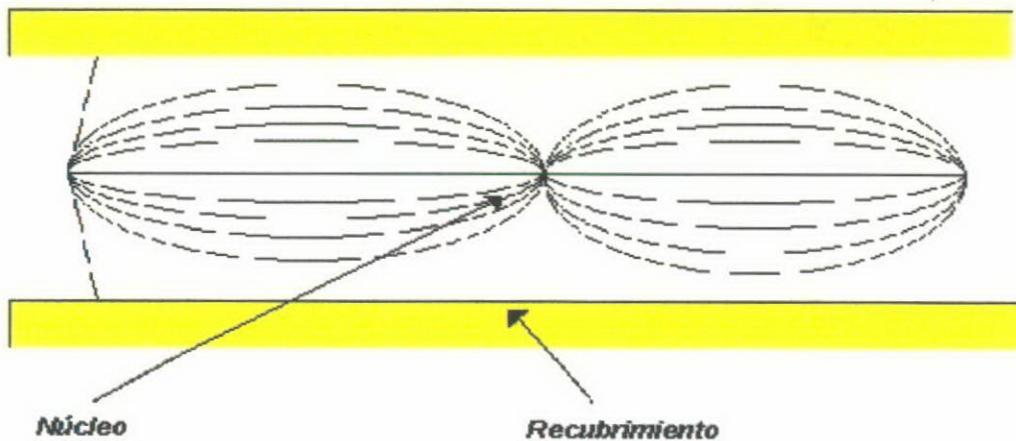
- Multimodales
- Multimodales con índice graduado
- Monomodales

*Fibra multimodal:* En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos como se muestra en la figura.



Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir esta limitada.

*Fibra multimodal con índice graduado:* En este tipo de fibra óptica el núcleo esta hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos en este caso siguen un patrón similar mostrado en la figura.



En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

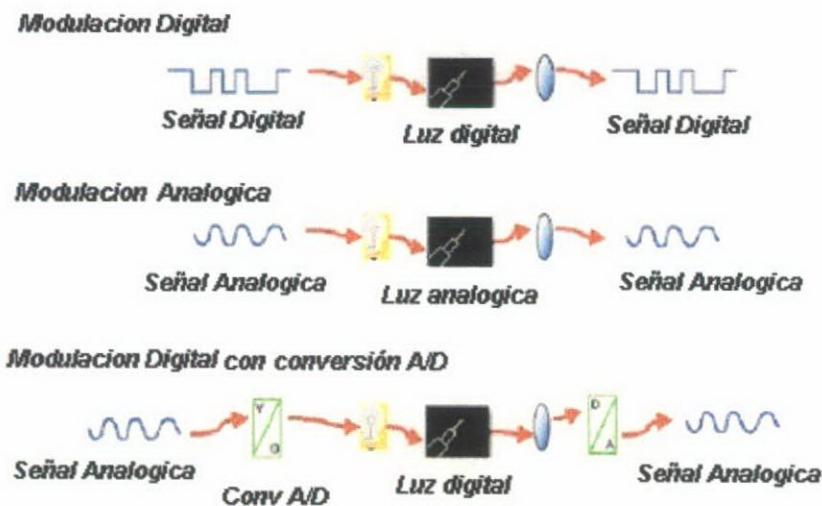
*Fibra monomodal:* Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. No sufre del efecto de las otras dos pero es



mas difícil de construir y manipular. Es también mas costosa pero permite distancias de transmisión mayores.

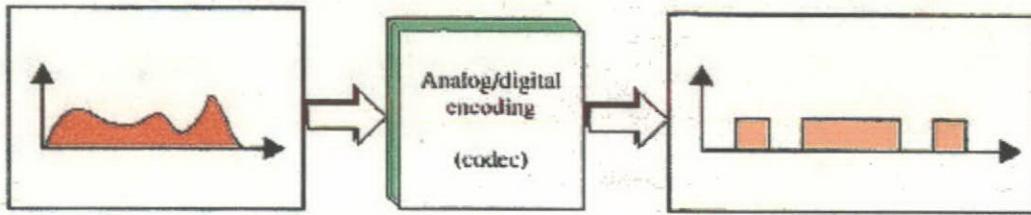
### 3.4 Transmisión

En trasmisión básica existen tres grupos: Trasmisión digital, Trasmisión analógica y trasmisión digital con conversión analógica. En la figura siguiente nos muestra cada una de ella y su conmutación.



La mayoría de la transmisión, en planta de conmutación local, es analógico por naturaleza. La señal de transmisión varía continuamente, tanto en frecuencia y en amplitud. Una voz posee distintas frecuencias y amplitudes de acuerdo a la modulación (voz alta contiene principalmente frecuencias altas una voz fuerte contiene mayor amplitud que una voz debil).

En la red de larga distancia, y cada vez más en la planta del conmutación local, se esta empleando la transmisión digital. Una señal digital comprende un flujo de 1's y 0's esto transforma la señal de voz analógico por medio de un código, para el transporte de información .La transformación de la señal se muestra en la figura siguiente.



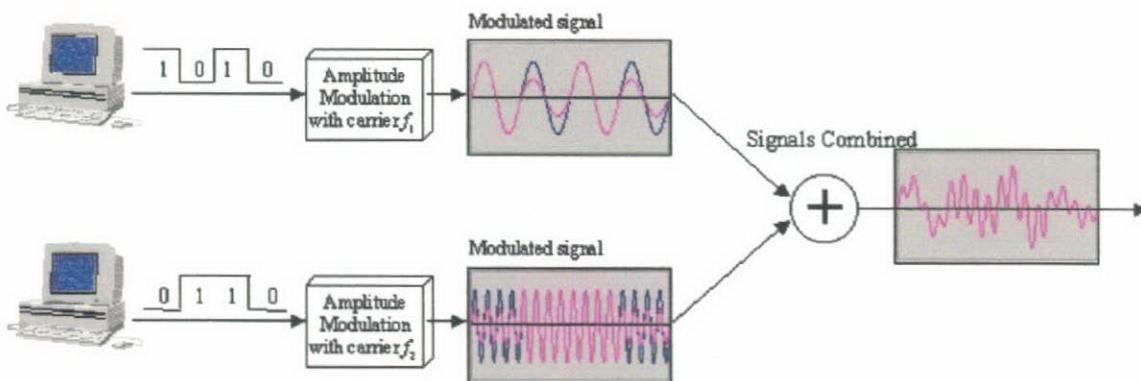
En el ítem 3.5 se desarrollara el tipo de trasmisión en el espectro óptico.

### 3.5 Multiplexación

Es un proceso mediante el cual se reúnen o entrelazan diversas señales en otra señal de orden superior, por el mismo canal de forma simultánea e independientemente sin las señales agrupadas se interfieran entre si.

Pueden combinarse señales analógicas, y multiplexarse, combinándolos con una frecuencia portadora. Cuando hay más de un canal, se llama multiplexación por división de frecuencia (FDM-Frecuency Division Multiplexing).

En un sistema FDM se asigna a cada canal una banda de frecuencia única para la comunicación desde un terminal a otro, como se muestra en la figura siguiente.

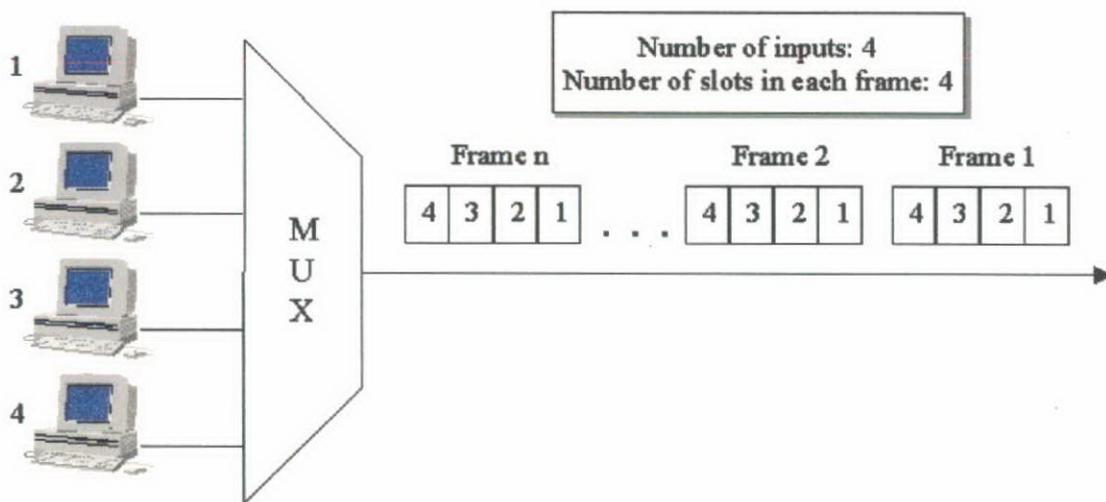


El método FDM se usó extensivamente en el pasado pero ahora se ha



reemplazado con su equivalente digital de multiplexación por división de tiempo (TDM).

En la multiplexación TDM se usan la técnicas PCM y PAM de modulación digital durante la transmisión para convertir y codificar en forma de pulsos las muestras de señal analógica. Los pulsos se decodifican después, en la recepción



En las Comunicaciones de los Sistemas por medio óptico constan de ejes o bloques principales que son:

- Transmisor
- Receptor
- Guía de fibra

*El transmisor* consiste de una interfase analógica o digital, un convertor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra.

*La guía de fibra* es un vidrio ultra puro o un cable plástico.

*El receptor* incluye un dispositivo conector, un foto detector, un convertor de corriente a voltaje un amplificador de voltaje y una interfase analógica o digital.



En un transmisor de fibra óptica la fuente de luz se puede modular por una señal análoga o digital. Acoplando impedancias y limitando la amplitud de la señal o en pulsos digitales. El conversor de voltaje a corriente sirve como interface eléctrica entre los circuitos de entrada y la fuente de luz. La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz LED o un diodo de inyección láser ILD, la cantidad de luz emitida es proporcional a la corriente de excitación, por lo tanto el conversor voltaje a corriente convierte el voltaje de la señal de entrada en una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz. La conexión de esa fuente a la fibra es una interface mecánica cuya función es acoplar la fuente de luz al cable.

La fibra óptica consiste de un núcleo de fibra de vidrio o plástico, una cubierta y una capa protectora. El dispositivo de acoplamiento del receptor también es un acoplador mecánico.

El detector de luz generalmente es un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha). Ambos convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un conversor corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida.

### 3.6 Ventajas

La fibra óptica ha venido a revolucionar la comunicación de datos ya que tiene las siguientes ventajas:

- Gran ancho de banda (alrededor de 14GHz)
- Muy pequeña y ligera
- Muy baja atenuación
- Inmunidad al ruido electromagnético



Para transmitir señales por fibra óptica se utiliza modulación de amplitud sobre un rayo óptico, la ausencia de señal indica un cero y la presencia un uno. La transmisión de fibra óptica es unidireccional. Actualmente se utilizan velocidades de transmisión de 50, 100, 200 Mbps hasta 1Gbps sobre una distancia de 110 Kms.

Otras características importantes a tener en cuenta en un vínculos o conexión en una LAN y WAN de fibra óptica son:

- La fibra óptica ofrece la transmisión de datos a alta velocidad, en tiempo real, entre un número de ruteadores y estaciones separadas en distancias considerables.
- La fibra óptica sirve también como red de conexión entre las estaciones que estén funcionando previamente.
- La fibra óptica se ha sabido adaptar a las características de entornos en los que resulta muy deseable disponer de ella, pero su elevado costo inicial pareciera prohibir este medio eficaz de comunicación. Esto hace de la fibra óptica una alternativa muy interesante sin embargo la irrupción de las telecomunicaciones han echo que a la fibra óptica se la considere " la hermana pequeña" de las redes de la comunicación.

#### **4 Organismos vinculados**

En los ítem anteriores se explico conceptos fundamentales para el vinculo por fibra óptica, estos conceptos son aplicables en el proyecto de la Autopista de la información.

La autopista de la información es de vital importancia para la población y los organismos del estado provincial. La definición de estos organismos, enlazados



óptimamente, se basa en la estructura general del proyecto enunciando alcance, ventajas y desventajas para cada tecnología.

Dentro del proyecto se conecta a toda la provincia de San Luis teniendo en cuenta básicamente los tres sectores estipulados para la Autopista de la Información. Los mismos son: Educación, Salud, Seguridad y edificios del Gobierno propiamente dicho, como ser el Edificio Administrativo, Casa de Gobierno, Palacio Legislativo, Rentas, entre otros.

Para entender la Red de Interconexión donde se encuentran ubicados los nodos y

las localidades que abarcan, presentaremos a la Provincia dividida en seis Sub-sistemas denominados de la siguiente manera:

- Sub-sistema San Luis (Centro y troncales)
- Sub-sistema Villa Mercedes (Centro y troncales)
- Sub-sistema San Luis – Santa Rosa del Conlara
- Sub-sistema Villa Mercedes – Santa Rosa de Conlara
- Sub-sistema Villa Mercedes – Sur
- Sub-sistemas Satelitales

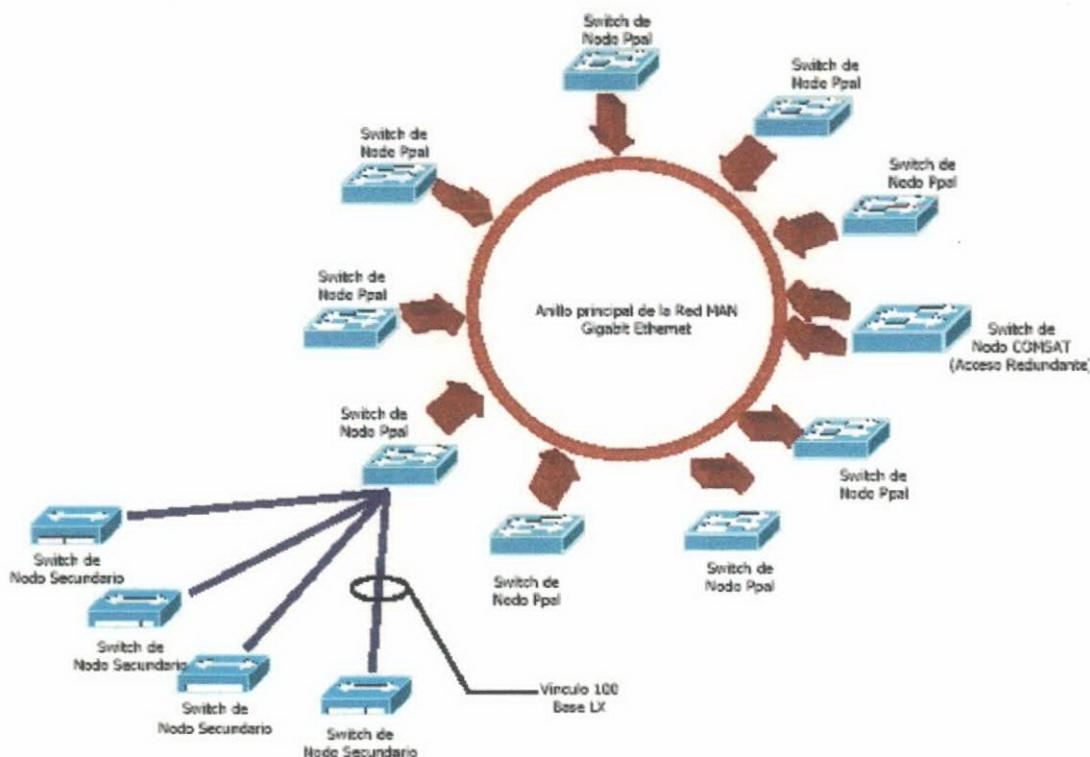
*Sub-sistema San Luis Centro:* En la Ciudad de San Luis se desarrolla un anillo de fibra óptica en Gigabit Ethernet vinculando organismos dependientes del estado provincial. Estos organismos vinculados dentro de este anillo se toman como nodos principales, y en cada uno de estos se plantea la incorporación de un switch stacks para enlazar al nodo secundario.

Desde los puertos de switch 10/100 provistos (stack al nodo principal), se acometerá a un chasis Nbase-Xyplex, con conversores 100 base TX a 100 Base LX, para brindar servicio a los nodos secundarios. Estos puertos de



switch se acometerá a los nodos secundarios formando una topología de estrella.

En cada nodo secundario se instalara un switch y para la vinculación con el nodo primario el conversor Nbase. En el esquema siguiente se observa esta distribución tanto de nodo principal como de secundario.



*Sub-sistema Villa Mercedes Central:* Para Villa Mercedes se instala una solución equivalente a la de San Luis Capital.

Sobre un anillo Gigabit Ethernet se instala cinco nodos de acceso al mismo.

Desde estos nodos se acometerá a los diferentes nodos secundarios utilizando una distribución del tipo estrella. Los switches utilizados son los mismos del Sub-sistema San Luis Centro

#### 4.1 Anillo de Fibra óptica



En la Ciudad de San Luis y Villa Mercedes se instala un anillo Gigabit Ethernet, y en cada uno de los nodos principales se plantea la incorporación de un switch.

Por medio de estos puertos y en topología de estrella se acometerá a los nodos secundarios. Para su mejor comprensión se desglosara en el siguiente subíndice:

4.1.1 Descripción del anillo por Fibra Óptica de San Luis y  
Villa Mercedes.

4.1.2 Características del Cable de Fibra Óptica

4.1.3 Fibra para el Troncal Principal

4.1.4 Fibra para las Derivaciones

4.1.5 Especificaciones Físicas

4.1.6 Especificaciones Ópticas

4.1.7 Modo de Instalación

4.1.8 Acometida

4.1.1 Descripción del anillo por Fibra Óptica de San Luis y Villa Mercedes.

El tendido se realiza utilizando fibra óptica del tipo monomodo, totalmente dieléctrica, con 24 hilos en el área de los troncales y 12 o 6 (según corresponda) en los brazos secundarios, vinculándose a la intranet existente en los edificios que ésta conecta.

Como resultante se obtendrá una configuración del tipo "anillo estrellado",

---



entendiéndose que de cada uno de los nodos pertenecientes a la intranet (Anillo) se desprenderán en forma de radio las vinculaciones hacia los nodos secundarios.

#### *4.1.2 Características del Cable de Fibra Óptica*

El cable utilizado posee las siguientes características que se enuncian a continuación.

#### *4.1.3 Fibra para el Troncal Principal*

Cantidad de hilos monomodo: 24

#### *4.1.4 Fibra para las Derivaciones*

Cantidad de hilos monomodo: 12

Cantidad de hilos monomodo: 6

La fibra óptica es un cable totalmente dieléctrico, auto soportado diseñado para luces de hasta 1000 metros dependiendo de las condiciones de carga, número de fibras, condiciones de pandeo y condiciones climáticas (ej. vientos, nieve, zona de huracanes, etc.)

El cable incorpora una cubierta de polietileno reforzada con hilos de Aramida.

Este

diseño provee la suficiente fortaleza para eliminar mensajeros preinstalados como se requiere en otros diseños. El cable está disponible hasta 144 hilos, tanto en



Singlemode como Multimode, y están diseñados de acuerdo a las especificaciones

Bellcore, EIA/TIA & IEEE.

#### 4.1.5 Especificaciones Físicas

Rango de tensiones:

600 lb (2.700 N) durante la instalación

135 lb (600 N) post instalación.

Radio de curvatura mínimo.

15 veces el diámetro exterior del cable (Durante la instalación)

10 veces el diámetro exterior del cable (Post instalación)

Rango de temperatura operativo.

- 40° C hasta 70° C.

Rango de temperatura (Almacenamiento)

- 50° C hasta 70° C.

#### 4.1.6 Especificaciones Ópticas

Ancho de banda

500 Mhz-Km. @ 1.300 nm

Pérdidas en la fibra.

Singlemode 0,40 dB/Km @ 1.310 nm

0,30 dB/Km @ 1.550 nm.

#### 4.1.7 Modo de Instalación

La instalación se realiza de modo aéreo utilizando el posteo existente en la provincia. Se utilizará los accesorios acordes para la correcta instalación,



contemplándose vanos de aproximadamente 40 metros y una altura de instalación similar a la existente.

#### 4.1.8 Acometida

Se realizará la acometida a los diferentes edificios. En forma interna se tiende la fibra óptica hasta el centro de cableado, donde se instala el patch panel de fibra óptica.

### 5. Protocolo de aceptación de los enlaces

Para la conformidad de un vínculo por medio de fibra óptica se debe seguir una metodología de inspección:

#### 5.1 Inspección visual

- Inspección Instalación
- Inspección del enlace

*Inspección Instalación:* se corrobora la instalación de acuerdo a su ingeniería de detalle refiriendo al medio de sujeción, anclajes, vanos otros.

*Inspección del enlace:* Se comprueba que la instalación concuerde con los planos, de acuerdo a la traza, alturas y cruces por arterias

#### 5.2 Medición de atenuaciones y empalmes

- Medición de la restividad del suelo
- Prueba de rigidez dielectrica
- Medición del tensado



- Medición de longitud óptica
- Prueba neumática de la caja de empalmes
- Medición de la atenuación de los empalmes
- Medición de atenuación

*Medición de la resistividad del suelo:* Esta medición se realiza cada 3 a 5 Km, para conocer la resistividad del estrato superficial del suelo. Si la resistividad es mayor a establecida por norma se instala un hilo de guardia para protección del cable de fibra óptica.

*Prueba de rigidez dielectrica:* Esta prueba se realiza en correspondencia con los empalmes y su función es verificar después de la instalación y en el tiempo, el apto nivel de aislamiento de la cubierta externa del cable.

*Medición del tensado:* En el tendido de la fibra el tensado de la misma no deberá superar lo establecido por norma.

*Medición de longitud óptica:* Esta medición se realiza cuando se posee el cable preparado en la caja de empalme, previo al empalme de las fibras, se efectúa sobre una sola fibra. Esta medición se efectúa con un OTDR. La medición no podrá superar 5 db.

*Prueba neumática de la caja:* Consiste en inyectar nitrógeno a través de la válvula de la caja hasta una presión de 0.7 Atmósferas y verificar que no existan fugas en la caja.

*Medición de atenuación de empalmes:* Esta medición se efectúa para todas las fibras y todos los empalmes del cable comprometidos entre secciones de generación y derivación. La prueba se efectúa en 3ra.ventana donde no podrá superar los 0.3 db.



**Medición de atenuación:** Esta prueba se ejecuta con un banco de atenuación, con una longitud de onda de 1550 nm. La medición tiene como finalidad de aceptación de la conexión a nivel de distribuidor de fibra óptica.

### 5.3 Inspección Microscópica

Se realizara la inspección de la calidad de terminación del conectorizado de las terminaciones de Fibra Óptica mediante equipo certificador para asegurar que las mismas no presenten imperfecciones luego de haberse pulido.

## 6. Conclusiones

La infraestructura de red de la Autopista de la Información será la encargada de proveer la conexión para las comunicaciones de voz y de datos para el Gobierno de la Provincia de San Luis, brindado servicio a toda la comunidad puntana.

Dentro del proyecto los anillos y vínculos por fibra óptica poseen una jerarquía importante, por la cantidad de organismos que enlaza. En vinculo como medio de transporte de información poseen ciertas particulares para su utilización:

*Capacidad de transmisión:* La velocidad de transmisión depende principalmente del medio utilizado, con la llegada de las fibras ópticas, ya que ellas pueden transmitir a velocidades mucho más altas, se mejoro las capacidades de las trasmisiones. A continuación se detallan características importantes:

- Mayor capacidad debido al ancho de banda mayor disponible en frecuencias ópticas.
- Inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnética.



- Inmunidad a interferencia estática debida a las fuentes de ruido.
- Resistencia a extremos ambientales. Son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
- La seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles.

*Características de un soporte de fibra Óptica:*

1. Supresión de ruidos en las transmisiones.
2. Red redundante.
3. Conexión directa desde centrales hasta el Organismo.
4. Alta confiabilidad y privacidad en sus comunicaciones telefónicas.
5. Posibilidad de daño casi nula.
6. Tiempos de respuesta mínimos en la reparación de daños.
7. Mayor número y rapidez en la solicitud y entrega de nuevos servicios.
8. Gran ancho de banda

*Plataforma para la prestación de servicios a otros organismos:*

- a ). Transmisión de datos de Alta Velocidad
- b ). Enlaces E1 (2Mb/s) para conexión de P.A.B.X.
- c ). La posibilidad en el futuro de conexión de nuevos servicios como multimedia o sistemas de televisión por cable.



## **TAREA N°2**

### **METODOLOGIA DE MEDICION DE ENLACES OPTICOS DIGITALES**

#### **Objetivo**

Analizar los métodos de medición de enlaces ópticos, para realizar las certificaciones de calidad y confiabilidad del enlace, en el marco del proyecto "San Luis en Línea - Autopista de la Información".

#### **Enunciado**

Metodología y requerimientos de Normas y estándares para las mediciones de enlaces ópticos digitales

- Métodos de medición en las conexiones vía Fibra óptica para determinar la Calidad, confiabilidad del enlaces

#### **DESARROLLO**

Para llevar a cabo el desarrollo de esta tarea, se estructurará según el siguiente índice:

#### **INDICE**

##### 1.- Introducción

- 11 Sistema de comunicación
- 12 Transmisión de datos
- 13 Medios de transmisión
- 14 Fibra Optica

##### 2.- Fundamentos Teóricos de la Fibra Optica



### 3.- Tipos de Fibras Ópticas

### 4.- Inconvenientes en la Transmisión por Fibra Óptica

### 5.- Emisores y detectores ópticos

### 6.- Sistema de fibra óptica

### 7.- Métodos de medición para el control de calidad del sistema de comunicación basados en Fibra Óptica

### 8.- Glosario

### 9.- Bibliografía

## 1. Introducción

En esta actividad se desarrollan conceptos relacionados a la fibra óptica, con el fin de analizar los métodos de medición de enlaces ópticos, para realizar las certificaciones de calidad y confiabilidad de los enlaces de fibra óptica.

### 1.1. Sistema de Comunicación

El objetivo de un sistema de comunicación es intercambiar información entre diferentes entidades. En la Figura 1 se pueden observar los componentes de un sistema de comunicación y un ejemplo particular de comunicación entre una estación de trabajo y un servidor a través de una red telefónica pública.

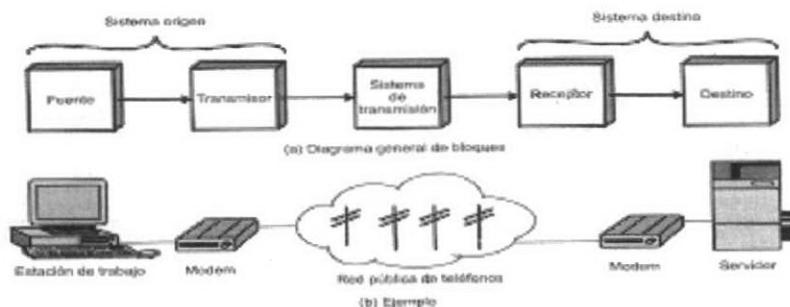


Figura 1



- **La fuente:** Este dispositivo genera los datos a transmitir, por ejemplo teléfonos y computadoras personales.
- **El transmisor:** Normalmente los datos generados por la fuente no se transmiten directamente tal y como son generados. Al contrario, el transmisor transforma y codifica la información, generando señales electromagnéticas susceptibles de ser transmitidas a través de algún sistema de transmisión.
- **El sistema de transmisión:** Puede ser desde una sencilla línea de transmisión hasta una compleja red que conecte a la fuente con el destino.
- **El receptor:** Acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino.
- **El destino:** toma los datos del receptor.

### 1.2. Transmisión de datos.

La transmisión de datos se basa en que todos los formatos de información (voz, datos, imágenes, video) se pueden representar mediante señales electromagnéticas. Dependiendo del medio de transmisión y el entorno donde se realicen las comunicaciones, se pueden utilizar señales analógicas y/o digitales.

El éxito de una transmisión de datos depende fundamentalmente de dos factores: la calidad de la señal que se transmite y las características del medio de transmisión.

Cualquier señal electromagnética, analógica o digital, esta formada por una



serie de frecuencias constituyentes.

Una señal electromagnética puede ser vista como una función, desde dos dominios diferentes: el dominio del tiempo y el dominio de las frecuencias. La Figura 2(a) muestra una señal periódica continua en el dominio del tiempo que sumada a la señal de la Figura 2(b) da como resultante la señal de la Figura 2 (c).

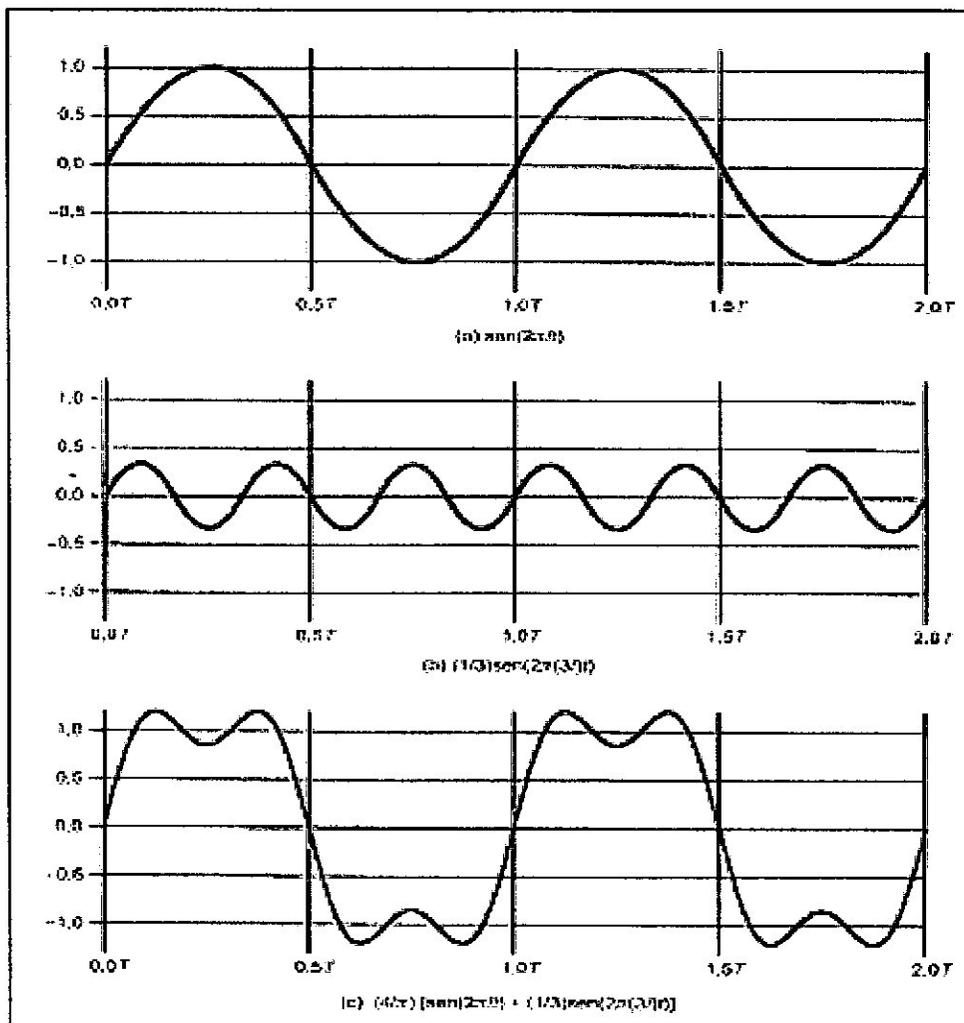


Figura 2

La señal mostrada en la Figura 3 es la señal de la Figura 2 (c), pero vista desde el dominio de las frecuencias, a este tipo de gráfica se denomina **espectro de la señal**. Luego podemos definir **ancho de banda** como la



diferencia entre el máximo valor de frecuencia y el mínimo valor de frecuencia (eje x de la Figura 3), para nuestro ejemplo  $2f$  es el ancho de banda, donde  $f$  puede ser Hz, MHz, Ghz, etc.

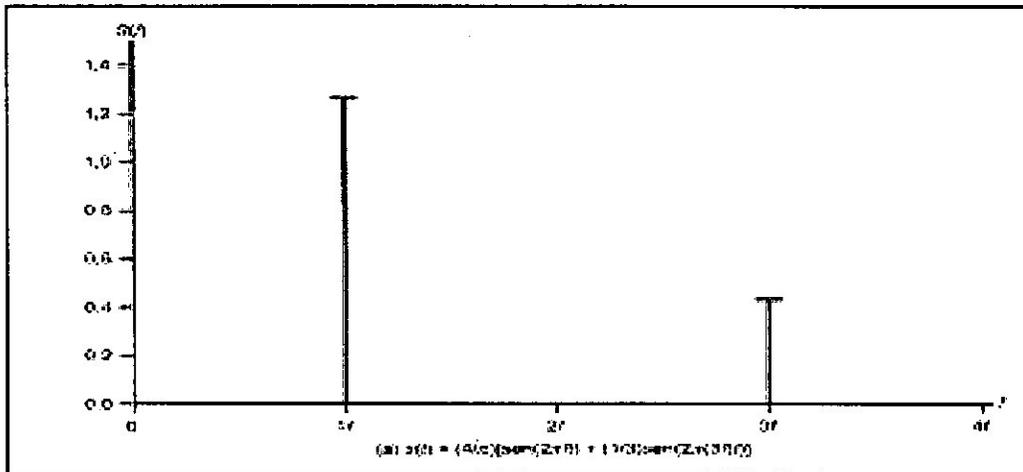


Figura 3

Intuitivamente se puede deducir que cuanto mayor ancho de banda se disponga, mas pulsos por segundo tendrá la señal, por consiguiente mayor será la velocidad de transmisión.

La naturaleza de los datos que se deseen trasnmitir pueden ser analógicos (video) o digitales (texto). Es necesario distinguir dicha naturaleza de los datos y las señal analógica o digital transmitida efectivamente. Se pueden considerar todas las variantes dependiendo del medio de tranmisión y la evaluación de los conversores necesarios. Un ejemplo de esto puede verse en la Figura 4.



Figura 4

El ancho de banda de una señal, depende exclusivamente de la tecnología utilizada para la transmisión, e aquí que surge la necesidad de hablar de los medios de transmisión.

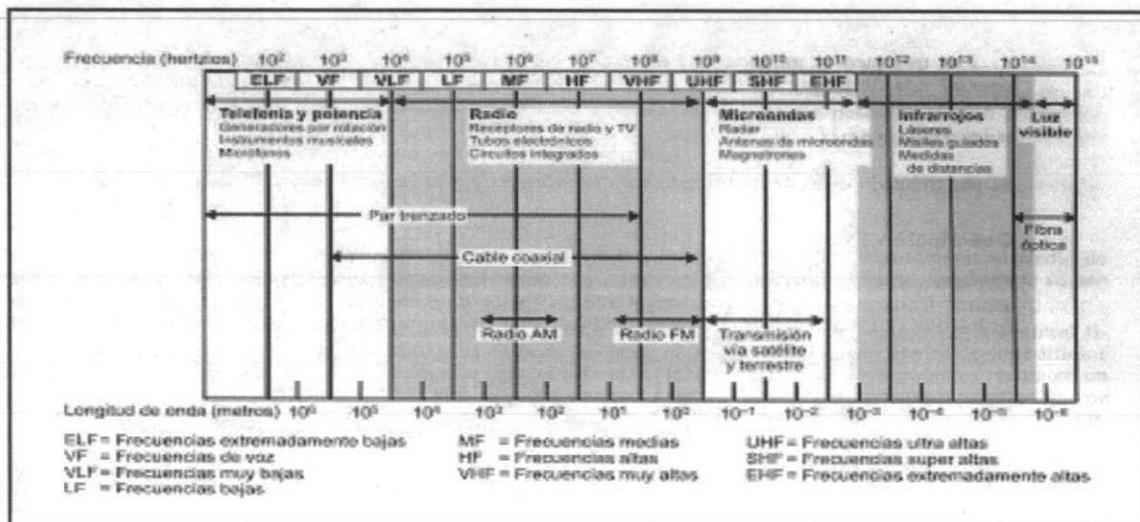
### 1.3. Medios de Transmisión

Los medios de transmisión, utilizados para transportar información, se pueden clasificar como guiados y no guiados. Los medios guiados proporcionar un camino físico a través del cual la señal se propaga; por ejemplo la fibra óptica, par trenzado, etc. Los medios no guiados utilizan una antena para transmitir a través del aire, el vacío o el agua.

El medio de transmisión es lo más importante en la determinación de las limitaciones de la transmisión. Se deben considerar como limitaciones en la transmisión: *distancia, velocidad de transmisión, ancho de banda, dificultad en la transmisión.*

En la Figura 5 se muestra el espectro electromagnético para las telecomunicaciones.





### 1.4. Fibra Óptica

Una fibra óptica es, en forma sencilla, un filamento muy fino de plástico o vidrio a través del cual la luz puede propagarse. Una fibra óptica puede ser estudiada fácilmente si se la considera como un "tubo transparente" circular en el cual los rayos de luz que entran por una punta pueden ser conducidos o guiados por el interior de la misma hasta su extremo opuesto. Las fibras son capaces de transportar señales ópticas y energía luminosa.

Las fibras no transportan señales eléctricas, sino el equivalente óptico de las mismas. Como la mayoría de los sistemas electrónicos de comunicaciones funcionan con señales eléctricas, la información a transmitir debe ser primero convertida en una señal luminosa mediante el uso de algunos de los distintos tipos de transductores que existen, para luego ser enviada por la fibra al lugar deseado. En él, la recuperación de la señal original supone la existencia de otros transductores que actúan a la inversa de los primeros.

Las ventajas de la fibra óptica:



- **Gran ancho de banda.** Una fibra óptica es el medio guiado con mayor capacidad de transmisión de información, que existe en la actualidad. Esta mayor capacidad puede explicarse por dos razones, por un lado, el mayor ancho de banda que pueden soportar (lo cual posibilita el manejo simultáneo de gran cantidad de canales independientes) y por otro lado la gran velocidad de propagación de la señal a través de la misma.
- **Bajas pérdidas.** Las características de baja atenuación y baja dispersión de las modernas fibras ópticas permite lograr satisfactoriamente enlaces de hasta 50 km., que no necesitan estaciones repetidoras. Las estaciones repetidoras para sistemas de comunicaciones, son habitualmente una de las partes mas costosas del sistema.
- **Tamaño reducido.** El reducido diámetro de una fibra hace que las mismas resulten muy apropiadas cuando el espacio utilizable para disponer un canal de comunicaciones es mínimo, por ejemplo:
  - Aeronaves y Submarinos.
  - Conductos de telefonía urbana subterráneos.
  - Salas de computadoras, para las conexiones entre el equipamiento.
- **Peso reducido.** La relación entre capacidad de canales respecto del peso en una red implementada con Fibras ópticas es sumamente conveniente.
- **Inmunidad a las interferencias electromagnéticas (EMI) y de radio**



**frecuencia (RFI).** A diferencia de los conductores por los cuales circulan corrientes, Las fibras ópticas (por las cuales solo se propaga luz) no irradian , ni son afectadas o interferidas por ninguna forma de energía electromagnética.

- **Seguridad:** Solo es posible interferir la señal que se propaga a través de una fibra interceptándola en forma individual, lo que normalmente es fácilmente detectable.
- **Flexibilidad de los sistemas:** Los sistemas que se implementen en base a canales soportados por fibras ópticas seguramente podrán , con el tiempo, ser mejorados a medida que se presenten progresos en la tecnología de los emisores y los detectores usados.

Las limitaciones de la fibra óptica

- **Dificultades para la manipulación de las fibras.** El equipamiento, y las herramientas que se necesitan para trabajar con fibras ópticas no es convencional y requiere de personal capacitado y entrenado para su manejo.
- **Baja eficiencia** de los dispositivos que se usan como interfaz con el equipamiento electrónico.
- **La no linealidad** de las fuentes ópticas y detectores, limitan las aplicaciones analógicas.
- **Sin polaridad.** A diferencia de lo que ocurre con líneas conductoras, no es posible trabajar con señales de tres estados ( Positivo - Negativo - Cero).
- **Dependencia.** Como las fibra óptica casi siempre esta en interfaz con



equipos y dispositivos electrónicos, casi siempre se termina necesitando una línea conductora eléctrica adicional.

- **Reparación complicada.** Las instalaciones de cables con fibras ópticas son muy sensibles al daño intencional (sabotaje), y su reparación puede ser complicada y costosa.

Existen tres formas de modular la transmisión por fibra óptica y se pueden observar en la Figura 6.

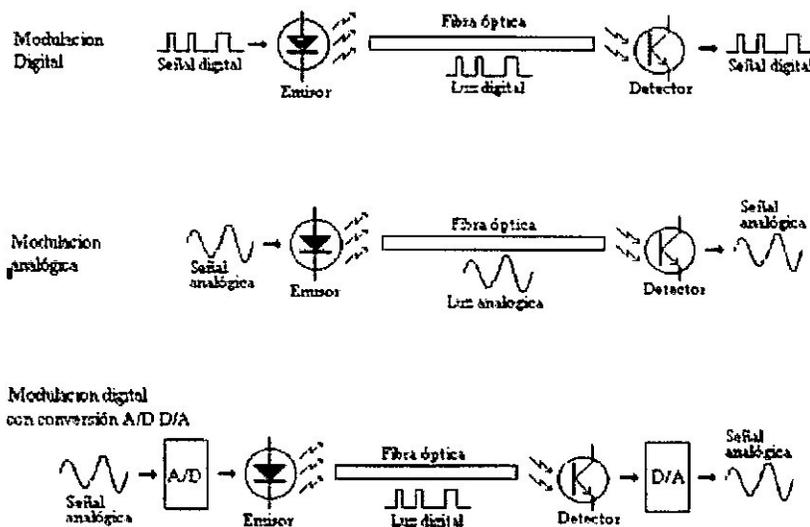


Figura 6

- La modulación digital simplemente cambia la secuencia de ceros y unos (que normalmente se corresponden a niveles de voltaje) en una secuencia idéntica de encendido y apagado de la fuente emisora de luz. Debido a que todas las comunicaciones entre computadoras se establecen en base a señales digitales, este tipo de modulación es adecuada para la transmisión de datos entre computadoras.
- Las señales de comunicación de tipo analógicas (voz o video) pueden usarse para hacer variar la intensidad de la fuente emisora de luz. Esta



técnica es relativamente barata y fácil de aplicar pero adolece de la limitación impuesta, sobre todo, por la no linealidad de los dispositivos emisores y receptores ópticos (no así de la fibra propiamente dicha, que en principio es capaz de transmitir luz en un elevado y muy lineal rango dinámico).

- Para resolver el inconveniente que presenta la modulación directa con señales analógicas, pueden convertirse las mismas previamente a un formato digital utilizando un conversor A/D, modular la fuente emisora en forma digital, y recuperar en la salida la señal original mediante un conversor D/A. Existe además la ventaja adicional que usando equipamiento de multiplexado, puedan agregarse un gran número de señales adicionales para su transmisión simultánea.

Es necesario estudiar los inconvenientes que tiene la transmisión por fibra óptica, con el objeto de definir las metodologías de medición de tales inconvenientes. Para ello se profundizará el estudio sobre los fundamentos teóricos de las fibras ópticas.

## **2. Fundamentos Teóricos de la Fibra Óptica**

El hecho de tener que definir métodos para la medición de los enlaces de fibra óptica, hace necesario el estudio de cómo se propaga la luz a través de la fibra óptica.

Es a causa de la refracción de la luz que cuando se introduce alguna cosa, tal como un palo o una vara en el agua, esta parece "quebrarse" en la superficie de la misma.

Cuando un rayo de luz insidente pasa de una superficie transparente a otra



(también transparente), éste produce un rayo reflejado y otro refractado. Esto puede verse en la Figura 7.

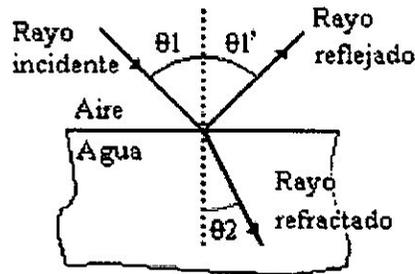


Figura 7

Este efecto se debe a la diferencia de velocidad de propagación de la luz en el medio. En el espectro de frecuencia mostrado en la Figura 5 se puede observar la **longitud de onda** ( $\lambda$ ) (distancia entre los mismos puntos de dos ciclos consecutivos mientras la onda viaja en un determinado medio) que maneja la fibra óptica, entre 800 y 400 nm.

El **índice de refracción** ( $n$ ) de un medio transparente, se define como la razón entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. Cuanto más denso es el medio mayor es el índice de refracción y menor la velocidad de propagación.

Considérese el caso de un rayo luminoso que pasa de un medio de elevado índice de refracción a otro cuyo índice de refracción es menor. Si el ángulo formado por el rayo refractado, respecto de la normal al plano de incidencia es de  $90^\circ$ , se conoce con el nombre de **Reflexión interna total (TIR)**.

La fibra óptica consiste en un filamento de material transparente compuesto de una parte central llamada núcleo (que es la que conduce la luz), rodeado de un revestimiento que tiene un índice de refracción menor que el del núcleo



y una protección externa llamada vaina o cubierta cuya función es principalmente de protección.

Todos los rayos de luz que puedan penetrar al núcleo de la fibra desde el aire buscarán curvar su trayectoria hacia el eje de la misma, ya que están pasando de un medio con bajo índice de refracción (prácticamente la unidad) hacia un medio cuyo índice de refracción es más elevado. Una vez que los rayos han penetrado en el núcleo, solo aquellos cuyo ángulo de incidencia respecto de la normal a la superficie que separa el núcleo del revestimiento, este por encima de un valor determinado se reflejarán completamente de vuelta al núcleo (TIR). De esta manera, y por sucesivas reflexiones, estos rayos podrán viajar a lo largo de la fibra y hasta el extremo final de la misma. Este concepto se puede ver en la Figura 8.

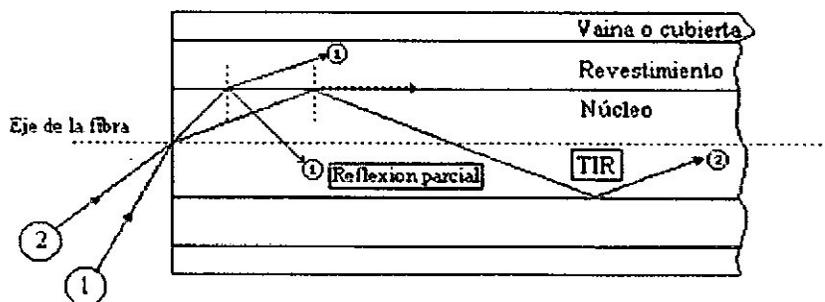


Figura 8

Este concepto tiene una limitación dada por el **cono de aceptación** mostrado en la Figura 9. Donde  $\theta_A$  es el **ángulo de aceptación**. Si el ángulo con el cual incide el rayo de es mayor que este  $\theta_A$  ya no cumple con la propiedad TIR, luego la propagación de la luz a través de la fibra no será garantizada. Esto deriva en un número denominado **Amplitud Numérica** que es el  $\text{sen } \theta_A$

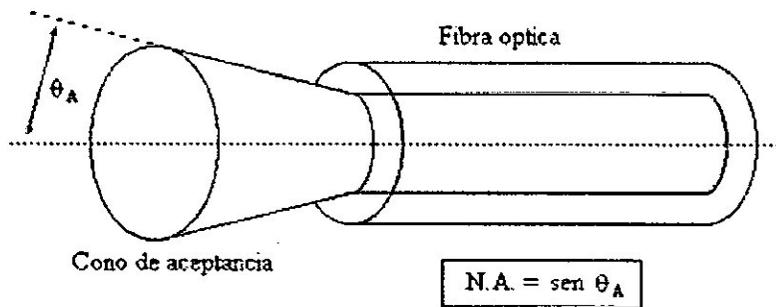


Figura 9

Los rayos de luz pueden propagarse por una fibra óptica siguiendo varios caminos siempre y cuando se cumpla con los límites impuestos por la apertura numérica. Cada uno de estos caminos se denomina **modo de propagación**. Aquellos rayos que se propagan con pequeños ángulos respecto del eje de la fibra se denominan *modos de bajo orden*, los que siguen trayectorias con ángulos grandes, se llaman *modos de orden elevado*. El número de modos que pueden propagarse, que corresponde al número de diferentes caminos que un rayo de luz puede seguir para viajar a través de la fibra, depende principalmente del valor de la apertura numérica y obviamente también del diámetro del núcleo de la misma. Para valores grandes de diámetro, (y aunque el ángulo de aceptación sea pequeño), el cono de aceptación es grande, entonces más cantidad de luz puede acoplarse a la fibra y en consecuencia habrá un gran número de caminos para la propagación (modos).

### 3. Tipos de Fibras Ópticas

En este apartado se intentará hacer una clasificación básica de los tipos de fibras ópticas más comúnmente usadas en telecomunicaciones, es decir las de vidrio. Normalmente en aplicaciones prácticas reales, se utilizan conjuntos o



haces de fibras ópticas, empaquetadas en un único envoltorio que se denomina "Cable de fibras ópticas".

Las fibras ópticas se diferencian entre sí de acuerdo con las dimensiones de la misma y en relación con el índice de refracción del material empleado.

La tabla siguiente muestra cuáles son las dimensiones de los principales tipos de fibras utilizadas en telecomunicaciones.

**Diámetros de una fibra óptica y de su protección. ( en  $\mu\text{m}$  )**

Tipo	Núcleo	Revestimiento	Recubrimiento	Tubo o vaina
I	4 a 10 (típicamente 8)	125	250 a 500	900 a 2000
II	50	125	250 a 500	900 a 2000
III	62,5	125	250 a 500	900 a 2000
IV	85	125	250 a 500	900 a 2000
V	100	140	250 a 500	900 a 2000

El lenguaje habitual para designar una fibra es en correspondencia con el tamaño de la misma, y normalmente se especifica con la relación "Núcleo/Revestimiento". Por ejemplo, el tipo II se conoce como fibra 50/125.

**Tipo I**

Las fibras 4/125 a 10/125 son normalmente monomodo. Toleran un elevado ancho de banda, son de baja dispersión (\*) y atenuación, pero son las más difíciles de manipular y requieren el uso de emisores-receptores de gran calidad y conectores de alta precisión. Se utilizan frecuentemente para aplicaciones de transmisión de datos a alta velocidad o para largas distancias. Si bien la fibra en sí es más barata que las del tipo multimodo, el equipamiento que se requiere es mucho más caro.

**Tipo II**

Todas las fibras cuyo núcleo tiene un diámetro mayor a 50  $\mu\text{m}$  son del tipo



multimodo. Las fibras 50/125 fueron las primeras fibras para telecomunicaciones que se vendieron masivamente. Son de pequeña apertura numérica y por consiguiente la relación entre la potencia que se acopla a la fibra y la emitida por la fuente es normalmente reducida. Sin embargo, de todas las fibras multimodo, es la que tiene mayor ancho de banda.

### **Tipo III**

Las fibras 62,5/125, es en la actualidad la mas popular de las fibras multimodo en los EE.UU. Tiene un ancho de banda ligeramente menor que la 50/125, pero su apertura numérica es mayor y posibilita un mejor acoplamiento de las fuentes. Posee también menos perdidas por microcurvaturas.

### **Tipo IV**

El tamaño 80/125 se usa principalmente en Europa, sus características son similares a la de tipo II, y como el diámetro del revestimiento es idéntico ( 125  $\mu\text{m}$ ) se pueden usar los mismos conectores y técnicas de empalme.

### **Tipo VI**

El diámetro del núcleo de la fibra 100/140 , la convierte en la fibra mas fácil de manipular, es menos sensible a las tolerancias de los conectores, y a la acumulación de suciedad en los mismos. Acopla la mayor cantidad de luz de las fuentes, pero tiene un ancho de banda mas reducido que las de tamaño mas pequeño. Por esto se las utiliza principalmente en sistemas de comunicaciones de reducida longitud, con varios conectores y que no requieren elevada velocidad de transferencia de datos (por ejemplo: en instalaciones dentro de edificios). No es muy común y suele ser difícil de conseguir.



### 3.1. Tipos de fibras ópticas de acuerdo con el índice de refracción

#### 3.1.2. Fibras de índice escalonado

Respecto del índice de refracción del material empleado, existen básicamente dos tipos de fibras ópticas. Por un lado están aquellas denominadas de índice escalonado; en este tipo de fibra, el núcleo de la misma, posee un índice de refracción homogéneo en toda su sección, y lo mismo ocurre con el índice de refracción del revestimiento.

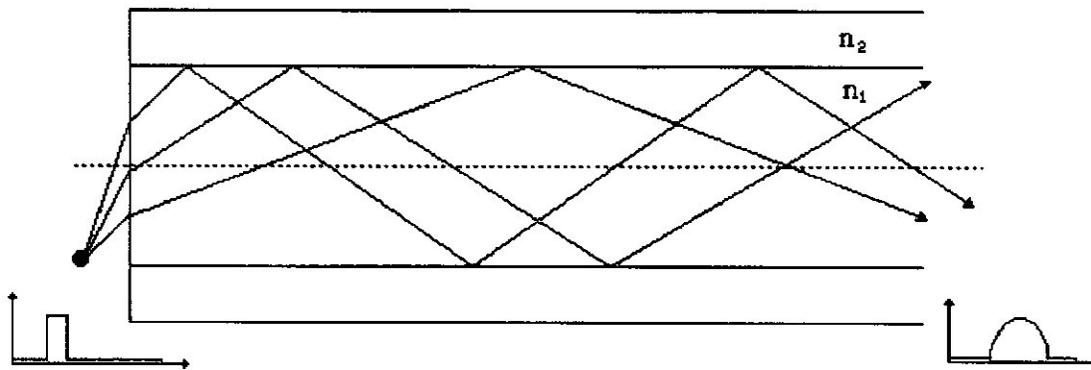


Figura 10

La figura 10 corresponde a un esquema de una fibra multimodo de índice escalonado donde, como puede verse, los rayos de luz que parten al mismo tiempo de una fuente acoplada a un extremo de la fibra, pueden llegar a la otra punta en instantes diferentes en razón de que las distancias recorridas también son diferentes. Esto trae como consecuencia que un pulso transmitido se termine ensanchando en el tiempo. Por este motivo, las fibras multimodo de índice escalonado, que fueron las primeras fibras en fabricarse (y durante un tiempo las únicas disponibles para propósitos prácticos, han ido cayendo poco a poco en desuso, siendo sustituidas por un tipo más moderno de fibras



denominadas de índice gradual; en cambio no ha sucedido así con las fibras monomodo de índice escalonado, que se continúan fabricando y utilizando.

### 3.1.2. Fibras de índice gradual

El índice de refracción del núcleo de una fibra de índice gradual no es de un valor homogéneo en toda la sección del mismo, sino que tiene un valor máximo en el centro que luego va decreciendo con el radio hasta hacerse igual al del revestimiento en la frontera con este.

Como consecuencia de esto, los rayos de luz siguen una trayectoria sinuosa en vez de un camino en zigzag, además, los caminos mas largos son mas rápidos, (porque el índice de refracción decrece al acercarse al revestimiento) y son mas lentos en el centro del núcleo (donde el índice de refracción es mas elevado). Si el perfil puede ajustarse de manera que la variación de la longitud de los caminos, sean compensados por la correspondiente variación de la velocidad, el efecto de ensanchamiento de un pulso de luz que viaja por la fibra, se ve notablemente minimizado.

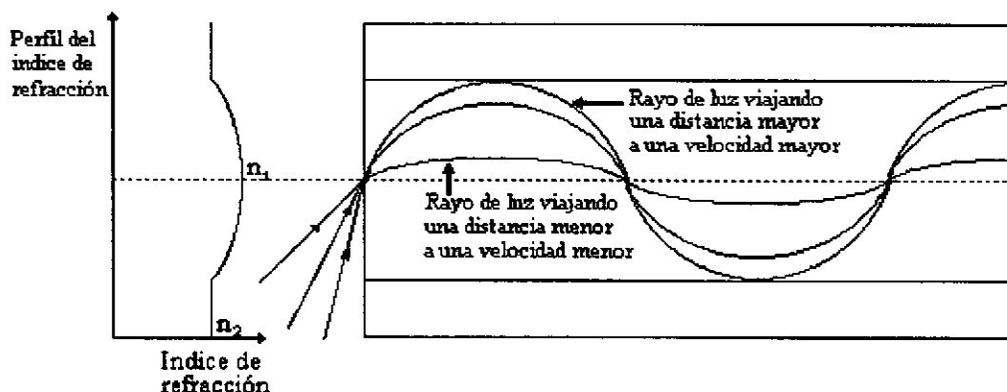


Figura 11

Las fibras de índice gradual (que son normalmente multimodo), aparecieron



como una solución al problema del reducido ancho de banda soportado por las fibras multimodo de índice escalonado.

### 3.1.3. Fibras con perfiles especiales

Hasta ahora las fibras monomodo han sido siempre de índice escalonado, sin embargo desde hace poco tiempo se han comenzado a producir también fibras monomodo con perfiles que no pueden ser catalogados estrictamente dentro de los escalonados. Se busca de esta forma lograr ciertas mejoras como por ejemplo, reducir las pérdidas por curvatura, aumentar la apertura numérica y reducir la dispersión cromática, (que ocurre como resultado de las diferentes velocidades de propagación de las componentes espectrales de una fuente de luz que no emite en una única longitud de onda).

## 4. Inconvenientes en la Transmisión por Fibra Óptica

Cuando una fuente óptica se acopla a la punta de una fibra, la cantidad de luz que llega al extremo opuesto es en general menor que la original; lógicamente esto se debe a que en el camino se producen una serie de pérdidas. Por un lado es evidente que no toda la energía emitida por la fuente, puede acoplarse a la fibra, pero además, una vez que un rayo de luz ha penetrado en la misma, también puede ir sufriendo una disminución de su intensidad con la distancia a medida que viaja por el núcleo.

Las pérdidas pueden clasificarse, según las causas que las provocan, en pérdidas debidas a factores externos, y pérdidas por motivos intrínsecos de las fibras. Entre las primeras están por un lado las que se deben a los empalmes y conexiones entre diferentes tramos de un sistema, y por el otro



lado las que se producen debido a que al efectuar el tendido de un cable de fibras ópticas, es imposible seguir siempre trayectorias rectas y en algún lugar el cable debe forzosamente curvarse. Las pérdidas por causas intrínsecas son: la atenuación por absorción del vidrio; las pérdidas que se derivan de imperfecciones o defectos del vidrio y que se conocen como dispersión de Rayleigh; las pérdidas por defectos mecánicos que se producen en el proceso de fabricación (variación del diámetro del núcleo, presencia de contaminantes, etc.), y la reflexión de Fresnel en la frontera entre el vidrio y el aire que ocurre en ambos extremos de la fibra.

#### 4.1. Pérdidas por curvatura

El valor de apertura numérica de una fibra óptica corresponde al que se obtiene suponiendo que la misma se mantiene derecha. En el dibujo siguiente puede verse como se produce un efecto de reducción de la apertura numérica al curvar la fibra.

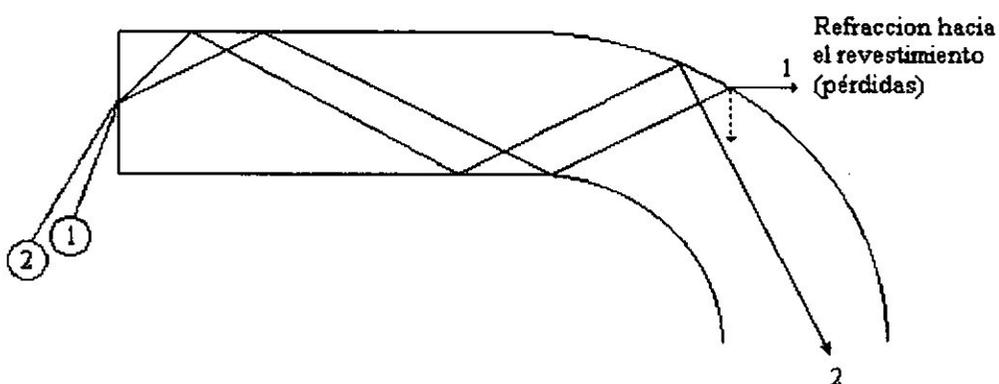


Figura 12

En condiciones normales, tanto el rayo 1 como el 2 se propagan por el núcleo. Sin embargo, cuando la fibra se tuerce, en esa zona el rayo 1 sufre una refracción hacia el revestimiento, (es decir, que parte de la energía del



mismo se pierde y no continua su camino por la fibra).

Es evidente que la magnitud de la disminución de la NA, se corresponderá con el radio de la curvatura de la fibra. También el efecto puede entenderse como una anulación de los modos de propagación de orden elevado en fibras multimodo, de lo que también puede deducirse que a medida que el diámetro del núcleo es menor, el efecto de la curvatura se va reduciendo. Desde ambos puntos de vista, lo que se reduce es la capacidad de la fibra para acoplar luz del dispositivo que se use como emisor.

Si la fibra es monomodo, la curvatura casi no produce variación en la apertura numérica (que siempre es muy baja) sino que finalmente implica una disminución del ancho de banda de la misma.

En realidad, existe un valor mínimo para el radio de la curva, por encima del cual, las pérdidas son prácticamente despreciable, y por lo tanto ignoradas. Este radio de curvatura mínimo depende, entre otras cosas, principalmente del diámetro del núcleo y al respecto se puede decir que en general las fibras pueden ser mas curvadas a medida que el núcleo es mas pequeño..

Sin embargo, corresponde también diferenciar entre las curvaturas grandes (Que son las que normalmente deben producirse por requerimientos de la instalación) y las "microcurvaturas", que se producen por ejemplo, por un aplastamiento o deformación de la fibra, lo cual puede ser un defecto muy común al efectuar el montaje de conectores ya que los mismos se sujetan a la fibra mediante presión (en términos corrientes se "crimpean"), por ello se debe prestar especial atención a las herramientas utilizadas.

Estas microcurvas pueden afectar la propagación de manera distinta dependiendo de la forma de la misma, y del diámetro del núcleo de la fibra.

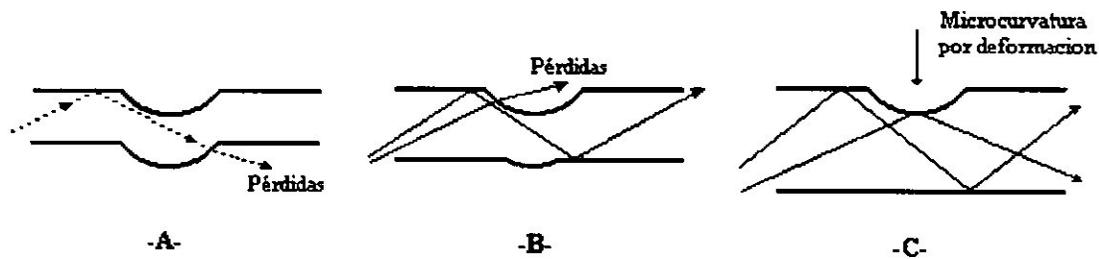


Figura 13

En la figura 13 -A- se muestra el efecto de una microcurvatura en una fibra de pequeño diámetro donde la deformación es igual en toda la sección transversal y puede llegar el caso en que la pérdida sea total. La figura 13 -B- muestra el caso de una fibra algo mas gruesa que la anterior en la cual la deformación no es igual; algunos modos resultan atenuados, pero otros pueden propagarse igualmente. El caso -C- muestra un caso donde una fibra de sección relativamente grande comparada con las anteriores sufre una alteración mínima ya que la deformación solo esta presente en uno de los lados.

#### 4.2. Pérdidas por acoplamiento

Cuando una fibra óptica se acopla a un emisor de luz, un detector de luz u otra fibra, la unión entre la fibra y la otra entidad no es perfecta, por lo que ocurre una pérdida en la frontera. Cualquier energía de luz que entre en la fibra fuera del cono de aceptación se pierde a través del revestimiento. Como luego se verá es posible definir valores de apertura normal también para fuentes emisoras y detectores de luz. Cuando una fuente de luz tiene un cono de aceptación estrecho respecto del que tiene la fibra receptora, no existe



perdida alguna, siempre que la energía luminosa no este fuera de dicho cono. En cambio si una fibra fuente tiene un cono de aceptación amplio respecto de un detector o de una fibra receptora si hay pérdidas, y estas se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Pérdidas} = 20 \log \quad NA_2/NA_1$$

(Donde  $NA_1$  es el valor de apertura numérica mas grande y  $NA_2$  el valor mas chico.)

De lo expresado, puede deducirse que en general no es una buena idea intentar acoplar o empalmar fibras ópticas de distinto tamaño, y aunque este fuera el mismo, aun así habría que comprobar si los valores de apertura numérica coinciden (lo cual puede no ser así tratándose de distintos fabricantes).

#### 4.3. Pérdidas intrínsecas

Por propiedades físicas de las fibras ópticas, la energía de la onda lumínica se ve devilitada a lo largo de la propagación, probocando la **atenuación** de dicha onda.

Además de las propiedades físicas, existe otro mecanismo que produce atenuación, la dispersión de Rayleigh que se debe a defectos tales como microburbujas, concentraciones importantes de impurezas, o variaciones locales de la densidad del vidrio. Por ello los rayos de luz que encuentran en su trayectoria, pueden cambiar de dirección, y perderse hacia el exterior a través del revestimiento de la fibra.

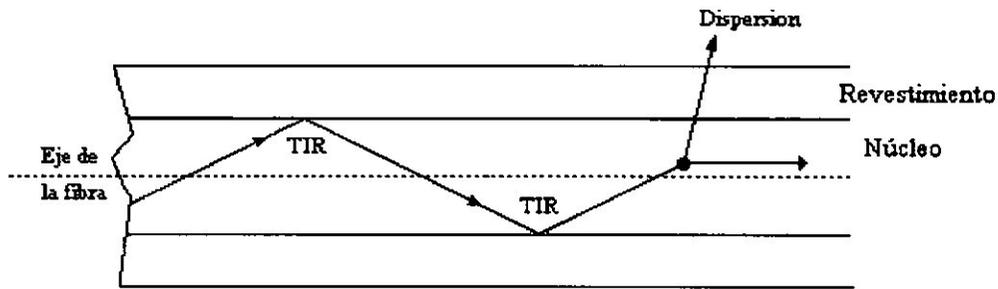


Figura 14

Lógicamente, la atenuación también depende de la longitud de la fibra considerada, por ello normalmente los fabricantes de fibras ópticas acostumbran a especificar las pérdidas por atenuación de las misma en decibeles por unidad de longitud (habitualmente la unidad de longitud es el km.).

El gráfico siguiente muestra como varía la atenuación neta de una fibra óptica de vidrio de sílice típica.

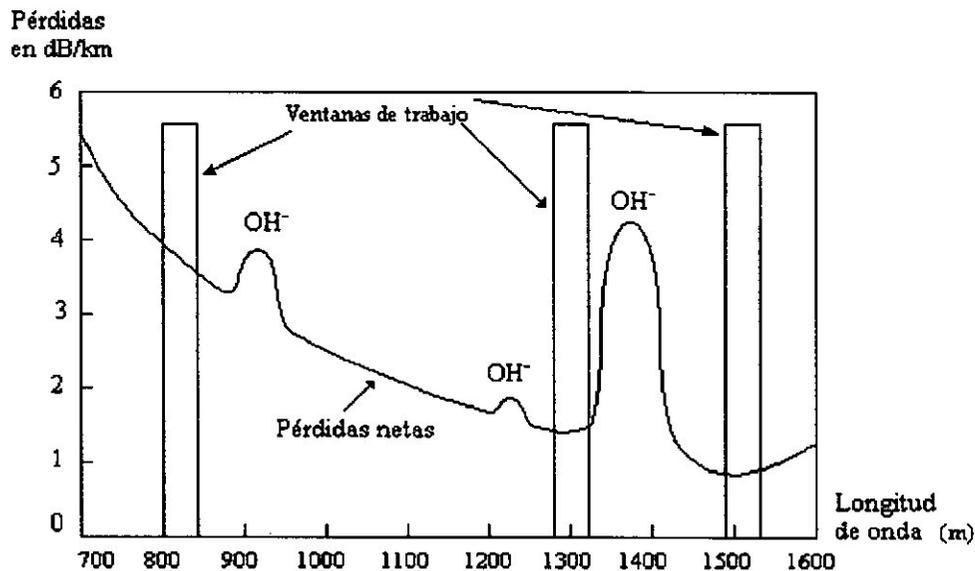


Figura 15

La figura 15 sugiere también la existencia de "ventanas" de trabajo (zonas



grises) en las cuales es mas oportuno operar. Todas ellas están en la región invisible del espectro (infrarrojo). Para transmisiones a larga distancia se utilizan las ventanas de 1300 o 1500 nm. La ventana de 800 nm (la mas próxima a la luz visible) se usa en instalaciones de distancias mas cortas y de costos mas bajos.

Reflexión de Fresnel La reflexión de Fresnel ocurre siempre en cualquier frontera entre dos medios cuyos índices de refracción son distintos. Cuando la luz pasa de un medio al otro, parte de la energía del rayo incidente es reflejada de nuevo hacia el primer medio. La reflexión de Fresnel se pone en evidencia particularmente en cualquiera de los extremos de una fibra óptica o en todas las partes de la misma donde exista un conector, ya que indefectiblemente se forma una frontera entre el vidrio del núcleo y el aire. Por ello sucede que al intentar acoplar un emisor a una fibra, parte de la energía de la luz es devuelta hacia el aire, y en el caso del acoplamiento con el detector parte de la energía que viaja por la fibra, es reflejada de nuevo hacia la fuente.

La cantidad de luz que se refleja en la frontera depende principalmente de la diferencia entre los índices de refracción de los dos medios, y viene dada en forma aproximada por la siguiente expresión:

$$\text{Luz reflejada (\%)} = 100 \cdot (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$$

Donde  $n_1, n_2$  son, respectivamente, los índices de refracción de cada medio.

Hay que tener en cuenta que en el caso del aire, su índice de refracción puede sufrir variaciones de acuerdo con la temperatura, el porcentaje de humedad, y la presencia de partículas en suspensión. A veces, cuando la terminación de la fibra no esta suficientemente protegida de los agentes externos, pueden



depositarse sobre la misma, partículas de polvo o se puede condensar la humedad. Todos estos factores van a influir en el porcentaje de luz reflejada. De ahí que es muy importante la limpieza y protección de los distintos tipos de conectores que se utilizan. Para efectuar la correspondiente limpieza, se deben usar las técnicas y materiales apropiados.

#### 4.4 Dispersión y ancho de banda de las fibras ópticas

Un pulso de luz que se acopla a la punta de una fibra óptica, llega al otro extremo de la misma "desparramado" o "ensanchado" en el tiempo, esto es debido al efecto conocido como **dispersión** de las fibras ópticas.

La deformación de un pulso rectangular que viaja por una fibra ocurre como resultado de uno o mas de las siguientes formas o maneras de dispersión.

- Dispersión modal.
- Dispersión material.
- Dispersión de guía de onda.

La velocidad con la cual puede transmitirse una serie de pulsos digitales (lo que en inglés se conoce como "bit rate") por una FO. dependerá en forma muy directa de la dispersión que se produzca, por lo cual resulta importante estudiar cuales son los mecanismos por los cuales se produce la misma.

#### **Dispersión modal**

Se presenta principalmente en las fibras multimodo, y ocurre porque que los rayos de luz que parten a la vez de un emisor no llegan, sin embargo, al mismo tiempo al extremo final de la fibra, debido a que recorren diferentes caminos, (siendo mas largos los correspondientes a los modos de orden mas elevados).



El efecto es muy notable en las fibras multimodo de índice escalonado, pero afecta bastante menos a las fibras multimodo de índice gradual. En cuanto a las fibras monomodo, en principio podría decirse que no hay dispersión de este tipo.

### Dispersión material

Es un efecto conocido que el índice de refracción de cada material varía con la longitud de onda considerada, por eso es posible separar las componentes espectrales de la luz blanca del sol mediante un prisma. La magnitud de la variación del índice de refracción en función de la longitud de onda es una propiedad característica de las moléculas de cada material.

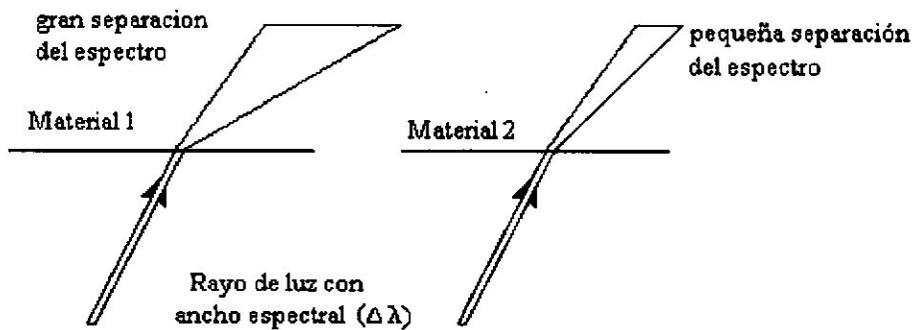


Figura 16

En la figura 16 se representan los distintos resultados que producen dos materiales distintos sobre la separación de las componentes espectrales de un rayo de luz. Este efecto depende, como ya se ha dicho, de las características de los materiales, pero es evidente que también será consecuencia del ancho espectral del rayo de luz incidente.

Las fuentes ópticas utilizadas en los sistemas de FO emiten luz no solamente en una longitud de onda específica, sino que también lo hacen en un pequeño



rango alrededor de una determinada longitud de onda central. Este rango de longitudes de onda inyectadas a una fibra se denomina "ancho espectral" de la fuente de luz.

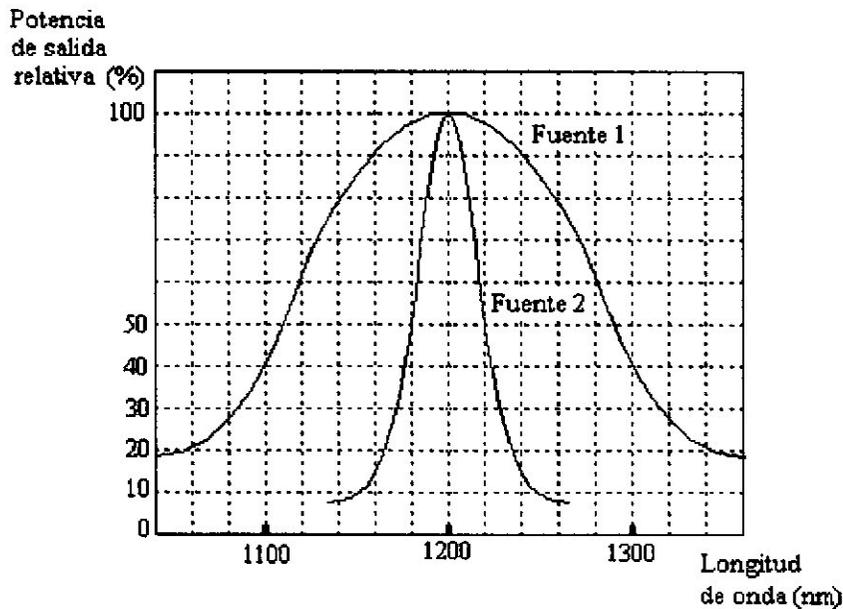


Figura 17

Dado que el índice de refracción del núcleo es distinto para cada una de las componentes de un pulso de luz emitido por una fuente, se originara un ensanchamiento del pulso transmitido a causa de los dos siguientes efectos:

- Las distintas componentes espectrales de la fuente, tomaran distintos caminos en razón de, la variación del índice de refracción en función de la longitud de onda distinta con un efecto similar al de la dispersión modal.
- Las distintas componentes viajaran además a velocidades diferentes, y como consecuencia de ello llegarán a destino en instantes distintos.

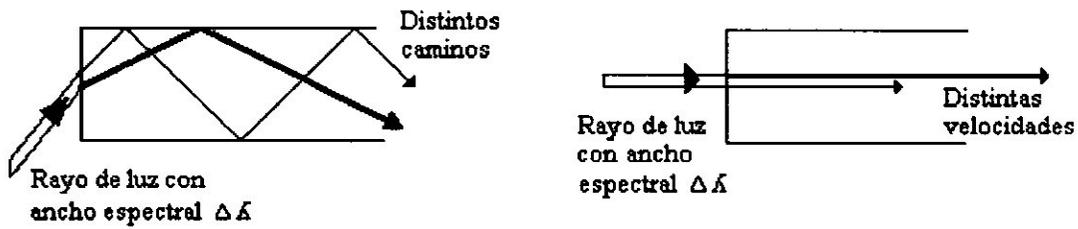


Figura 18

Cualquiera de estos dos efectos se vera incrementado a medida que mayor es el ancho espectral de la fuente. Por otra parte es evidente que, ya sea en el caso de la dispersión modal, como en la dispersión material, la magnitud del efecto dependerá también directamente de la longitud física de la fibra. Por esto los fabricantes especifican la dispersión de cada tipo de fibra en forma de un coeficiente normalizado, es decir con referencia a la unidad de longitud.

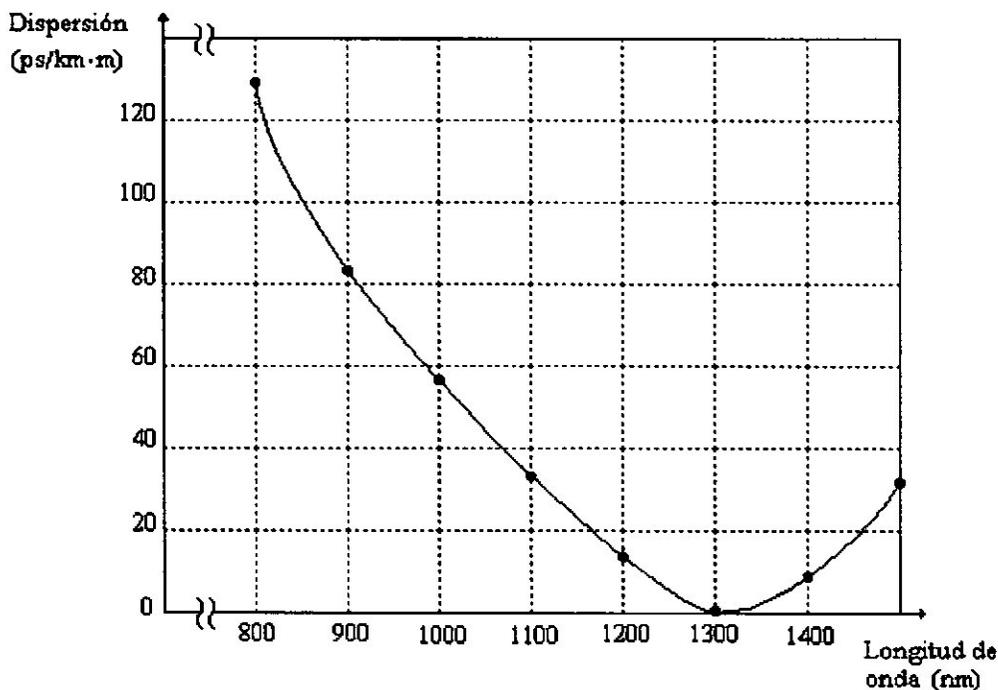


Figura 19

El agregado de ciertas impurezas (dopado) permite obtener variantes de vidrios que posibilitan la fabricación de fibras monomodo con baja dispersión



en un margen comprendido entre 1300nm y 1550nm.

### **Dispersión de guía de onda.**

Ocurre principalmente en las fibras monomodo, y sobre todo cuando el diámetro del núcleo es sumamente pequeño ( y por lo tanto comparable a la longitud de onda de la luz). En estas circunstancias no puede evitarse que parte de la energía de la luz se desborde del núcleo y viaje por el revestimiento (lo que se conoce como efecto túnel). Como además, los índices de refracción del núcleo y del revestimiento son de valores distintos (aunque muy próximos) hay una diferencia en las velocidades que finalmente es causa de un efecto de dispersión. La dispersión de guía de onda es comparativamente bastante menor que las dispersiones modal y material, y solo se vuelve importante cuando estas últimas tienden a cero.

### **Ancho de banda para una fibra óptica**

Hemos aprendido que la dispersión es uno de los principales factores que condicionan la transmisión por una fibra óptica, ya que el ensanchamiento en el tiempo ( $\Delta t$ ), de los pulsos que forman el tipo de señal digital que habitualmente se transporta por un sistema de FO impone un límite a la separación mínima que debe haber entre dos pulsos sucesivos.

El ancho de banda del sistema estará en relación directa con la capacidad del mismo para poder distinguir entre dos pulsos seguidos. Como la información concerniente al cambio de estado de una señal digital, esta en cada uno de los flancos de la misma, si se considera un hipotético pulso cuya duración es cero, se requerirá al menos el doble del tiempo de ensanchamiento  $\Delta t$  para transmitir la información completa (se invierte un tiempo para el flanco de



subida, y otro idéntico para el de bajada), de manera que el ancho de banda máximo tolerable del sistema será aproximadamente:

$$AB \approx \frac{1}{2 \cdot \Delta t} = \frac{0,5}{\Delta t} \quad (*)$$

(\*) En realidad este es un análisis simplificado, y aunque puede ser útil para una estimación práctica, no se tienen en cuenta otros factores que también influyen en el ancho de banda. Un cálculo más exacto puede hacerse con la ecuación  $AB = 0,441/\Delta t$  (que el estudiante puede encontrar en algunos textos).

La ecuación anterior sirve para la estimación del ancho de banda en fibras ópticas multimodo, y también podría aplicarse para las fibras monomodo (donde prácticamente no hay dispersión modal) si el espectro del emisor óptico utilizado fuese parejo (la misma amplitud para todas las componentes).

Para las fibras monomodo, donde la dispersión depende (además de los parámetros propios de la fibra) del ancho espectral de la fuente óptica, se la normaliza también respecto de la unidad de longitud de onda.

**Tabla de especificaciones (para algunos tipos de fibras)**

Tipo	Diámetro del núcleo (μm)	Diámetro del revestimiento (μm)	Apertura Norma I	Ancho de banda (Mhz . km)	Atenuación (dB/km)
Monomodo	8 5	125 125		6 ps/km.nm (* 4 ps/km.nm (*	0,5 - 1300 nm 0,4 - 1300 nm



Multimodo de índice gradual	50	125	0,20	400	4 - 850 nm
	63	125	0,29	250	7 - 850 nm
	85	125	0,26	200	6 - 850 nm
	100	125	0,30	20	5 - 850 nm
Multimodo de índice escalón	200	380	0,27	25	6 - 850 nm
	300	440	0,27	20	6 - 850 nm
Multimodo de plástico	200	350	0,30	20	10 - 790 nm
	400	550	0,30	15	10 - 790 nm 400 - 650 nm

(\*) Dispersión para fibras monomodo.

## **5. Emisores y detectores ópticos**

La función de un emisor de fibra óptica es transformar la señal eléctrica en una señal lumínica. La función de un detector óptico de fibra es realizar el pase inverso, es decir, transformar la señal lumínica en una señal eléctrica.

En particular esto significa para los emisores que:

- La emisión de los impulsos luminosos, tiene que tener lugar en el margen espectral para el cual la fibra óptica adoptada, presente la mínima atenuación y/o dispersión.
- La potencia radiada acoplada a la fibra óptica debe ser la mayor posible. Esto significa no solamente un rendimiento de transducción optoelectrónica elevado sino también un reducido valor de pérdidas por acoplamiento.
- La emisión óptica debe ser modulable en forma sencilla por la señal transmitida.

Para los detectores se pueden enumerar también de manera análoga:

- La sensibilidad de recepción debe ser lo mayor posible manteniendo las mejores condiciones de ruido. De esta forma, incluso con una frecuencia de error binaria predeterminada es detectable todavía una potencia óptica



mínima.

- Para la velocidad de transmisión deseada, la velocidad umbral tiene que ser lo suficientemente grande.

Estas condiciones las cumplen, como emisores, los diodos electroluminiscentes (Diodos LED, Diodos Láser), y como receptores, principalmente los fotodiodos.

## **6. Sistema de fibra óptica**

En las secciones previas se ha dejado establecido que un enlace de F.O. simple esta compuesto de: el transmisor , la fibra óptica con sus conectores, y el receptor. El emisor (Led o Láser), y el detector (fotodiodo), forman parte respectivamente del transmisor y el receptor. La señal eléctrica a transmitir debe ser adecuada y amplificada por el transmisor (para compensar las pérdidas en el enlace), en tanto que el receptor debe recuperar la señal en forma lo mas parecida posible a la original. Hay además otras funciones que deben realizarse que tienen que ver con la naturaleza radicalmente diferente de señales ópticas y eléctricas respectivamente; (téngase en cuenta, por ejemplo, que una señal eléctrica puede caracterizarse por su amplitud y su polaridad, lo cual no es así para una señal óptica donde el termino "polaridad" carece de sentido).

### **6.1. Transmisores para fibras ópticas.**

Un equipo transmisor básico para F.O. consiste en un emisor y un amplificador excitador que proporciona la corriente necesaria para la excitación del primero.



Los sistemas digitales operan con niveles definidos de señal eléctrica para los estados alto y bajo, por ejemplo si se trata de lógica TTL, dichos niveles corresponden a valores entre 2,8V y 5V para el estado alto, y 0V a 0,4V para el estado bajo, en tanto que en la lógica ECL los niveles son -1,75V para bajo y -0,9V para alto. El amplificador excitador debe, por lo tanto, convertir estos diferentes valores de tensión, en los correspondientes niveles de corriente. Otra función del equipo transmisor es producir el código de modulación apropiado para efectuar la transmisión.

### 6.2. Códigos de modulación.

Un código de modulación es en esencia un método para codificar los datos que van a ser transmitidos por un sistema determinado. Cada unidad de información digital debe estar contenida dentro de un determinado espacio de tiempo denominado "periodo de bit", el cual está definido por un reloj (o clock). La señal de clock es un tren de pulsos idénticos que proporcionan la sincronización básica al sistema y es fundamental que el receptor disponga de dicho sincronismo para poder recuperar la señal transmitida. Existen tres alternativas válidas para que la señal de clock esté disponible por igual en el receptor o en el transmisor, ellas son:

1. La información transmitida puede contener la señal de clock, en otras palabras el código de modulación es "autosincronizado".
2. La señal de clock puede transmitirse por algún medio auxiliar, por ejemplo una línea extra a parte de la de datos.
3. El receptor puede generar su propia señal de clock, la cual en principio no está relacionada con la generada en el transmisor.



La figura 20 muestra algunos de los tipos de código mas comúnmente utilizados en sistemas de transmisión digital.

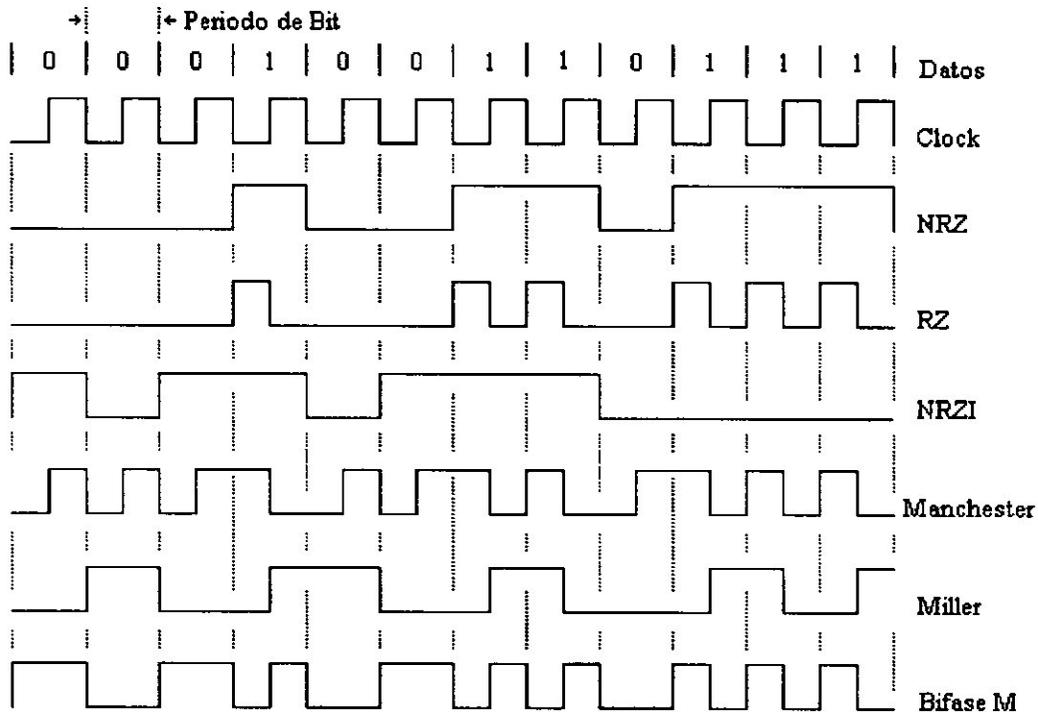


Figura 20

Formato	Símbolos por Bit.	Auto sincronizado	Rango del factor de Ciclo de Trabajo (%)
NRZ	1	no	0 - 100
RZ	2	no	0 - 50
NRZI	1	no	0 - 100
Manchester	2	si	50
Miller	1	si	33 - 67
Bifase - M	2	si	50

Distintos códigos de modulación

**Código NRZ (No retorno a cero):**



Este tipo de codificación es el más sencillo, y en esencia simplemente la señal sigue a los datos. Por ejemplo si hay una sucesión de "ceros" la señal permanece en nivel bajo, en cambio si los datos corresponden a un "uno", la señal se sitúa en el nivel alto. Solo hay cambio del nivel de la señal cuando cambian los datos. Sin embargo a pesar de su simplicidad, requiere indefectiblemente de la señal de clock para recuperar los datos ya que, por ejemplo, no hay manera de saber si un estado determinado corresponde a un único dato o a una serie de datos idénticos.

#### **Código RZ (Con retorno a cero):**

Al igual que en el código NRZ, la señal permanece en nivel bajo cuando el dato es "cero". En cambio cuando el dato es "uno", la señal toma el nivel alto en la primera mitad del periodo de bit y retorna al bajo en la segunda mitad.

#### **Código NRZI (No retorno a cero invertido):**

En esta codificación, un "cero" está representado por un cambio de nivel, en tanto que el "uno" corresponde a un no cambio de nivel. Esto implica que los estados alto y bajo pueden representar tanto un "uno" como un "cero" de acuerdo con el estado que le preceda.

#### **Código Manchester:**

Este sistema se caracteriza por usar una transición de niveles en el medio de cada periodo de bit. Para un "uno" binario, la primera mitad del periodo es alto, y la segunda mitad bajo. Para un "cero" la primera mitad del periodo es



bajo, y la segunda mitad alto. En el código manchester, al igual que en el RZ, se usan dos símbolos (alto y bajo) por bit.

### **Código Miller :**

En el código Miller, cada "uno" binario esta representado por una transición de niveles en medio del periodo de bit. Un "cero" puede estar representado por un no cambio de nivel si el dato precedente es "uno", o un cambio de nivel si el dato anterior es "cero".

### **Código Bifase - M :**

En este código, también conocido como "Bifrecuencia", cada periodo de bit comienza con un cambio de nivel. Si el dato es "uno", hay además una transición adicional que ocurre en el medio del periodo de bit. En cambio si el dato es "cero", no existe tal transición adicional. En otras palabras, un "uno" esta representado por dos niveles dentro del periodo de bit, en cambio un "cero" esta representado por un único nivel (que puede ser alto o bajo).

El código de modulación usado en un sistema de fibras ópticas juega un papel muy importante en correspondencia con la velocidad del mismo. Al considerar los aspectos relacionados con el ancho de banda y la velocidad de transmisión de un enlace por fibra óptica se hace necesario distinguir entre la cantidad o promedio de datos (data rate), y el promedio de señal (signal rate). El "promedio de datos" viene fijado por el número de bits de datos que se transmiten y esta dado en "bits por segundo" (bps). En cambio el "promedio de señal" es el número de símbolos transmitidos por unidad de tiempo y se expresa en "baudios" (bauds). El promedio de señal, y el promedio de datos,

---



pueden ser iguales o diferentes dependiendo del tipo de código de modulación usado. Por ejemplo, el código NRZ usa un símbolo por bit; los promedios de señal y de datos son idénticos, y una cantidad de datos de 5 Mbps requiere una capacidad de 5 Mbauds. En cambio, un sistema que use codificación manchester, que requiere dos símbolos por bit, necesitara un ancho de banda exactamente igual al doble, o sea una capacidad de 10 Mbauds.

Para la instalación de un sistema con FO, se utilizan algunos pocos elementos y técnicas que son idénticos a los usados en sistemas con conductores de cobre, Hay otro grupo que tiene ciertas similitudes pero que requieren un tratamiento y manipulación especial, en tanto que existe un tercer conjunto de componentes que son decididamente diferentes en su concepción, fabricación e instalación.

El tema general de la conectorización juega un rol muy importante en el comportamiento final de un sistema de transmisión por FO, y por lo tanto debe ser tenido en cuenta durante el diseño del mismo. Las fibras se conectan a las fuentes, detectores, y otras fibras mediante conectores y empalmes. Los conectores se usan principalmente en lugares donde se requiere la posibilidad de desconectar y conectar fácil y rápidamente un determinado componente o sistema, como puede ser los extremos finales de una línea con los detectores o emisores, en tanto que los empalmes se destinan a la unión de tramos de fibras en reparaciones o en tendidos de varios kilómetros de largo (los fabricantes suministran la fibra óptica en rollos de longitudes determinadas que casi nunca coinciden exactamente con la longitud física necesaria para cada caso en particular). Los empalmes pueden



hacerse básicamente de dos maneras distintas, por un lado están los empalmes por fusión, en los cuales se requiere de una herramienta o maquina especial que suelda las fibras mediante el uso de un arco eléctrico, y por el otro lado existen los empalmes mecánicos. Ambos tipos de uniones están destinadas a ser permanentes, si bien algunos fabricantes ofrecen también cierto tipo de empalmes mecánicos que pueden desconectarse y volver a usarse, aunque, desde luego, un número reducido de veces.

También existen como componentes usados para distribución de señales ópticas en sistemas de múltiples fibras, el equivalente óptico de acopladores, llaves selectoras y distribuidores.

### **6.3 Conexiones y empalmes para fibras ópticas.**

La conectorización en el campo de las fibras ópticas es bastante mas complicada que en sistemas tradicionales que usan conductores de cobre, ya que se requiere no solamente la unión física de las fibras, sino el perfecto alineamiento óptico de los componentes a fin de que se produzca una mínima pérdida de potencia óptica.

En la actualidad existen varios tipos de conectores y empalmes cuyo diseño se ha efectuado teniendo en cuenta las principales causas que ocasionan pérdidas con el fin de minimizarlas.

En la elección apropiada de un tipo de conector, o una técnica de empalme adecuada para cada caso en particular intervienen varios factores, entre los cuales hay aspectos técnicos y económicos. Respecto de los aspectos técnicos el tema pasa por el conocimiento de cuales son los factores que influyen en los efectos que las interconexiones producen sobre un sistema. El



principal efecto es, desde luego, la atenuación.

#### 6.4 Requerimientos de los conectores para fibras ópticas.

Se pueden listar por lo menos seis características principales que son deseables y deben ser tenidas en cuenta a la hora de seleccionar un conector para una aplicación determinada. Dichas características o requerimientos son:

- Bajo valor de pérdidas de inserción.
- Buena estabilidad ambiental.
- Facilidad de instalación.
- Mínima dispersión de las tolerancias (Mínima variación del valor de las pérdidas entre dos conectores del mismo tipo).
- Alta repetibilidad (Número de veces que un conector puede ser desconectado y vuelto a conectar sin degradarse).
- Bajo costo.

### 7. Métodos de medición para el control de calidad del sistema de comunicación basados en Fibra Óptica

Cuando se mide la energía luminosa o la potencia en un sistema de fibras ópticas, las mediciones aparecen continuas y no cuantizadas.

#### 7.1. Detectores Ópticos & Potencia óptica

La corriente inducida por un detector de fibra óptica (a la que podríamos llamar "fotocorriente"), es proporcional a la potencia óptica incidente en el fotodiodo multiplicada por una constante que incluye, entre otras cosas, la longitud de onda de la luz. Como consecuencia de ello los medidores de potencia óptica se deben calibrar para una longitud de onda específica.



El área activa de un fotodiodo es mucho mayor que el diámetro del núcleo de una fibra óptica típica; además su apertura numérica es casi siempre bastante grande y próxima a 1, por lo tanto es válido suponer que toda la energía luminosa de una fibra se acopla al detector. Este no es el caso de los emisores, donde un porcentaje considerable de la energía luminosa se pierde en el proceso de acoplamiento.

Es sumamente conveniente medir la potencia en fibras ópticas usando notación en decibeles como dBm o dB $\mu$ W, por lo cual algunos instrumentos utilizan un circuito convertidor logarítmico entre la salida del filtro pasa bajos y el dispositivo indicador de salida, pudiendo el operador optar por la forma de lectura mas conveniente de acuerdo al caso.

Cuando se instala un sistema de comunicaciones con fibras ópticas o cuando se busca alguna falla, la atenuación de la luz es uno de los parámetros importante que deben medirse. Por lo general la atenuación se evalúa midiendo la potencia de la fuente óptica antes y después de la atenuación. Las pérdidas de energía óptica en el dispositivo se calculan mediante la diferencia entre los niveles de potencia.

En general la potencia óptica se mide básicamente de dos maneras distintas. La primera forma de medir, no tiene en cuenta la longitud de onda de la luz emitida y en el caso de una fuente que emita varias componentes (por ejemplo luz blanca) proporciona el valor de la intensidad luminosa total, siendo la unidad de medida usada el "Lux" . La otra forma de medir es teniendo en cuenta la longitud de onda y normalmente permite obtener el valor de la potencia óptica, que se mide en "Wats", por separado para cada componente espectral. El primero de los métodos, que suele ser mas fácil de implementar,



es el que se usa en luminotecnia, en cambio, el segundo método, que es normalmente mas complicado ya que requiere separar las componentes espectrales, predomina en la técnica de las fibras ópticas ya que prácticamente termina simplificándose bastante debido al uso de fuentes ópticas monocromáticas.

### 7.2. Fuentes ópticas calibradas y estabilizadas.

Una fuente de luz estabilizada es el equivalente óptico de un generador de señales, y al igual que este, se puede utilizar como herramienta de medición y localización de fallas en los sistemas de comunicaciones por FO. Las fuentes de luz calibradas usan normalmente un diodo láser, aunque también es viable la utilización de diodos LED. También hay oportunidades en que se necesita usar una fuente óptica de banda ancha, y para ello se usa una simple lampara incandescente.

En cualquiera caso que se trate, una fuente estabilizada y calibrada requiere algún tipo de control para mantener la salida dentro de los niveles especificados principalmente ante las variaciones de temperatura (lo cual es particularmente importante para fuentes que usen un láser), para ello se utiliza un fotodetector para muestrear la luz emitida y por reglamentación ajustar la corriente de excitación del emisor.

### 7.3. Medición de extremo a extremo de pérdidas en sistemas de fibras ópticas.

Uno de los parámetros mas importantes a tener en cuenta en el diseño e instalación de un sistema de comunicaciones por fibras ópticas es la perdida



de extremo a extremo del sistema. Un método sencillo para medir dichas pérdidas, es aplicar una señal óptica conocida a un extremo del sistema y medir la potencia disponible en el otro lado.

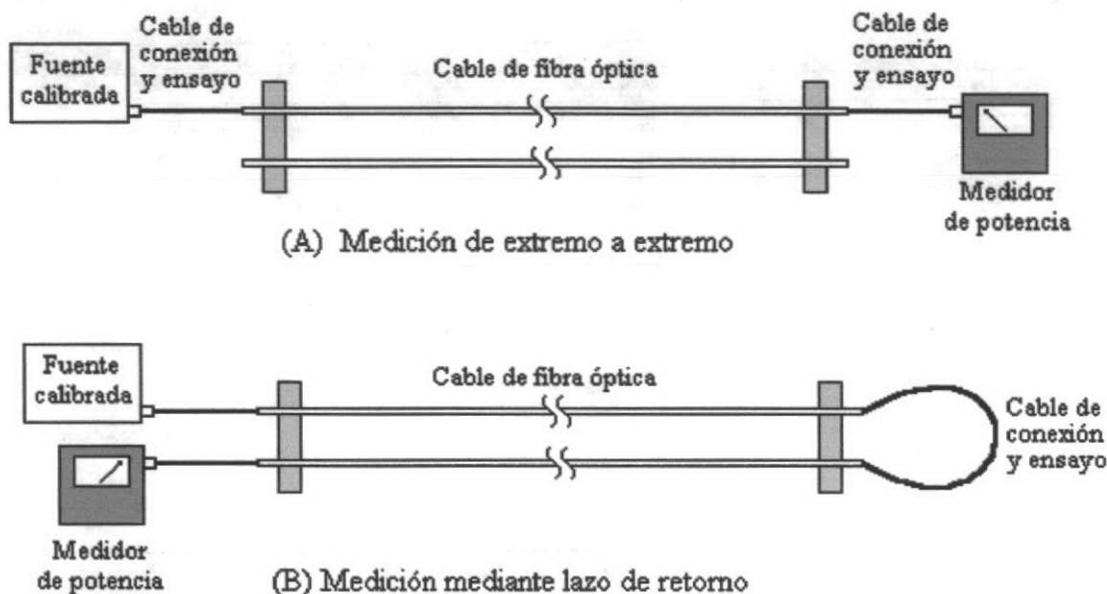


Figura 21

Una fuente óptica estabilizada, como la que se ha descrito en el párrafo anterior, puede usarse para generar la señal conocida aplicada en una de las puntas del sistema, mientras que la potencia en el final de la misma se puede medir con un medidor de potencia óptica. Este método se esquematiza en el dibujo anterior (figura A).

Sin embargo este método se torna poco práctico cuando los dos extremos del sistema están separados por varios kilómetros. En estas circunstancias puede usarse un método de lazo cerrado, aprovechando que todo sistema de comunicaciones por fibras ópticas de tipo duplex, dispone de dos grupos idénticos de dispositivos de modulación y detección en sentido opuesto, además de dos fibras (una para la transmisión y otra para la recepción) para



formar un sistema bidireccional completamente funcional. (Figura B)

De todas maneras, ya sea que se use el método directo o el método de lazo cerrado, resulta poco menos que imposible determinar las causas que originan pérdidas no deseadas por el simple echo de medirlas. (No puede saberse, por ejemplo, si las pérdidas se deben a fallas en conectores, rupturas, curvaturas menores que las tolerables, o una dispersión de Rayleigh excesiva). Tampoco hay manera de determinar el lugar donde ocurren las pérdidas, dato muy importante para la reparación y mantenimiento de un sistema.

Cuando se necesitan determinar pérdidas y las causas que las originan en sistemas cuyos extremos están alejados, se cuenta con otros métodos de medición, como el de reflectometría óptica en el dominio del tiempo. Los instrumentos que funcionan siguiendo este método se conocen por sus siglas en inglés OTDR.

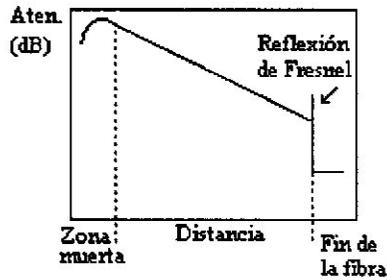
#### 7.4. Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)

Una herramienta muy poderosa para el mantenimiento e instalación de un sistema de fibras ópticas es el OTDR. Este instrumento analiza la energía óptica reflejada en una instalación de FO para establecer la existencia y localización de discontinuidades en la fibra, pérdidas en uniones y conectores y las pérdidas totales del sistema. Un operador hábil puede, con el tiempo, reconocer el lugar y el tipo de falla en un enlace, dado que la magnitud de la cantidad de energía que se refleja de vuelta hacia el generador en una fibra óptica tiene que ver con el tipo de discontinuidad que la produce. Una reflexión muy grande corresponde directamente a una ruptura de la fibra, Una reflexión de valor mediano se produce normalmente por pérdidas en

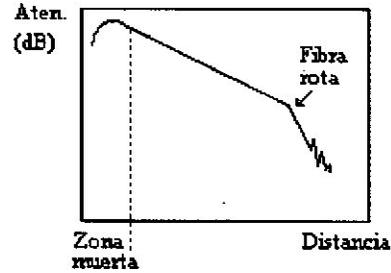


conectores y uniones, en tanto que las reflexiones de menor valor obedecen a causas tales como la dispersión de Rayleigh y/o la reflexión de Fresnell.

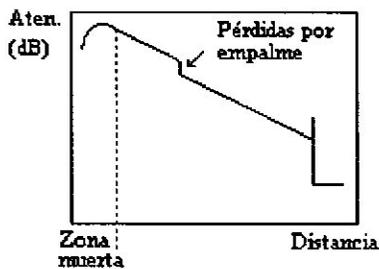
La figura 21 muestra cómo el OTDR detecta los inconvenientes en la transmisión mediante el trazado de curvas.



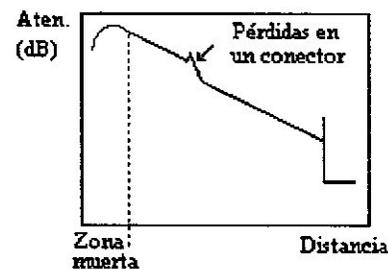
1- Fibra en buen estado



2- Corte pobre o fibra rota



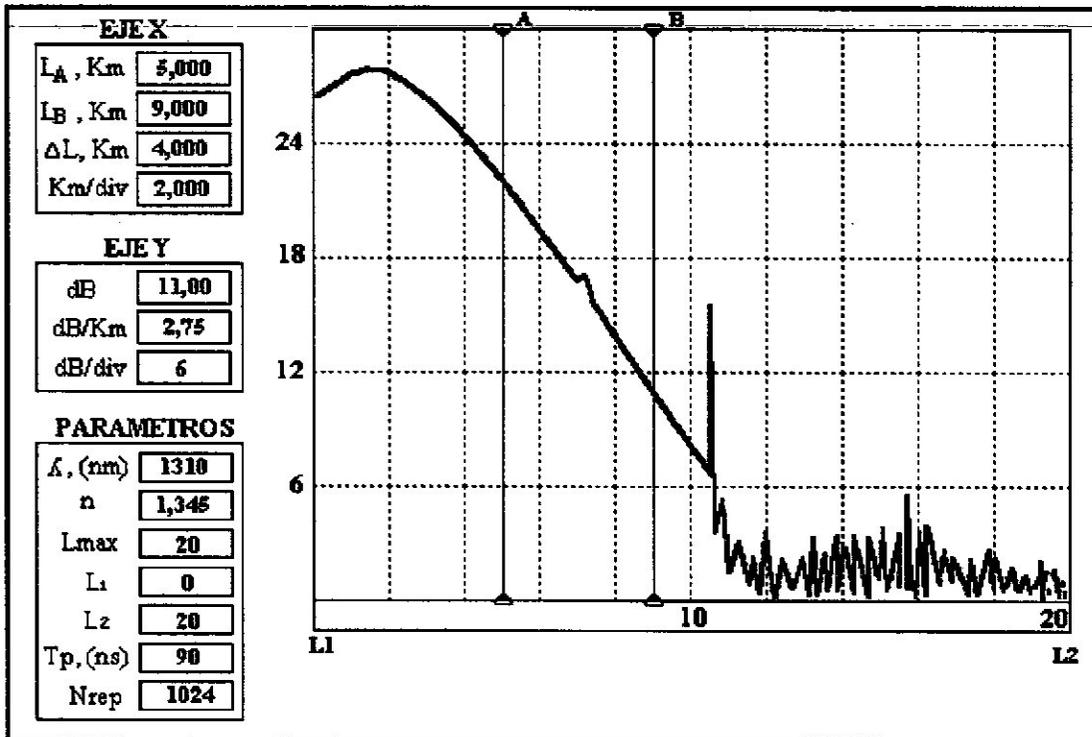
3- Pérdidas por empalme, mal doblado u otras



4- Pérdidas en un conector

Figura 21

Trazados de curvas típicas de un OTDR



Panel frontal típico de un OTDR

### Significado de los parámetros:

Los principales parámetros que deben ajustarse para la correcta utilización de un OTDR son:

La longitud de onda de operación ( $\lambda$ ): que debe coincidir con la ventana de trabajo de la fibra óptica bajo pruebas.

El índice de refracción del núcleo de la fibra (n). Su valor debe obtenerse de las especificaciones del fabricante de la fibra. Para una medida de gran exactitud se requiere conocer el valor del índice de refracción con la mayor resolución posible (p.ej. con cuatro cifras decimales por lo menos).

La duración del impulso óptico emitido ( $T_p$ ). Que debe mantenerse lo mas breve que sea posible en consonancia con la longitud de la fibra ensayada.

El ancho del pulso tiene importancia en el tamaño de la "zona muerta", que



siempre se observa en el comienzo del trazo sobre la pantalla del OTDR. Ya que el instrumento no puede determinar valores a distancias menores que aquella cuyo limite viene impuesto por la duración del pulso y la velocidad de propagación del mismo en la fibra.

Para resolver este problema, es habitual que el instrumento cuente entre sus accesorios, con un tramo de fibra óptica de 1 Km de longitud, sin recubrimiento, que esta bobinada sobre un pequeño carrete. Este accesorio se denomina "Fibra para zona muerta", y la longitud de fibra que se añade debe ser luego descontada para el calculo final, cosa que la mayoría de los instrumentos realiza automáticamente por si mismo.

El numero de muestras tomadas para la medición (Nrep): Este parámetro tiene importancia en la relación que se da entre la velocidad de la medición, y la resolución requerida. Una prueba inicial rápida puede hacerse con un pequeño numero de muestras, en cambió la prueba final ( para la certificación del sistema ) se debe hacer con la mayor exactitud posible.

La determinación exacta del lugar donde existe una anomalía en un cable, depende desde luego de la exactitud con la cual se conoce la longitud total de la fibra. Hay que tener en cuenta que la longitud de la fibra no siempre es exactamente igual a la del cable, ya que es habitual que si el cable contiene un manojo de fibras, estas estén trenzadas, con lo cual la longitud de las mismas es ligeramente mayor que la del cable (el efecto mas notable aun en los cables de estructura holgada). Normalmente los fabricantes de cables especifican esta diferencia mediante un coeficiente que debe usarse para corregir la medida efectuada.



### **TAREA N°3**

#### **DEFINICION DE PAUTAS PARA EL CRECIMIENTO DE LOS ENLACES**

#### **ÓPTICOS**

##### **Objetivo**

Controlar normas específicas, con el estudio de avance tecnológico, para optimizar redes existente. Exhibiendo ventajas y desventajas en el manejo del enlace de Fibra Óptica para futuras ampliaciones

##### **Enunciado**

Definición de pautas para el crecimiento de los enlaces ópticos digitales

- Limitaciones, ventajas y desventajas en el manejo del enlace de Fibra Óptica para futuras ampliaciones

##### **DESARROLLO**

Para llevar a cabo el desarrollo de esta tarea, se estructurará según el siguiente índice:

##### **INDICE**

1. Introducción
2. Tipos de cables
  - 2.1. Par Trenzado
  - 2.2- Coaxil
  - 2.3. Fibra Óptica
3. Teoría sobre Óptica
4. Ventajas y desventajas



## 5. Limitaciones

### **1. Introducción**

En la pasada década las comunicaciones por fibra óptica se han convertido en uno de los dos medios para comunicación de voz y datos, rivalizando y superando a veces al uso de satélites de comunicación.

El uso de cable de fibra óptica para telecomunicaciones se generalizó en los ochenta. El primer sistema trasatlántico entre Europa y Estados Unidos se instaló en 1988, con una capacidad de 300 Mbit/s, que equivale a 8000 canales de voz. Los sistemas que se instalan en la actualidad multiplican por 100 esta capacidad.

El fenómeno físico que subyace en la fibra óptica es la reflexión interna total. Cuando un rayo de luz que se propaga por un medio incide sobre otro medio de índice de refracción menor con un ángulo de incidencia menor que un valor crítico se refleja sin pérdidas en la superficie de separación. De esta manera, mediante sucesivas reflexiones en un tubo óptico el rayo puede transmitirse sin atenuación grandes distancias. Una fibra óptica es un filamento de vidrio que consta de un núcleo y un recubrimiento. El recubrimiento tiene un índice de refracción ligeramente menor que el núcleo, permitiendo así la reflexión total interna.

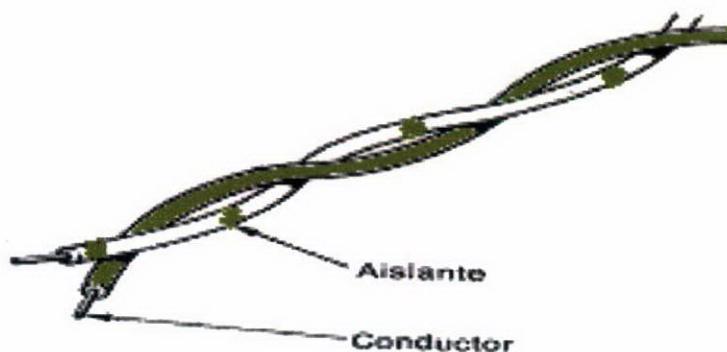
### **2. Tipos de Cables**

Dentro de las posibilidades para transmisión, es posible encontrar una variedad de modelos de acuerdo su utilización y características. A continuación se explicara conceptos y particularidades generales.



## 2.1 Par Trenzado

Consiste de dos conductores de cobre, aislados, dispuestos bajo un patrón en espiral. El trenzado minimiza las interferencias electromagnéticas entre los cables, dado que el acoplamiento entre ellos es mayor, de forma que las interferencias afectan a ambos cables de forma parecida. Es necesario que los cables tengan una impedancia característica bien definida para asegurar una propagación uniforme de las señales de alta velocidad a lo largo del cable y para asegurar que la impedancia de los equipos que se conectan a la línea es la adecuada, de modo que pueda transferirse la máxima potencia a ésta. Cuando se conoce la impedancia característica de una línea con cierta precisión, es posible diseñar una terminación adecuada para ésta, de modo que se evite la reflexión de las señales transmitidas, que podría dar lugar a errores en la transmisión.



Existen distintos tipos de pares trenzados:

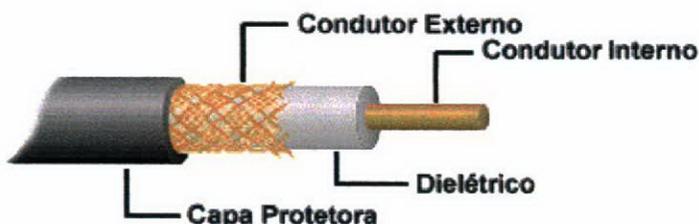


- A) Pares semirrígidos aislados con PVC (Cloruro de Polivinilo) y de bajo precio, que son los utilizados más habitualmente, carecen de impedancia uniforme y provocan excesivas reflexiones..
- B) Pares trenzados no apantallados con PVC Irradiado. Proporcionan mejores características con un coste algo superior.
- C) Pares trenzados apantallados y aislados con materiales de baja constante dieléctrica (Twinax), que cumplen con los requisitos eléctricos reduciendo interferencias, proporcionan atenuaciones de más de 30 dB (decibelios) para el ruido, frente a los cables no apantallados. Suelen ser caros, pero su uso es esencial para cumplir con las normas FCC y CE, para transmitir datos a velocidades superiores a 10MBit/s.

## 2.2 Cable coaxial

Consisten de dos conductores, que permiten operar sobre un rango muy amplio de frecuencias. Es un conductor cilíndrico rodeado por otro de pantalla, y a su vez ambos separados con un aislante. Es el método de conexión más versátil, se utiliza en: transmisiones de larga distancia en teléfonos y televisión,

distribución de televisión, redes de área local y uniones en otros dispositivos.



Un cable coaxial, puede transmitir hasta 10000

canales de voz simultáneamente.

Tres son los tipos de cables coaxiales:



- A) Cables estándar tipo RG. Se utilizan para transmitir señales de televisión doméstica. Utilizan polietileno como aislante interior, aunque el RG 62 emplea aire. Los de 1 cm de diámetro (RG 11) son los más adecuados para velocidades de transmisión por encima de los 30 Mbit/s.
- B) Cables con núcleo aislado por aire. Tienen un diámetro pequeño, actúan como retardadores en caso de incendio y tienen una constante dieléctrica muy pequeña, lo que les proporciona características mucho mejores que los RG.
- C) Cables de polietileno celular irradiado. Son los más caros, pero no varían sus características al doblarlos.

### 2.3. Fibra óptica

En el año 1954, Van Heel, Hopkins y Kapany publicaron un conjunto de artículos demostrando que podía aplicarse una capa de un material refringente sobre un tubo de plástico o de vidrio, a fin de transmitir imágenes. Las primeras aplicaciones se realizaron con endoscopios, pero su aplicación a las redes no llegó hasta el año 1968 en el que se lograron fibras ópticas de bajo nivel de atenuación, por la empresa Corning en EE.UU. La atenuación se logró reducir de 20 dB por km a 1 dB por km, mediante el empleo de silicio puro.



Una fibra óptica para red es un medio flexible y de dimensiones muy reducidas (2 a 125 micrometros), capaz de conducir rayos ópticos. Se fabrican de diferentes plásticos y cristales. Las fibras ultrapuras son muy difíciles de



elaborar, aunque las normales y las de plástico ofrecen buenas prestaciones a un precio razonable.

### **3. Teoría óptica**

Par poder comprender la trasmisión vía óptica, como así también sus limitaciones, es necesario demostrar conceptos importantes que se detallan a continuación.

- 3.1 Naturaleza de la Luz
- 3.2 La Luz
- 3.3 Teoría Corpuscular
- 3.4 Teoría Ondulatoria
- 3.5 Teoría Electromagnética
- 3.6 Los paquetes de Energía
- 3.7 El Foton
- 3.8 La naturaleza ondulatoria de la Materia

#### **3.1 Naturaleza de la Luz**

El funcionamiento de la fibra óptica depende básicamente de los principios ópticos y de la interacción de la luz con la materia. El primer paso para el entendimiento del funcionamiento de la fibra óptica es dar un repaso a las partes relevantes de la óptica.

Desde un punto de vista físico, la luz puede ser tratado como una onda electromagnética o como un fotón. Esto es la famosa teoría dual onda-partícula de la física moderna. Ambos puntos de vistas son válidos, pero el punto de



vista más simple es el considerar a la luz como un rayo que viaja en línea recta que puede ser reflejado, y refractado en las superficies.

### 3.2 La Luz

La naturaleza de la luz ha sido estudiada desde hace muchos años por muchos científicos notables como Newton y Max Plank.

La naturaleza de la luz ha sido interpretada de diversas maneras:

- Como compuesta por corpúsculos que viajaban por el espacio en línea recta (teoría corpuscular - Newton - 1670).
- Como ondas similares a las del sonido que requerían un medio para transportarse (el Éter- teoría Ondulatoria - Huygens - 1678, Young y Fresnel).
- Como ondas electromagnéticas , al encontrar sus características similares a las ondas de radio (teoría electromagnética - Maxwell - 1860).
- Como paquetes de energía llamados cuantos (Plank).

Finalmente Broglie en 1924 unifica la teoría electromagnética y la de los cuantos (que provienen de la ondulatoria y corpuscular) demostrando la doble naturaleza de la luz.

### 3.3 Teoría Corpuscular

Newton descubre en 1666 que la luz natural, al pasar a través de un prisma es separada en una gama de colores que van desde el rojo al azul. Newton concluyendo que la luz blanca o natural está compuesta por todos lo colores del arco iris.



Isaac Newton propuso una teoría corpuscular para la luz en contraposición a un modelo ondulatorio propuesto por Huygens. Supuso que la luz está compuesta por una granizada de corpúsculos o partículas luminosas, los cuales se propagan en línea recta, pueden atravesar medios transparentes y ser reflejados por materias opacas. Esta teoría explica la propagación rectilínea de la luz, la refracción y reflexión; pero no explica los anillos de Newton (irisaciones en las láminas delgadas de los vidrios), que sí lo hace la teoría de Huygens como veremos más adelante, ni tampoco los fenómenos de interferencia y difracción.

Newton, experimentalmente demostró que la luz blanca, al traspasar un prisma, se dispersa en rayos de colores y que éstos, a su vez, al pasar por un segundo prisma no se descomponen, sino que son homogéneos. De esta descomposición de la luz deduce y demuestra que al dejar caer los rayos monocromáticos sobre un prisma, éstos se recombinan para transformarse en luz blanca. Se desprende así que ésta resulta de una combinación de rayos coloreados que poseen diferentes grados de refrangibilidad; desde el violeta -el más refrangible- hasta el rojo -que tiene el menor índice de refracción-. La banda de los colores prismáticos forma el espectro, cuya investigación y estudio conduciría, en la segunda mitad del siglo XIX, a varios hallazgos ribeteados con el asombro.

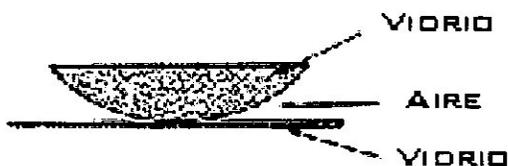
Con su hipótesis corpuscular, intentó explicar el fenómeno de los anillos de colores engendrados por láminas delgadas (los famosos anillos de Newton) e interpretó igualmente la refracción de la luz dentro de la hipótesis corpuscular, aceptando que las partículas luminosas, al pasar de un ambiente poco denso (aire) a otro más denso (cristales), aumentan su velocidad debido a una



atracción más fuerte. Esta conclusión, en nada es coincidente, como veremos más adelante, con la teoría ondulatoria de la luz, la que propugna una propagación más lenta de la luz en el paso a través de materiales más densos. La teoría sobre una naturaleza corpuscular de la luz, sustentada por el enorme prestigio de Newton, prevaleció durante el siglo XVIII, pero debió ceder hacia mediados del siglo XIX frente a la teoría ondulatoria que fue contrastada con éxito con la experiencia.

Cuando un haz incide sobre un vidrio esférico que se coloca sobre una placa plana de vidrio dejando una capa de aire muy delgada entre ellos. Newton hizo mediciones muy precisas en las que relacionó los anchos de las regiones tanto iluminadas como oscuras con la curvatura del vidrio. Encontró que para cada color se tenía una región iluminada con un ancho distinto. Newton llegó a la conclusión de que, hablando en terminología moderna, había algo periódico en el comportamiento de la luz.

### 3.4 Teoría Ondulatoria



Propugnada por Christian Huygens en el año 1678, describe y explica lo que hoy se considera como las leyes de reflexión y refracción.

Define a la luz como un movimiento ondulatorio semejante al que se produce con el sonido. Ahora, como los físicos de la época consideraban que todas las ondas requerían de algún medio que las transportaran en el vacío, para las ondas lumínicas se postula como medio a una materia insustancial e invisible a la cual se le llamó éter .



Justamente la presencia del éter fue el principal medio cuestionador de la teoría ondulatoria. En ello, es necesario equiparar las vibraciones luminosas con las elásticas transversales de los sólidos. Aquí es donde se presenta la mayor contradicción en cuanto a la presencia del éter como medio de transporte de ondas, ya que se requeriría que éste reuniera alguna característica sólida pero que a su vez no opusiera resistencia al libre tránsito de los cuerpos sólidos. (Las ondas transversales sólo se propagan a través de medios sólidos).

En aquella época, la teoría de Huygens no fue muy considerada, fundamentalmente, y tal como ya lo mencionamos, dado al prestigio que alcanzó Newton. Pasó más de un siglo para que fuera tomada en cuenta la Teoría Ondulatoria de la luz. Los experimentos del médico inglés Thomas Young sobre los fenómenos de interferencias luminosas, y los del físico francés Auguste Jean Fresnel sobre la difracción fueron decisivos para que ello ocurriera y se colocara en la tabla de estudios de los físicos sobre la luz, la propuesta realizada en el siglo XVII por Huygens.

Young demostró experimentalmente el hecho paradójico que se daba en la teoría corpuscular de que la suma de dos fuentes luminosas pueden producir menos luminosidad que por separado. En una pantalla negra practica dos minúsculos agujeros muy próximos entre sí: al acercar la pantalla al ojo, la luz de un pequeño y distante foco aparece en forma de anillos alternativamente brillantes y oscuros. ¿Cómo explicar el efecto de ambos agujeros que por separado darían un campo iluminado, y combinados producen sombra en ciertas zonas? Young logra explicar que la alternancia de las franjas a semejanza de la imagen de las ondas acuáticas. Si las ondas suman sus



crestas hallándose en concordancia de fase, la vibración resultante será intensa. Por el contrario, si la cresta de una onda coincide con el valle de la otra, la vibración resultante será nula. Deducción simple imputada a una interferencia y se embriona la idea de la luz como estado vibratorio de una materia insustancial e invisible, el éter, al cual se le resucita. Esto se llama *Teoría de Young*.

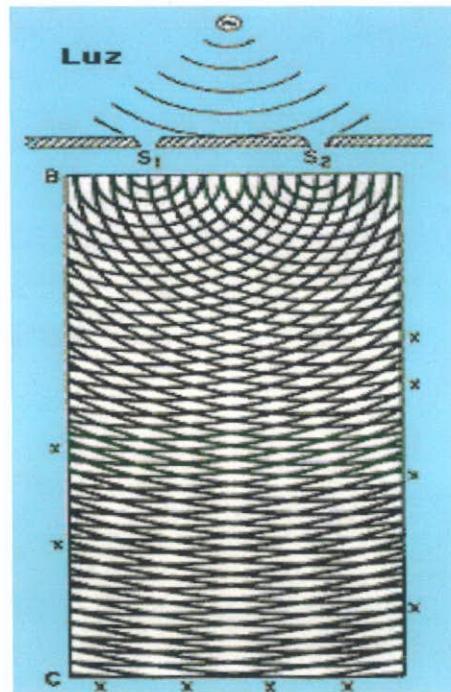


Diagrama de Young

Para observar las zonas de interferencia constructiva de ondas circulares. Viendo el diagrama en un ángulo oblicuo desde el extremo opuesto a los centros estas zonas son las que aparecen más oscuras.

Con la colaboración de Auguste Fresnel para el rescate de la teoría ondulatoria de la luz estuvo dada por el aporte matemático que le dio rigor a las ideas propuestas por Young y la explicación que presentó sobre el fenómeno de la polarización al transformar el movimiento ondulatorio longitudinal, supuesto por Huygens y ratificado por Young, quien creía que las vibraciones luminosas se efectuaban en dirección paralela a la propagación de la onda luminosa, en



transversales. Pero aquí, y pese a las sagaces explicaciones que incluso rayan en las adivinanzas dadas por Fresnel, inmediatamente queda presentada una gran contradicción a esta doctrina, ya que no es posible que se pueda propagar en el éter la luz por medio de ondas transversales, debido a que éstas sólo se propagan en medios sólidos. En su trabajo, Fresnel explica una multiplicidad de fenómenos manifestados por la luz polarizada. Observa que dos rayos polarizados ubicados en un mismo plano se interfieren, pero no lo hacen si están polarizados entre sí cuando se encuentran perpendicularmente. Este descubrimiento lo invita a pensar que en un rayo polarizado debe ocurrir algo perpendicularmente en dirección a la propagación y establece que ese algo no puede ser más que la propia vibración luminosa. La conclusión se impone: las vibraciones en la luz no pueden ser longitudinales, como Young lo propusiera, sino perpendiculares a la dirección de propagación, transversales. Las distintas investigaciones y estudios que se realizaron sobre la naturaleza de la luz, en esa época, engendraron aspiraciones de mayores conocimientos sobre la luz. Entre ellas, se encuentra la de lograr medir la velocidad de la luz con mayor exactitud que la permitida por las observaciones astronómicas. Hippolyte Fizeau (1819- 1896) concretó el proyecto en 1849 con un clásico experimento. Al hacer pasar la luz reflejada por dos espejos entre los intersticios de una rueda girando rápidamente, determinó la velocidad que podría tener la luz en su trayectoria, que estimó aproximadamente en 300.000 km./s. Después de Fizeau, lo siguió León Foucault (1819 - 1868) al medir la velocidad de propagación de la luz a través del agua. Ello fue de gran interés, ya que iba a servir de criterio entre la teoría corpuscular y la ondulatoria. La primera, como señalamos, requería que la velocidad fuese mayor en el agua



que en el aire; lo contrario exigía, pues, la segunda. En sus experimentos, Foucault logró comprobar, en 1851, que la velocidad de la luz cuando transcurre por el agua es inferior a la que desarrolla cuando transita por el aire. Con ello, la teoría ondulatoria adquiere cierta preeminencia sobre la corpuscular, y pavimenta el camino hacia la gran síntesis realizada por Maxwell

### 3.5 Teoría Electromagnética

Cuando hablemos del electromagnetismo, aquí podemos señalar sucintamente que fue desarrollada por quien es considerado el más imaginativo de los físicos teóricos del siglo XIX, nos referimos a James Clerk Maxwell (1831-1879). Este físico inglés dio en 1865 a los descubrimientos, que anteriormente había realizado el genial autodidacta Michael Faraday, el andamiaje matemático y logró reunir los fenómenos ópticos y electromagnéticos hasta entonces identificados dentro del marco de una teoría de reconocida hermosura y de acabada estructura. En la descripción que hace de su propuesta, Maxwell propugna que cada cambio del campo eléctrico engendra en su proximidad un campo magnético, e inversamente cada variación del campo magnético origina uno eléctrico. Dado que las acciones eléctricas se propagan con velocidad finita de punto a punto, se podrán concebir los cambios periódicos - cambios en dirección e intensidad - de un campo eléctrico como una propagación de ondas. Tales ondas eléctricas están necesariamente acompañadas por ondas magnéticas indisolublemente ligadas a ellas. Los dos campos, eléctrico y magnético, periódicamente variables, están constantemente perpendiculares entre sí y a la dirección común de su propagación. Son, pues, ondas transversales semejantes a las de la luz. Por otra parte, las ondas



electromagnéticas se transmiten, como se puede deducir de las investigaciones de Weber y Kohlrausch, con la misma velocidad que la luz. De esta doble analogía, y haciendo gala de una espectacular volada especulativa Maxwell termina concluyendo que la luz consiste de una perturbación electromagnética que se propaga en el éter. Ondas eléctricas y ondas luminosas son fenómenos idénticos.

Veinte años más tarde, Heinrich Hertz (1857-1894) comprueba que las ondas hertzianas de origen electromagnético tienen las mismas propiedades que las ondas luminosas, estableciendo con ello, definitivamente, la identidad de ambos fenómenos.

Hertz, en 1888, logró producir ondas por medios exclusivamente eléctricos y, a su vez, demostrar que estas ondas poseen todas las características de la luz visible, con la única diferencia de que las longitudes de sus ondas son manifiestamente mayores. Ello, deja en evidencia que las ondas eléctricas se dejan refractar, reflejar y polarizar, y que su velocidad de propagación es igual a la de la luz. La propuesta de Maxwell quedaba confirmada: ¡la existencia de las ondas electromagnéticas era una realidad inequívoca! Establecido lo anterior, sobre la factibilidad de transmitir oscilaciones eléctricas inalámbricas, se abrían las compuertas para que se produjera el desarrollo de una multiplicidad de inventivas que han jugado un rol significativo en la evolución de la naturaleza humana contemporánea.

Pero las investigaciones de Maxwell y Hertz no sólo se limitaron al ámbito de las utilidades prácticas, sino que también trajeron con ellas importantes consecuencias teóricas. Todas las radiaciones se revelaron de la misma índole física, diferenciándose solamente en la longitud de onda en la cual se



producen. Su escala comienza con las largas ondas hertzianas y, pasando por la luz visible, se llegan a la de los rayos ultravioletas, los rayos X, los radiactivos, y los rayos cósmicos.

Ahora, la teoría electromagnética de Maxwell, pese a su belleza, comporta debilidades, ya que deja sin explicación fenómenos tan evidentes como la absorción o emisión; el fotoeléctrico, y la emisión de luz por cuerpos incandescentes. En consecuencia, pasado el entusiasmo inicial, fue necesario para los físicos, como los hizo Planck en 1900, retomar la teoría corpuscular. Pero la salida al dilema que presentaban las diferentes teorías sobre la naturaleza de la luz, empezó a tomar forma en 1895 en la mente de un estudiante de dieciséis años, Albert Einstein, que en el año 1905, en un ensayo publicado en el prestigioso periódico alemán Anales de la física, abre el camino para eliminar la dicotomía que existía sobre las consideraciones que se hacían sobre la luz al introducir el principio que más tarde se haría famoso como relatividad.

### 3.6 Los Paquetes de energía

Aunque la teoría ondulatoria es generalmente correcta cuando describe la propagación de la luz, falla a la hora de explicar otras propiedades como la interacción de la luz con la materia.

Cuando, en 1887, Hertz confirmó experimentalmente la teoría de Maxwell, también observó un nuevo fenómeno, el efecto fotoeléctrico, que sólo puede explicarse con un modelo de partículas para la luz: El efecto fotoeléctrico



A finales del siglo XIX una serie de experimentos pusieron de manifiesto que la superficie de un metal emite electrones cuando incide sobre él luz de frecuencia suficientemente elevada (generalmente luz ultravioleta). Este fenómeno se conoce como efecto fotoeléctrico ó Emisión Fotoeléctrica.

Este efecto posee aspectos particulares:

- Uno de los del efecto fotoeléctrico que mayor confusión creó fue el que la distribución de la energía en los electrones emitidos es independiente de la intensidad de la luz.
- Un haz de luz intenso da lugar a más fotoelectrones que uno débil, pero la energía media de los electrones es la misma.
- Estas observaciones no se pueden entender en el marco de la teoría electromagnética de la luz.
- Igualmente extraño es que la energía de los fotoelectrones dependa de la frecuencia de la luz empleada.
- A frecuencias por debajo de cierta frecuencia crítica característica de cada metal, no se emite ningún fotoelectrón.
- Por encima de este umbral de frecuencia, los fotoelectrones tienen un margen de energía que va de 0 a un determinado valor máximo. Este valor máximo aumenta linealmente con la frecuencia.



- Por debajo de este umbral de frecuencia no hay fotoemisión.

### 3.7 El fotón

Einstein ha contribuido enormemente a nuestro conocimiento sobre la luz. No sólo demostró que la velocidad de la luz en el vacío (aproximadamente 300.000 km/s), sino que introdujo la idea del cuanto de luz.

En esencia la idea de Einstein consiste en considerar que la luz está formada por partículas ya que los cuantos son pequeños "paquetes" indivisibles de energía, a los que llamó fotones. Recuerda que Newton planteó la idea de la luz compuesta de partículas, a las que llamó corpúsculos.

Los fotones pueden tener diferente energía dependiendo de su frecuencia, así una radiación de frecuencia elevada está compuesta de fotones de alta energía. La relación entre la frecuencia y la energía es:

$$E = h.f$$

E = energía

h = constante de Planck

f = frecuencia.

Esta idea de Einstein explica por qué algunas radiaciones como la ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma son perjudiciales para los seres vivos. Recuerda que todas estas radiaciones se encuentran en la zona de mayor frecuencia del **espectro electromagnético**, y por tanto tienen asociada una energía muy alta que puede producir alteraciones en nuestras células e incluso en nuestro ADN.

### 3.8 La Naturaleza Ondulatoria de la Materia



Louis de Broglie apareció con una idea fascinante: él sugirió, que la materia realmente consiste de ondas. En primer lugar, de Broglie tampoco tenía idea de qué quería decir con la idea de que la materia son ondas; era simplemente una construcción matemática, que inesperadamente resultó ser muy útil.

Un electrón solamente puede estar en ciertas órbitas. Lo que hizo de Broglie, fue suponer que cualquier partícula--un electrón, un átomo, o lo que sea--tenía una "longitud de onda" que era igual a la constante de Planck dividida por su momentum.

Bueno, esta suposición no era completamente arbitraria; de Broglie sabía que el momentum y la longitud de onda de un fotón realmente estaban relacionados de esta manera .

Los fotones no tienen masa, pero tienen energía--y como lo demostró Einstein, hecho que ahora es muy famoso, la masa y la energía son realmente la misma cosa. Así que los fotones tienen momentum ( todavía no se sabía que es exactamente un fotón). Durante siglos, se realizó un candente debate acerca de si la luz está constituida por partículas o por ondas. En algunos experimentos, como el experimento de la doble rendija de Young, se demostró claramente que la luz era una onda, pero otros fenómenos, tales como el efecto fotoeléctrico, demostraron de manera igualmente clara que la luz era una partícula.

Algunas veces la luz presenta un comportamiento corpuscular, y a veces se comporta como una onda; todo depende de qué clase de experimento esté realizando Usted. Esto se conoce como dualidad onda / partícula, y los físicos han sido forzados a aceptarla.



Ahora bien, la idea de de Broglie era que tal vez no solamente la luz tiene esta personalidad dual; sino tal vez todas las cosas.

Piense acerca de cuál sería la longitud de onda de la bola de bolos. De acuerdo con de Broglie, la longitud de onda es igual a la constante de Planck dividida por el momentum del objeto; la constante de Planck es muy, muy, muy pequeña, y el momentum de una bola de bolos, hablando relativamente, es enorme. Si Usted tuviese una bola de bolos de, digamos, una masa de un kilogramo, que se mueva a un metro por segundo, su longitud de onda sería aproximadamente un septillonésimo ( $10$  elevado a la  $-21$ ) de un nanómetro. Esto es tan pequeñísimo comparado con el tamaño de la bola de bolos, que Usted nunca se da cuenta de algún comportamiento ondulatorio; esa es la razón por la cual generalmente ignoramos los efectos de la mecánica cuántica cuando estamos hablando sobre objetos de la vida cotidiana. Es solamente a escala molecular o atómica, que las ondas comienzan a ser suficientemente grandes (comparadas con el tamaño de un átomo) para que se tenga un efecto apreciable.

### **5 .Ventajas y Desventajas**

Las Fibras Ópticas se utilizan para transmisión de Datos, Voz y Video pues ofrecen las siguientes ventajas frente a los dos tipos de sistemas de transmisión citados previamente:

- Mayor velocidad de transmisión. La velocidad es la de la luz, mientras que en los medios convencionales va entre el 50% y el 80% de ésta.
- Gran ancho de banda. Se transmiten datos a 2 Gbps, pues la velocidad de transmisión aumenta con la frecuencia.



- Menor tamaño y peso. Son muy inferiores a los otros dos medios.
- Menor atenuación. Es significativamente menor, y constante en rango determinado.
- Aislamiento electromagnético. No radian energía ni se ven afectados por campos electromagnéticos externos, por ejemplo de rayos o de pulsos electromagnéticos nucleares (NEMP).
- No existen problemas de retorno a tierra o reflexiones como sucede en las líneas eléctricas.
- No existe riesgo de cortocircuitos o daños de tipo eléctrico, lo cual es de utilidad en ambientes explosivos.
- Espaciado mayor entre los repetidores al aumentar la atenuación más lentamente que con los cables eléctricos. Lo cual significa coste menor y disminuir las fuentes de error.
- Estos cables pesan una décima parte que los habituales.
- Estos cables son apropiados para utilizar en un amplio rango de temperaturas
- Poseen mayor resistencia que los cables eléctricos a los ambientes corrosivos.
- Es más difícil realizar escuchas en estos cables, ya que no producen radiación electromagnética y no se pueden utilizar dispositivos de inducción. Es necesario cortar la fibra óptica para saber lo que circula, pero se detectaría fácilmente con un reflectómetro o midiendo las pérdidas de la señal.

Las materias primas para fabricar esta fibra son muy abundantes y se espera que bajen al precio de los cables convencionales.



La vida media operacional y el tiempo medio entre fallos de un cable de fibra óptica son muy superiores a los de un cable eléctrico.

Las señales se transmiten por medio de reflexión total interna de la luz. Esto ocurre en cualquier medio transparente con un índice de refracción superior al del medio que lo rodea. En efecto, las fibras ópticas actúan como guías de ondas para frecuencias en el rango de  $10^{14}$  a  $10^{15}$  Hz, que cubre el espectro visible y parte del infrarrojo.

Como fuentes de luz se usan diodos emisores de luz (LED) constituidos de Arseniuro de Galio (GaAsP) que emiten en torno a los 65 micrometros, siendo ideales para fibra plástica y diodos de inyección laser (ILD). Ambos son semiconductores que emiten un haz de luz, con mínima atenuación a la frecuencia usada, cuando se aplica un voltaje. El LED es menos costoso. El receptor es un fotodiodo, el de tipo PIN tiene un segmento de Si intrínseco entre las capas P y N del diodo. El diodo de avalancha APD es similar pero usa un campo eléctrico fuerte. Ambos son básicamente contadores de fotones. Las Fibras Ópticas que se utilizan para transmisión posee las siguientes desventajas :

- El coste de instalación es elevado.
- El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.
- Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.
- Fragilidad de las fibras.



- Disponibilidad limitada de conectores.
- Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.

## **6- Limitaciones**

Para conocer en detalle las limitaciones del medio de transmisión descrito, nos basamos en las principalmente en las desventajas que posee esté:

- La instalación de un cableado Estructurado de Fibra Óptica es mas elevado que el de UPT
- En las Fibra no propietarias su costo de utilización es Elevado, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.
- Las Instalaciones de Fibras Ópticas son mas Frágiles que las de UTP o Coaxil.
- Hoy en día la Utilización de la Fibra óptica en distancias muy elevadas es limitado por sus costos , mejor es la utilización de Radioenlaces.
- Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica, en caso contrario no se podrán suscribir a la red por el costo de instalación en un usuario

Las Limitaciones para velocidades de Gigabit Ethernet son mas contrastadas y se detallan a continuación:



1. Originalmente, el Comité Gigabit Ethernet planeó usar fibras Multimodo en distancias de hasta 300 m y las pruebas Reales mostraron que entre el 5% y el 10% de las fibras 62,5 micrones (estándar) no cumplieron los requerimientos. Muchas instalaciones de campus son mayores de 300 m.
2. De acuerdo con el exámen realizado por el comité Gigabit Ethernet (CRU en 1998) hasta un 20% de las actuales fibras multimodo del mundo podrían no soportar redes Gigabit.
3. El comité ,entre otras pruebas realizadas estableció que las fibras multimodos en Gigabit Ethernet ofrece pérdidas de potencia adicionales, Power Budget o Perdidas no contempladas del enlace

*Power Budget = Pérdidas de inserción + Pérdidas adicionales*

“Power Budget” del enlace = pérdidas totales en un enlace de fibra

Pérdidas de inserción = pérdidas debidas a cable / conector

Pérdidas adicionales = pérdidas adicionales debidas a otros efectos

4. Los enlaces de fibra en Gigabit Ethernet tiene nuevas demandas adicionales a otros protocolos
5. Una transmisión satisfactoria significa que las pérdidas adicionales debes ser tenidas en cuenta
6. Pérdidas adicionales están formados por cuatro efectos:

Modal noise	Mínimo
Mode partition noise	Mínimo



Relative intensity noise                      Mínimo

Inter Symbol Interference Significativo(2.5dB a 3.8dB)

7. Los equipos activos para protocolos estándar requieren un promedio de 10 a 15dB de Power Budget del enlace

Un Enlace Gigabit Ethernet requiere 7dB como estándar mínimo.



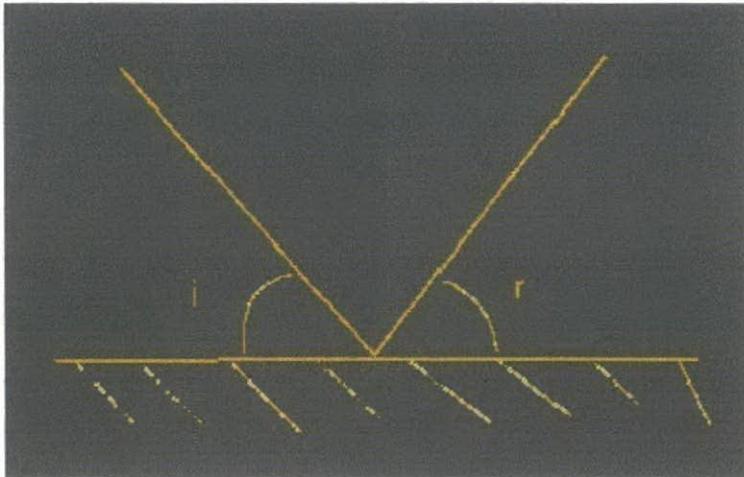
## Anexo

### Conceptos Fundamentales de Óptica

#### Reflexión

La reflexión es el fenómeno físico que explica la incidencia de las ondas contra un material y su curso posterior cuando el material sobre el cual incide no absorbe la onda.

La ley de reflexión asegura que el ángulo de incidencia y el de reflexión es el mismo



Donde

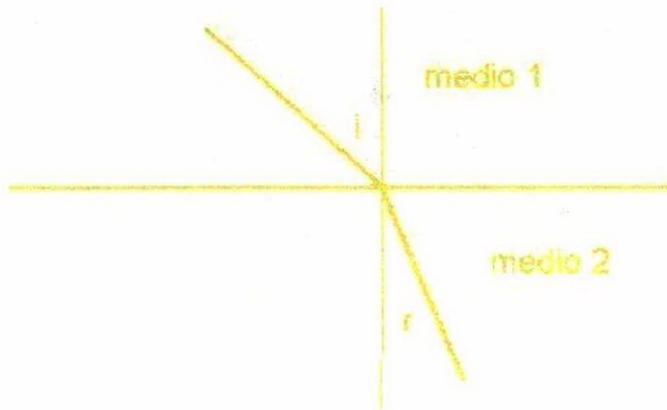
$i$  = ángulo de incidencia

$r$  = ángulo de reflexión

se tiene que  $i = r$

#### Refracción

La refracción es el fenómeno físico que explica la incidencia de las ondas contra un material y su curso posterior cuando el material sobre el cual incide absorbe la onda.



La ley de refracción asegura que el ángulo de incidencia y el de refracción están relacionados de la siguiente forma:

$$\text{sen } i = \text{sen } r$$

### Espejos

Los espejos son superficies reflectantes, pueden ser planos o curvos, los curvos pueden ser casquetes de esfera, paraboloides u otros sólidos de revolución, los mas utilizados son los casquetes de esfera, de acuerdo a su forma pueden ser:



**plano      concavo      convexo**

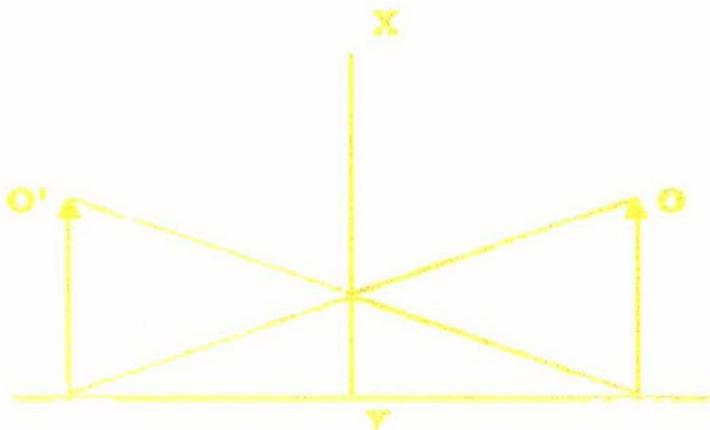
Las caras con sombras son las superficies no brillantes, la cara opuesta es el espejo propiamente dicha.

De acuerdo a como se forman las imágenes se tiene lo siguiente:



Real		Virtual	
Derecha		Invertida	
Ampliada		Reducida	

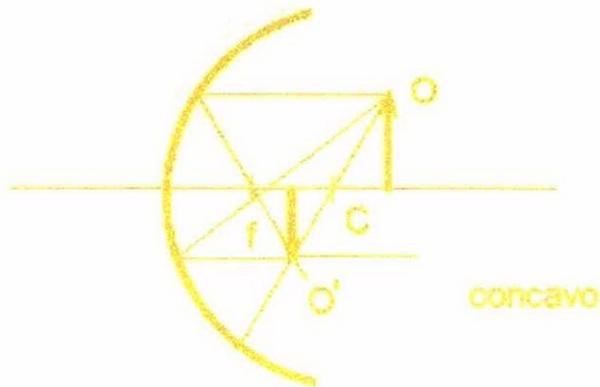
En los espejos planos la imagen que se forma esta a la misma distancia del espejo que de este al objeto, en la siguiente grafica se muestra un objeto representado por una flecha y su imagen, las líneas punteadas representan rayos de luz.



El plano **XY** es el espejo, se ha colocado un objeto **O**, la línea roja es el rayo de luz que parte del objeto y se refleja en el espejo, la línea azul son las prolongaciones de lo rayos de luz que forman la imagen **O'**.

De la grafica se observa que la imagen se forma en el interior del espejo, por eso se llama virtual, esta derecha y tiene la misma altura.

En lo espejos esféricos se cumplen también las leyes de la reflexión, para hallar la imagen en un espejo esférico dibujaremos tres rayos notables.



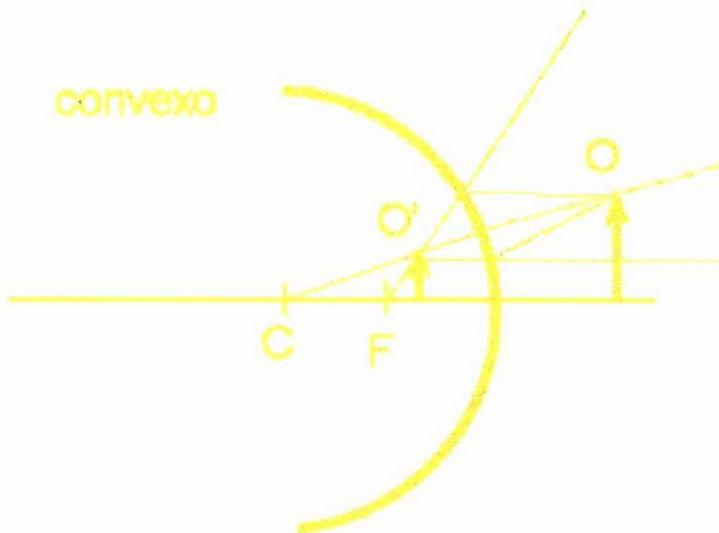
O : el objeto

O' : la imagen

f : el foco

C : el centro que es el mismo centro de la esfera de donde se sacó el casquete.

Los rayos de luz parten del objeto y se reflejan en el espejo de acuerdo a la ley de reflexión y se cruzan en un punto donde se forma la imagen.





En este caso la imagen es virtual, derecha y reducida, notemos que la línea roja que son los rayos de luz no forman ninguna imagen entonces es necesario prolongar hacia el espejo para encontrar un punto de corte donde se forme la imagen.

La ecuación de espejos es:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

Donde

**f** : la distancia del espejo al foco

**s** : la distancia del espejo al objeto

**s'** : la distancia del espejo a la imagen

También se tiene

$$A = \frac{y'}{y} = \frac{s}{s'}$$

Donde

**A** es el aumento del espejo

**y** es la altura del objeto

**y'** es la altura de la imagen

Donde las distancias son positivas si están del lado del objeto, si están del lado contrario son negativos.



## Glosario

### **Ancho de banda** (bandwidth)

Es el rango (las frecuencias comprendidas entre dos límites) de las frecuencias que se pueden pasar a través de un canal de comunicación. Se expresa en términos de la diferencia entre el límite de la frecuencia alta y el límite de la frecuencia baja. El ancho de banda de una línea telefónica, por ejemplo, es 3,000 hertz

porque el límite bajo es 300 hertz y el límite alto es de 3,300 hertz.  $3,000 = 3,300 - 300$ . 2) En un circuito digital, el ancho de banda representa la habilidad máxima de el circuito para mover bits por unidad de tiempo. Se expresa en bits por segundo.

### **ANSI**

American National Standard Institute. Organización no gubernamental donde sus miembros apoyan, diseñan, adoptan y generan estándares en los Estados Unidos, aunque a veces muchos otros países también los adoptan.

### **ASCII**

Acrónimo de América Standard Code for Information Interchange (Código estándar de referencias para los códigos de intercambio de información) Código americano usado mundialmente para codificar las letras, números y caracteres mediante bits. Código de caracteres de siete bits estandarizado por ANSI y está designado como x3.4-1977 en donde 1977 es el año de la última revisión. ASCII también fue estandarizado por ISO y CCITT y es conocido internacionalmente como Alfabeto #5 Internacional de Telégrafos. Es casi el código universal de representar caracteres en las computadoras, a excepción de algunas máquinas de IBM que emplean aún EBCDIC y BCD.



### **Baseband**

Se refiere a las señales en su forma eléctrica, nativa. Una señal de base de banda es utilizada frecuentemente para modular una portadora de modo que se pueda pasar esta señal sobre un medio de comunicación que no permite el paso de una señal en su forma nativa. Por ejemplo, cuando hablamos por teléfono nuestra voz es transportada en su forma natural a las oficinas locales de teléfono. De modo que puedan enviar nuestra voz a un ciudad distante, la señal de nuestra voz modula una portadora de manera que esta pueda ser transportada a largas distancias junto con muchas otras señales de voz. Se diferencia de "Broadband".

### **Baudio**

El número de señales transmitidas sobre un conexión lógica ("data link") cada segundo. El término baudio expresa la cantidad de señales viajando sobre un "data link" por unidad de tiempo (un segundo). Esto es una tasa ("rate"). Por lo tanto es incorrecto utilizar el término "baud rate" pues esto implica la aceleración de las señales. En una onda analógica una señal puede ser un cambio en su frecuencia, su amplitud o su fase o incluso la forma. Dos cambios posibles en la señal pueden direccionar (significar) cuatro bits (digitales). Por lo anterior, una manera incorrecta de usar el término baudio o "baud" es usarlo como sinónimo de "bits por segundo". Si usamos un elemento señalador para mover un bit, entonces "baudio" es igual a "bits por segundo" en números, pero no significa lo mismo exactamente. Si el elemento señalador transporta más de un bit (como los modems síncronos) el "bit rate" es un múltiplo de los baudios.

### **Bps - Bits por segundo**

Es la unidad de medida para la transmisión de datos. Se abrevia como bps.



### **Broadband**

Se refiere a la técnica de cable coaxial en la cual varias señales moduladas (generalmente sobre frecuencias diferentes, ver multiplexor) sobre varias portadoras se transmiten sobre un solo cable coaxial.

### **Broadcast**

Se refiere al mensaje que se envía a todas las estaciones en una conexión lógica ("data link") multipunto.

### **Byte**

Se le llama así a un grupo de bits que tiene un significado singular. Por ejemplo, un byte puede representar un carácter. Generalmente, un byte representa ocho bits.

### **CCITT**

International Telegraph and Telephone Consultative Committee (Comité Consultativo Internacional de Teléfonos y Telégrafos) Agencia de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

### **CSMA/CD**

Siglas de "Carrier-Sense Multiple Acces with Collision Detection". Acceso múltiple de censor de portadora con detección de colisión. Es un procedimiento de protocolo de capa lógica de tipo contención muy popular en los LAN's como Ethernet. Antes de enviar un mensaje por detecta la señal de la portadora a ver si esta vacía la conexión, sino es así, se contiene de efectuar el envío. Pudiera sin embargo haber dos o mas mensajes simultáneos que colisionan, tales colisiones la detecta un "transceiver". Después de efectuarse una colisión, los nodos se contienen un tiempo al azar antes de volver a intentar la comunicación.



## **DUPLEX**

Envío de información en ambas direcciones a la vez sobre un "data link".  
Frecuentemente llamado Full-Duplex para distinguirlo del Half-Duplex.

## **EIA**

"Electronics Industries Association". Asociación de Industrias Electrónicas, es una organización de fabricantes de equipo electrónico en los E.U. que crea estándares.

## **Ethernet**

Tipo de red de área local desarrollada en forma conjunta por Xerox, Intel y Digital Equipment. Se apoya en la topología de bus. Y que tiene un ancho de banda de 10 Mbps.

## **IEEE (INSTITUTE of ELECTRICAL and ELECTRONIC ENGINEERS)**

Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Es una entidad que ha generado muchísimos estándares en telecomunicaciones.

## **IEEE802**

Estos son los estándares para la conexión física y eléctrica de LAN's desarrollado por IEEE (Institute of Electronic and Electrical Engineers).

## **HERZIOo (Hz)**

Es un ciclo, ocurrencia, alteración o pulso por segundo. La corriente eléctrica normal que aparece en enchufe de los que hay en la pared (en EE.UU.) es de 60 Hz, esto es, que alterna sesenta veces por segundo. Está nombrado en memoria del gran físico alemán Heinrich Rudolph Hertz ( 1857-94). Su abreviatura es Hz.

## **ISO "International Standards Organization"**



Organismo de las Naciones Unidas, con sede en París, cuya misión es el generar y difundir estándares entre las naciones, logrando así la compatibilidad y complementariedad en servicios y productos internacionalmente. Desarrolló el modelo de comunicación abierta OSI.

### **KBPS**

Kilo Bits Por Segundo; se refiere a miles de bits por segundo.

### **Luminotecnia**

Arte de la iluminación por medio de la electricidad.

### **Lux**

Unidad de iluminación en el Sistema Internacional, que equivale a la iluminación de una superficie que recibe, normal y uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 lumen por metro cuadrado. Su símbolo es lx.

### **MBPS**

Mega Bits Por Segundo o millones de bits por segundo.

### **Nodo**

Computadora conectada a una red de área local por un medio físico.

### **NTSC**

Siglas en inglés para National Television Standards Committee.

### **OSI**

Interconexión de Sistemas Abiertos (Open Systems Interconnect). Es el protocolo en el que se apoya Internet. Establece la manera como se realiza la comunicación entre dos computadoras a través de siete capas: Física, Datos, Red, Transporte, Sesión, Presentación y Aplicación. Ver TCP/IP

Paquete (packet)



La unidad de datos que se envía a través de una red. Un paquete se compone de un conjunto de bits que viajan juntos.

### **Protocolo**

Este es el procedimiento (conjunto de pasos, mensajes, forma de los mensajes y secuencias) que se utiliza para mover la información de una localización a otra sin errores. Es la definición de como deben comunicarse dos computadoras, sus reglas de comportamiento, etc. Definición de reglas.

### **Puente. (bridge)**

Los puentes son dispositivos que tienen usos definidos. Primero, pueden interconectar segmentos de red a través de medios físicos diferentes; por ejemplo, no es poco común ver puentes entre cable coaxial y de fibra óptica. Además, pueden adaptar diferentes protocolos de bajo nivel (capa de enlace de datos y física de modelo OSI).

### **Puerto**

- a) Es un numero que identifica a una aplicación particular de Internet.
- b) Uno de los canales de entrada/salida de una computadora. Punto-a-punto, línea.

Esta es una línea de comunicación conectando solamente a dos estaciones.

### **Radio**

Término general que se aplica al empleo de las ondas electromagnéticas, entre ellas pueden estar el radiorreceptor, el radioemisor, la estación radiotelegráfica, la radiocomunicación, la radiotelefonía, etc.

### **Radio acceso múltiple (Ram)**

En radiotelefonía, sistema que permite el uso compartido de pocos canales de radio por un número mayor de estaciones suscriptoras.



### **Radio enlace**

Sistema usado para mantener una comunicación por medio de la radio entre dos puntos específicos mediante el uso de ondas radioeléctricas.

### **RED**

Agrupación tanto de equipos como de programas que comparten recursos entre sí, observando "reglas de comportamiento" a partir del uso de un lenguaje y medios de transmisión comunes, sin importar -en lo esencial- la naturaleza de cada elemento dentro de la red.

### **Red Inalámbrica**

Red que no utiliza como medio físico el cableado sino el aire, utilizando generalmente microondas, o rayos infrarrojos.

### **Señal electromagnética**

Alteración que se introduce o que aparece en el valor de las magnitudes en los campos eléctrico y magnéticos y que sirve para transmitir información.

### **Señal electromagnética Periódica**

Es una señal electromagnética cuyas alteraciones en las magnitudes se repiten cada un lapso de tiempo.

### **Señal electromagnética continua**

Es una señal electromagnética en las cuales las magnitudes de las alteraciones varían en un rango del conjunto de los números reales.

### **Señal electromagnética discreta**

Es una señal electromagnética en las cuales las magnitudes de las alteraciones varían en un rango del conjunto de los números naturales, lo común son dos valores.

### **TCP**



Protocolo de control de transmisión (Transfer Control Protocol). Es el protocolo que se encarga de la transferencia de los paquetes a través de Internet. Se encarga de que los paquetes lleguen al destino sin ningún error o pide su reenvío. Se encarga de la capa de transporte del modelo OSI Ve a IP, UDP.

Token Passing (Paso de ficha)

Protocolo que se utiliza en redes Arcnet y Token Ring, y que se basa en un esquema libre de colisiones, dado que la señal (token) se pasa de un nodo o estación al siguiente nodo. Con esto se garantiza que todas las estaciones tendrán la misma oportunidad de transmitir y que un sólo paquete viajará a la vez en la red.

### **Topologías de anillo**

Topología en donde las estaciones de trabajo se conectan físicamente en un anillo, terminando el cable en la misma estación de donde se originó.

### **Topología de bus**

Topología en donde todas las estaciones se conectan a un cable central llamado "bus". Este tipo de topología es fácil de instalar y requiere menos cable que la topología de estrella.

### **Topología de estrella**

Topología donde cada estación se conecta con su propio cable a un dispositivo de conexión central, bien sea un servidor de archivo o un concentrador o repetidor.

### **Topología de red**

Se refiere a cómo se establece y se cablea físicamente una red. La elección de la topología afectará la facilidad de la instalación, el costo del cable y la



confiabilidad de la red. Tres de las topologías principales de red son la topología de bus, de estrella, y de anillo.

### **Usuario**

Un usuario es la persona que tiene una cuenta en una determinada computadora por medio de la cual puede acceder a los recursos y servicios que ofrece una red. Un usuario que reside en una determinada computadora tiene una dirección electrónica única.

### **WAN**

Red de área extensa (Wide Área Network). Puede extenderse a todo un país o a muchos a través del mundo.

### **WATS**

Nombre del vatio en la nomenclatura internacional.

### **WLL (Wireless local loop)**

La tecnología WLL es un sistema que conecta a usuarios con la red de Telecomunicaciones, mediante señales electromagnéticas.



## **Bibliografías**

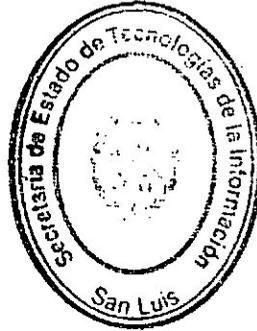
- Tecnologías de Interconectividad de Redes . Merilee Ford. H. Kim Lew  
Steve Spanier. Tim Stevenson
- Sistemas de comunicaciones de datos. Williams Stalling. Ed. Prentice  
mall
- Comunicaciones y redes de computadores. William Stanllings . Editorial  
Prentice Hall
- Redes globales de informacion con internet y TCP/IP. Douglas E. Comer.  
Tercera edición . Editorial Prentice mall
- Introducción a los Sistemas de Comunicación. F. G. Strembler. Tercera  
edicion. Ed. Addison Wesley Iberoamericana
- Proyecto Autopista de la Información

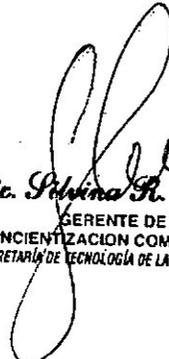
### URL

- [http://usuarios.lycos.es/Fibra\\_Optica/](http://usuarios.lycos.es/Fibra_Optica/)
- <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/fibraoptica/>
- <http://www.cabletesting.com/CableTesting/default.htm>
- <http://www.occfiber.com/espanol/index.html>
- <http://www.geocities.com/SiliconValley/Way/4302/fibra.html>
- <http://www.unige.ch/seinf/jfl/fibre/>
- <http://www.terra.es/personal/rubter/>
- <http://www.inec.org>
- <http://www1.gratisweb.com/jorgeulisses/fibra.htm>
- <http://members.tripod.com/~glorsarm/index-4.html>



- <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingsis/cursos/cursodelhaire/welcome.html>.



  
**Lic. Silvana R. Aquino**  
GERENTE DE  
CONCIENCIACION COMUNITARIA  
SECRETARÍA DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACION